

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-80-160>

УДК 502.131:620.92

ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ЗЕЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ДРАЙВЕРИ СТАЛОГО ТА ІНКЛЮЗИВНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ

DIGITAL TOOLS FOR GREEN ENERGY AS DRIVERS OF SUSTAINABLE AND INCLUSIVE REGIONAL DEVELOPMENT

Передерій Тетяна Анатоліївна
аспірантка,
Сумський державний університет
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9142-4874>

Perederii Tetiana
Sumy State University

У статті обґрунтовано роль цифрових технологій як каталізатора розвитку відновлюваної енергетики в умовах повоєнної відбудови України. Розкрито сутність концепції «подвійного переходу» (twin transition) та доведено необхідність її імплементації на регіональному рівні. Систематизовано ключові цифрові інструменти та визначено механізм їх впливу на економічну ефективність та безпеку територіальних громад. Особливу увагу приділено соціально-економічним ефектам цифровізації відновлювальної енергетики: розвитку прозюмеризму, забезпеченню енергетичної демократії та посиленню фінансової спроможності регіонів. Окреслено існуючі українські ініціативи (smart grid, net billing, цифрові реєстри) та визначено виклики і перспективи інтеграції таких рішень у процес відбудови енергосектору та його модернізації відповідно до європейських стандартів.

Ключові слова: відновлювана енергетика, цифровізація, twin transition, регіональний розвиток, Україна.

The article is devoted to the role of digital technologies in the development of green energy as a key driver of sustainable and inclusive development of Ukraine's regions. Particular focus is placed on the concept of 'twin transition,' which envisages the synergy between energy decarbonisation and digitalisation, critically important in the context of post-war reconstruction. The author systematises and classifies key digital tools – Smart Grids, artificial intelligence, big data analytics, virtual power plants, blockchain, digital twins, energy storage management systems, and digital platforms for energy communities – and analyses their impact on economic efficiency, energy security, and the socio-economic development of regions. The article considers the practical effects of digitalisation, such as increasing the reliability and stability of electricity supply, reducing technical losses, balancing unstable renewable energy generation, creating new sources of income for local communities, transforming traditional consumers into prosumers, and developing energy cooperatives. Examples of Ukrainian initiatives serving as tools for increasing transparency, investment attractiveness, and the integration of the regional energy system into the European energy space are analysed. At the same time, key challenges to scaling digital solutions have been identified: the digital divide between urbanised and remote areas, a shortage of highly qualified specialists at the intersection of energy and IT, cybersecurity risks, and insufficient coordination between the public sector, private business, and communities. The need to create a comprehensive digital transformation strategy that combines technical, economic, and social aspects, stimulates innovative investment, and ensures the inclusiveness of energy development has been substantiated. The proposed conclusions can form the basis for effective regional policy aimed at developing a decentralised, transparent, and sustainable energy infrastructure that supports social cohesion and economic activity in communities.

Keywords: renewable energy, digitalization, twin transition, regional development, Ukraine.

Постановка проблеми. Сучасна глобальна економіка переживає фундаментальну трансформацію, відому як «подвійний перехід», що передбачає синергію декарбонізації та цифровізації [1]. Для України, яка стикається з безпрецедентними викликами

руйнування енергетичної інфраструктури та необхідністю повоєнної відбудови, цей підхід набуває особливого значення. Традиційна централізована енергетична система, що базується на викопному паливі, довела свою вразливість та неефективність у забезпеченні рівномірного розвитку регіонів, до того ж є дуже вразливою до ракетних ударів. Розкриття потенціалу відновлювальної енергетики є ключовим елементом трансформації енергосектору України, а відбудова за принципом «build back better» [1] вимагає не просто відновлення потужностей, а створення децентралізованої системи, де інтеграція нестабільної генерації відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) забезпечується цифровими алгоритмами. За оцінками експертів, цифровізація здатна скоротити глобальні викиди CO₂ на 20% до 2030 року та оптимізувати інвестиційні витрати [2]. Проте, попри зростання глобальних інвестицій у цифрову енергоінфраструктуру на 50% з 2015 року [3], в Україні відсутня узгоджена стратегія регіонального розвитку, яка б розглядала цифрові інструменти не як технічну опцію, а як економічний базис для сталого розвитку громад. Це актуалізує проблему пошуку механізмів імplementації цифрових рішень у зелену енергетику на регіональному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Розвиток зеленої енергетики та цифровізації енергетичного сектору активно обговорюються у сучасних наукових дослідженнях. Міжнародні організації, зокрема IRENA та IEA, у своїх звітах [4;5] підкреслюють, що цифрові технології є ключовим чинником інтеграції ВДЕ, оскільки забезпечують точне прогнозування виробництва, управління навантаженнями та оптимізацію роботи енергетичної системи. У дослідженнях Європейської Комісії [6] наголошується, що цифрові інструменти є передумовою досягнення кліматичних цілей 2030 та 2050 років, а також необхідним елементом для посилення енергетичної автономії ЄС. Комісія визначає використання даних у режимі реального часу, впровадження енергоефективних дата-центрів, розвиток смарт-лічильників як ключові напрями цифрової трансформації. Техніко-економічні аспекти впровадження цифрових технологій досліджували зарубіжні вчені A. Icaza [7], M. Andoni та V. Robu [8], M. Zheng [9], фокусуючись на питаннях балансування пікових навантажень, використанню смарт-лічильників, цифрових платформ обліку, P2P-торгівлі та застосуванні блокчейн-технологій в енергетичних

системах. Серед українських науковців вагомих внесок у розробку проблематики зробили В. Воронкова [10], О. Кивлюк [11], О. Марченко [12], які розглядають цифровізацію як передумову децентралізації та енергетичної безпеки.

Загалом, наявні наукові напрацювання підтверджують актуальність та комплексність проблематики впливу використання цифрових інструментів в сфері відновлювальної енергетики на сталий розвиток регіонів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри значний науковий доробок, більшість існуючих досліджень зосереджені на технологічних аспектах (підвищення ККД, балансування частоти) або макроекономічних показниках. Поза увагою залишається комплексний аналіз впливу цифрових інструментів на соціально-економічний розвиток регіонів в умовах повоєнної кризи. Зокрема, потребує обґрунтування роль цифровізації як драйвера сталого та інклюзивного розвитку регіонів, здатних забезпечити енергетичну демократію та рівний доступ до ресурсів.

Постановка завдання. Мета статті полягає у дослідженні концепції «подвійного переходу» в енергетичному секторі, систематизації цифрових інструментів зеленої енергетики та визначенні механізмів їх впливу на економічну стійкість та регіональний розвиток в умовах повоєнної відбудови.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасна трансформація світової енергетики відбувається у форматі парадигми «3D»: децентралізації, декарбонізації та діджиталізації [13]. У цьому контексті цифровізація виступає не просто як сукупність технічних рішень, а як інтегруючий елемент, що забезпечує економічну ефективність та інституційну спроможність нової моделі енергоринку. Цифрові рішення сьогодні є невід'ємним елементом сучасної енергетичної інфраструктури та важливою складовою енергетичної безпеки держави. Для регіонів України, особливо в умовах повоєнної відбудови, цифрові інструменти стануть передумовою переходу від пасивної моделі споживання до активної участі громад у формуванні доданої вартості в енергетичному секторі.

Зокрема, сталий розвиток регіону розуміється як здатність регіональної соціоекономічної системи забезпечувати економічне зростання без виснаження природних ресурсів, водночас підтримуючи соціальну стабільність [14]. Натомість інклюзивність в енергетиці або

енергетична демократія – забезпечення справедливого розподілу вигод від енергетичного переходу – зокрема доступу до технологій та можливостей отримання прибутку від генерування енергії між усіма групами населення [15], що стає можливим виключно завдяки цифровим платформам.

Систематизацію ключових цифрових інструментів, що забезпечують «зелений» перехід, та їх вплив на регіональний розвиток наведено у Таблиці 1.

Аналіз наведених у табл. 1 інструментів дозволяє виділити основні канали їх впливу на економіку регіонів, які потребують детального розгляду замість суто технічного опису.

Передусім впровадження технологій Smart Grid та систем автоматизованого управління формує прямий економічний ефект через зниження технічних втрат. Для України, де рівень втрат у мережах досягає 15% (порівняно з 6% у країнах ЄС) [16], цифровізація є інструментом скорочення непродуктивних витрат. Застосування штучного інтелекту (ШІ) дозволяє не лише здійснювати профілактичне обслуговування, а й прогнозувати генерацію сонячної та вітрової електроенергії з точністю понад 90%, враховуючи погодні умови. Крім того, ШІ допомагає оперативніше реагувати на кібератаки чи фізичні пошкодження інфраструктури, оптимізуючи резерви. Крім того, обслуговування «розумної» інфраструктури створює попит на висококваліфіковані кадри на місцях, стримуючи трудову міграцію з регіонів.

Особливо критичним це є для віддалених сільських районів, де цифрові рішення забезпечують подвійний ефект: технічну стабілізацію та розвиток локальної економіки. У технічній площині цифровізація дозволяє вирішити проблему низької якості електропостачання, зокрема знизити індекс SAIDI (середню тривалість відключень). В окремих районах України цей показник перевищує 1000 хв/рік, що суттєво відстає від європейських стандартів (102–160 хв)[20]. Окрім підвищення надійності мереж, цифрові інструменти трансформують економічну модель громад, перетворюючи пасивних споживачів на активних проз'юмерів. Завдяки технологіям Smart Grid та блокчейну домогосподарства отримують можливість монетизувати власну генерацію через прямий продаж надлишків енергії, що стимулює створення енергетичних кооперативів. Такий підхід дозволяє акумулювати фінансові ресурси всередині громади, посилюючи її економічну спроможність та знижуючи рівень енергетичної бідності [17].

Попри складні умови воєнного часу, в Україні вже формується екосистема цифрової енергетики. Реалізуються пілотні проекти Smart Grid у Київській області. Активно впроваджуються системи на базі SCADA та OMS. Так, ПАТ «Черкасиобленерго» вже є лідером серед державних компаній за рівнем автоматизованого управління. Крім того 2023-2024 роках Україна розпочала перехід від «зеленого тарифу» до механізму net billing [18]. Ця система базується на автоматизованому обліку вартості відданої в мережу та спожитої енергії в режимі реального часу. Важливим напрямом цифрової модернізації є створення прозорих цифрових реєстрів і платформ, які знижують інформаційну асиметрію на ринку енергії. Так, Міністерство енергетики України розпочало активну роботу зі впровадження інструментів штучного інтелекту у галузі. Йдеться про автоматизацію аналізу великих масивів даних, підвищення точності прогнозування генерації та споживання енергії, моніторинг стану мереж та оптимізацію оперативного управління енергетичною інфраструктурою. Так, вже є створення AI Center of Excellence for Greentech [19] – першої в Україні технологічної платформи, що поєднує штучний інтелект, системи диспетчеризації та рішення для накопичення енергії. Центр виступатиме простором для тестування, розроблення та впровадження інтелектуальних енергетичних технологій, здатних оптимізувати роботу енергосистем, прогнозувати попит і пропозицію, зменшувати втрати та підвищувати стабільність мереж. Прикладом є запуск в Україні Реєстру об'єктів електроенергетики на платформі «Дія.Engine» та розробка «Зеленої платформи»[20]. Платформа покликана допомогти локальним проектам у пошуку джерел фінансової підтримки, стимулювати розвиток енергоефективних технологій, енергокооперативів та проектів ВДЕ на місцевому рівні. Паралельно держава реалізує грантові програми підтримки інновацій що до цифровізації зеленої енергетики [21].

Загалом ці ініціативи свідчать про початок формування в Україні сучасної цифрової екосистеми зеленої енергетики, орієнтованої на інновації, прозорість та інтеграцію з європейським енергетичним простором.

Проте, масштабування цих рішень стикається з низкою структурних бар'єрів. Зокрема, «цифровий розрив» між великими містами та сільськими територіями (покриття швидкісним інтернетом) обмежує функціональність розумних мереж. Брак фахівців, що володі-

Таблиця 1

Ключові цифрові інструменти для зеленої енергетики

Назва технології	Функції в відновлювальній енергетиці	Вплив на регіональний та інклюзивний розвиток
Smart Grids	Забезпечення двостороннього потоку енергії та інформації; інтеграція розподіленої генерації; автоматичне балансування попиту та пропозиції; забезпечення безперебійної роботи електричної мережі в умовах зростаючого навантаження; зменшення втрат електроенергії.	Підвищення надійності енергопостачання у віддалених регіонах; можливість для домогосподарств продавати надлишки енергії; зниження технічних втрат у місцевих мережах; підвищення прозорості споживання; можливість створення локальних мікромереж для безперебійного живлення важливих об'єктів.
Штучний інтелект (ШІ) та аналітика великих даних	Прогнозування генерації ВДЕ (залежно від погоди); оптимізація графіків навантаження; балансування попиту; предиктивна аналітика зносу обладнання.	Ефективне планування розвитку регіональних мереж; підвищення надійності локальних мереж; зниження вартості електроенергії для кінцевого споживача завдяки оптимізації витрат.
Блокчейн та P2P торгівля	Створення децентралізованих платформ для прямої торгівлі енергією між споживачами (peer-to-peer); смарт-контракти, сертифікація походження відновлювальної енергії.	Демонополізація ринку; стимулювання локальної економіки; прозорість «зелених» тарифів.
Віртуальні електростанції	Об'єднання розрізаних джерел ВДЕ (сонячні панелі, вітряки, батареї) в єдину керовану мережу для торгівлі на ринку та балансування потужності.	Залучення дрібних виробників до енергоринку; створення джерел доходу для місцевих громад; підвищення енергонезалежності регіонів.
Системи автоматизації та управління (SCADA, EMS)	Моніторинг роботи обладнання в реальному часі; автоматичне перемикання ліній; швидке виявлення та ізоляція аварійних ділянок.	Мінімізація часу відключень для споживачів; покращення умов праці персоналу місцевих обленерго; підвищення безпеки інфраструктури.
Системи управління накопиченням енергії	Оптимізація циклів заряду/розряду батарей; зберігання енергії в години пікової генерації ВДЕ для використання в часи пікового попиту.	Стабілізація напруги в слабких регіональних мережах; забезпечення енергією критичних об'єктів соціальної інфраструктури (лікарні, школи) під час блекаутів.
Цифрові двійники	Створення віртуальних копій фізичних енергосистем для моделювання сценаріїв роботи, тестування модернізацій без ризику для реальної мережі.	Прискорення впровадження інновацій на місцях; зниження вартості проєктних робіт для регіональних проєктів розвитку; ефективно планування розвитку інфраструктури громад.
Цифрові платформи енергетичних спільнот	Координація роботи джерел енергії, що належать громаді; моніторинг спільного виробництва та розподілу енергії між учасниками спільноти; демократизація енергетики; відкритий доступ до даних про екологічний стан та енергетичні проєкти.	Перетворення споживачів на активних учасників ринку; збереження коштів всередині громади; підвищення енергетичної автономності регіону; використання інформаційно-комунікаційних технологій (е-петиції, онлайн-обговорення) для формування екологічних політик та рішень щодо «зеленої» трансформації.

Джерело: сформовано автором на основі [8; 9;22; 18; 20]

ють компетенціями на стику енергетики, ІТ та економіки, унеможливує обслуговування складних систем на рівні громад. Децентралізовані мережі з тисячами точок доступу (розумні лічильники, інвертори) є вразливими до кібератак. Це може призвести до уповільнення процесу впровадження нових рішень, особливо в регіонах, що пережили руйнування інфраструктури. Ще одним важливим викликом є недостатня співпраця між державними структурами, приватним сектором та громадянами для створення та реалізації стратегії цифрової трансформації. Для успішного впровадження екологічно стійких цифрових технологій важливо забезпечити узгодженість політик на всіх рівнях управління, а також створення інституційних механізмів, що стимулюють інвестиції в інновації та підтримують екологічні ініціативи.

Висновки. У статті обґрунтовано, що цифрова трансформація енергетичного сектору в умовах повоєнної відбудови України виходить за межі суто технологічної модернізації, а й стає потужним соціально-економічним драй-

вером, здатним перетворити енергетичний сектор з централізованої монополії на гнучку мережеву екосистему, яка сприяє інклюзивному розвитку регіонів. Систематизація цифрових інструментів дозволила виявити їх подвійний ефект. З одного боку, це технічна оптимізація (зниження втрат, балансування нестабільної генерації ВДЕ), а іншого – соціально-економічний ефект (трансформація споживачів у проз'юмерів, зниження енергетичної бідності, створення нових джерел доходу для громад через продаж надлишків енергії, підвищення інвестиційної прозорості регіональних проєктів). Подальші дослідження доцільно зосередити на розробку механізмів фінансування таких проєктів на рівні територіальних громад.

Публікація містить результати дослідження "Фундаментальні засади сталого та інклюзивного розвитку регіонального простору для повоєнного відновлення в умовах цифрової трансформації" (№ д/р 0125U001620, 2025-2027), що фінансується за рахунок державного бюджету України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Muench, S., Stoermer, E., Jensen, K., Asikainen, T., Salvi, M., & Scapolo, F. (2022). *Towards a green & digital future*.
2. Мінрозвитку впроваджує комплексне відновлення населених пунктів за принципами інноваційного та енергоефективного підходу. Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <https://mindev.gov.ua/news/minrozvytku-vprovadzhuie-kompleksne-vidnovlennia-naselenykh-punktiv-za-pryntsyupamy-innovatsiinoho-ta-enerhoefektyvnoho-pidkhodu-maryna-denysiuk> (дата звернення: 17.11.2025).
3. Digitalisation and its role in the Green Energy Transition. UNSDSN. URL: <https://www.unsdsn.org/resources/digitalization-and-its-role-in-the-green-energy-transition/> (дата звернення: 27.11.2025).
4. Digitalisation – Energy System. IEA. 2023. URL: <https://www.iea.org/energy-system/decarbonisation-enablers/digitalisation> (дата звернення: 22.11.2025).
5. World Energy Transitions Outlook 2024. IRENA. URL: <https://www.irena.org/Publications/2024/Nov/World-Energy-Transitions-Outlook-2024> (дата звернення: 27.11.2025).
6. Renewables 2025. IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/renewables-2025> (дата звернення: 27.11.2025).
7. Key actions for digitalising the energy system. European Commission. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/digitalisation-energy-system/key-actions-digitalising-energy_en (дата звернення: 20.11.2025).
8. Icaza D., Borge-Diez D., Galindo S. P., Flores-Vázquez C. Analysis of the Digitalization of the Energy Sector and Its Impact on the Economy of the Future. *Energies*. 2023. Vol. 16 (10). 4045. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16104045>.
9. Andoni M., Robu V., Flynn D., Abram S., Geach D., Jenkins D., McCallum P., Peacock A. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 100. P. 143–174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.014>.
10. Zheng M., Zhang X. Digitalization and renewable energy development: Analysis based on cross-country panel data. *Energy*. 2025. Vol. 319. 135077. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135077>.
11. Воронкова В. Г., Нікітенко В. О., Метеленко Н. Г. «Зелена» цифрова трансформація як драйвер сталого розвитку регіонів у повоєнному відновленні. *Humanities studies*. 2023. Вип. 15 (92). С. 20–30.
12. Кивлюк О., Гарбар Г., Пунченко О., Арабаджиев Д., Андрюкайтене Р. Філософія сталого розвитку в умовах цифрової трансформації як основа збалансованого економічного зростання, соціального добробуту та екологічної стійкості. *Humanities studies*. 2024.

13. Марченко О. Ю., Грабін О. Ю. Зелена та цифрова трансформації економіки України: пріоритети після воєнного відновлення. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 59. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3776/3699> (дата звернення: 08.01.2025).
14. Fuchs I., Rajasekharan J., Cali U. (2020) Decentralization, decarbonization and digitalization in swarm electrification. *Energy Strategy Reviews*, vol. 32, 100578.
15. Руденко Л. Сталий розвиток: пошуки моделей сталого розвитку України. *Український географічний журнал*. 1998. № 1. С. 5–12.
16. Szulecki K., Overland I. Energy democracy as a process, an outcome and a goal: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*. 2020. Vol. 69. 101768.
17. Olabi A.G., Abdelkareem M.A., Jouhara H. Energy digitalization: Main categories, applications, merits, and barriers. *Energy*. 2023. Vol. 271. 126899. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126899>.
18. Цифровізація енергетики: як технології Smart Grid допоможуть відбудувати українські енергомережі. Mind.ua. URL: <https://mind.ua/publications/20273149-cifrovizaciya-energetiki-yak-tehnologiyi-smart-grid-dopomozhut-vidbuduvati-ukrayinski-energomerezhi> (дата звернення: 27.11.2025).
19. Lin B., Huang C. How will promoting the digitalization affect electricity intensity? *Energy*. 2023. Vol. 266. 126325.
20. Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та «зеленої» трансформації енергетичної системи України : Закон України від 30.06.2023 р. № 3220-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20#Text> (дата звернення: 27.11.2025).
21. WinWinGreenTech: технології для енергетичної незалежності та зеленого розвитку. Дія.Бізнес. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/technologies/winwingreentech-tekhnologii-dlya-energetichnoi-nezalezhnosti-ta-zelenogo-rozvitku> (дата звернення: 15.11.2025).
22. В Україні запрацює Зелена платформа – цифровий каталог доступних програм зеленого фінансування для бізнесу та громад. Урядовий портал. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/v-ukraini-zapratsiuie-zelena-platforma-tsyfrovyyi-kataloh-dostupnykh-prohram-zelenoho-finansuvannia-dlia-biznesu-ta-hromad> (дата звернення: 18.11.2025).
23. Впровадження та використання інструментів штучного інтелекту. Міністерство енергетики України. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/vprovadzhennya-ta-vykorystannya-instrumentiv-shtuchnoho-intelektu> (дата звернення: 21.11.2025).

REFERENCES:

1. Muench, S., Stoermer, E., Jensen, K., Asikainen, T., Salvi, M., & Scapolo, F. (2022). *Towards a green & digital future*.
2. Ministry for Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine (2024) *Minrozvytku vprovadzhuie kompleksne vidnovlennia naselenykh punktiv za pryntsyipamy innovatsiinoho ta enerhoefektyvnoho pidkhopu* [Ministry of Reconstruction introduces comprehensive restoration of settlements based on the principles of innovative and energy-efficient approach]. Available at: <https://mindev.gov.ua/news/minrozvytku-vprovadzhuie-kompleksne-vidnovlennia-naselenykh-punktiv-za-pryntsyipamy-innovatsiinoho-ta-enerhoefektyvnoho-pidkhopu-maryna-denysiuk> (accessed November 17, 2025). (in Ukrainian)
3. UNSDSN (n.d.) *Digitalisation and its role in the Green Energy Transition*. Available at: <https://www.unsdsn.org/resources/digitalization-and-its-role-in-the-green-energy-transition/> (accessed November 27, 2025).
4. IEA (2023) *Digitalisation – Energy System*. Available at: <https://www.iea.org/energy-system/decarbonisation-enablers/digitalisation> (accessed November 22, 2025).
5. IRENA (2024) *World Energy Transitions Outlook 2024*. Available at: <https://www.irena.org/Publications/2024/Nov/World-Energy-Transitions-Outlook-2024> (accessed November 27, 2025).
6. IEA (2025) *Renewables 2025*. Available at: <https://www.iea.org/reports/renewables-2025> (accessed November 27, 2025).
7. European Commission (2022) *Key actions for digitalising the energy system*. Available at: https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/digitalisation-energy-system/key-actions-digitalising-energy_en (accessed November 27, 2025).
8. Icaza D., Borge-Diez D., Galindo S. P., Flores-Vázquez C. (2023) Analysis of the Digitalization of the Energy Sector and Its Impact on the Economy of the Future. *Energies*, vol. 16 (10), 4045.
9. Andoni M., Robu V., Flynn D., Abram S., Geach D., Jenkins D., McCallum P., Peacock A. (2019) Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 100, pp. 143–174.

10. Zheng M., Zhang X. (2025) Digitalization and renewable energy development: Analysis based on cross-country panel data. *Energy*, vol. 319, 135077.
11. Voronkova V. G., Nikitenko V. O., Metelenko N. G. (2023) "Zelena" tsyfrova transformatsiia yak draiver staloho rozvytku rehioniv u povoiennomu vidnovlenni ["Green" digital transformation as a driver of sustainable development of regions in post-war reconstruction]. *Humanities studies*, no. 15 (92), pp. 20–30. (in Ukrainian)
12. Kyvliuk O., Harbar H., Punchenko O., Arabadzhiev D., Andriukaitene P. (2024) Filosofii staloho rozvytku v umovakh tsyfrovoy transformatsii yak osnova zbalansovanoho ekonomichnogo zrostannia, sotsialnogo dobrobutu ta ekolohichnoi stiiikosti [Philosophy of sustainable development in the conditions of digital transformation as a basis for balanced economic growth, social welfare and ecological stability]. *Humanities studies*. Zaporizhzhia: Publishing house. (in Ukrainian)
13. Marchenko O. Yu., Hrabyn O. Yu. (2024) Zelena ta tsyfrova transformatsii ekonomiky Ukrainy: priorytety pislavoiennoho vidnovlennia [Green and digital transformations of Ukraine's economy: priorities of post-war recovery]. *Ekonomika ta suspilstvo* [Economy and Society], no 59. Available at: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/3776/3699> (accessed November 07, 2025). (in Ukrainian)
14. Fuchs I., Rajasekharan J., Cali U. (2020) Decentralization, decarbonization and digitalization in swarm electrification. *Energy Strategy Reviews*, vol. 32, 100578.
15. Rudenko L. (1998) Stalyi rozvytok: poshuky modelei staloho rozvytku Ukrainy [Sustainable development: search for models of sustainable development of Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal* [Ukrainian Geographical Journal], no 1, pp. 5–12. (in Ukrainian)
16. Szulecki K., Overland I. (2020) Energy democracy as a process, an outcome and a goal: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, vol. 69, 101768.
17. Olabi A.G., Abdelkareem M.A., Juhara H. (2023) Energy digitalization: Main categories, applications, merits, and barriers. *Energy*, vol. 271, 126899.
18. Mind.ua (2023) *Tsyfrovizatsiia enerhetyky: yak tekhnologii Smart Grid dopomozhut vidbuduvaty ukrainski enerhomerezhi* [Digitalization of energy: how Smart Grid technologies will help rebuild Ukrainian power grids]. Available at: <https://mind.ua/publications/20273149-cifrovizatsiia-energetiki-yak-tehnologiyi-smart-grid-dopomozhut-vidbuduvaty-ukrayinski-energomezhi> (accessed November 27, 2025). (in Ukrainian)
19. Lin B., Huang C. (2023) How will promoting the digitalization affect electricity intensity? *Energy*, vol. 266, 126325.
20. Energy Business (2024) *Smart Grid, nakopychuvachi ta novi standarty: yak Ukraina perezavantazhuie enerhetyku v spekotnyi sezon* [Smart Grid, storage and new standards: how Ukraine is rebooting the energy sector in the hot season]. Available at: <https://e-b.com.ua/smart-grid-nakopicuvaci-ta-novi-standarti-yak-ukrayina-perezavantazuje-energetiku-v-spekotnii-sezon-8214> (accessed November 27, 2025). (in Ukrainian)
21. Verkhovna Rada of Ukraine (2023) *Pro vnesennia zmin do deiakyykh zakoniv Ukrainy shchodo vidnovlennia ta «zelenoi» transformatsii enerhetychnoi systemy Ukrainy* [On amendments to certain laws of Ukraine regarding the restoration and "green" transformation of the energy system of Ukraine]. Law of Ukraine No. 3220-IX. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20#Text> (accessed November 27, 2025). (in Ukrainian)
22. Diia.Business (2024) *WinWinGreenTech: tekhnologii dlia enerhetychnoi nezalezhnosti ta zelenoho rozvytku* [WinWinGreenTech: technologies for energy independence and green development]. Available at: <https://thedigital.gov.ua/news/technologies/wingreentech-tehnologii-dlya-energetichnoi-nezalezhnosti-ta-zelenogo-rozvytku> (accessed November 15, 2025). (in Ukrainian)
23. Cabinet of Ministers of Ukraine (2024) *V Ukraini zapratsiuie Zelena platforma – tsyfrovyyi katalog dostupnykh proham zelenoho finansuvannia dlia biznesu ta hromad* [The Green Platform will be launched in Ukraine – a digital catalog of available green financing programs for business and communities]. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/news/v-ukraini-zapratsiuie-zelena-platforma-tyfrovyyi-katalog-dostupnykh-proham-zelenoho-finansuvannia-dlia-biznesu-ta-hromad> (accessed November 18, 2025). (in Ukrainian)
24. Ministry of Energy of Ukraine (2025) *Vprovadzhennya ta vykorystannya instrumentiv shtuchnogo intelektu* [Implementation and use of artificial intelligence tools]. Available at: <https://mev.gov.ua/storinka/vprovadzhennya-ta-vykorystannya-instrumentiv-shtuchnogo-intelektu> (accessed November 21, 2025). (in Ukrainian)