

УДК 332.146.2:502/504]:004.738.5.89

DOI: 10.60022/3(2)-44S

Миненко Сергій Володимирович

доктор філософії з економіки, доцент
старший викладач кафедри економічної кібернетики
Сумський державний університет, Україна

Mynenko Serhii

PhD in economics, associate professor
Senior lecturer of the Economic Cybernetics Department
Sumy State University, Ukraine
ORCID: 0000-0003-3998-9031

Богданов Олександр Миколайович

здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
кафедри економічної кібернетики
Сумський державний університет, Україна

Bohdanov Oleksandr

PhD student of the Economic Cybernetics Department
Sumy State University, Ukraine
ORCID: 0009-0005-2813-8110

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ: АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ

Анотація. У статті досліджено роль цифрових технологій як інструменту екологізації економіки в умовах глобальних екологічних викликів та переходу до моделі сталого розвитку. Обґрунтовано, що цифровізація формує нові підходи до управління природними ресурсами, підвищення енергоефективності, зменшення негативного впливу господарської діяльності на довкілля та забезпечення прозорості екологічної політики. Визначено, що сучасні цифрові рішення створюють передумови для формування «зеленої» економіки, заснованої на data-driven підходах до прийняття управлінських рішень.

Проаналізовано світовий досвід використання цифрових технологій у сфері екологізації економіки. Розглянуто практичні кейси застосування штучного інтелекту, Internet of Things, big data, cloud computing та цифрових двійників у сферах екологічного моніторингу, управління енергетичними системами, підвищення енергоефективності будівель, управління відходами та інших цифрових рішень, які забезпечують скорочення викидів CO₂, оптимізацію використання ресурсів і підвищення екологічної ефективності економічних систем.

На основі узагальнення світового досвіду визначено перспективні напрями впровадження цифрових технологій в Україні. Обґрунтовано доцільність використання цифрових платформ екологічного моніторингу, smart grids, digital twins, AI-рішень для прогнозування виробництва «зеленої» енергії, smart building технологій та систем управління відходами у процесах післявоєнного відновлення та модернізації економіки України.

Ключові слова: екологізація економіки, цифрові технології, сталий розвиток, штучний інтелект, Internet of Things, цифрові двійники, зелена економіка.

DIGITAL TECHNOLOGIES AS A TOOL FOR GREENING THE ECONOMY: ANALYSIS OF WORLD EXPERIENCE

Abstract. The article explores the role of digital technologies as a tool for greening the economy in the face of global environmental challenges and the transition to a sustainable development model. It is substantiated that digitalization enables new approaches to managing natural resources, increases energy efficiency, reduces the negative environmental impact of economic activity, and ensures transparency in environmental policy. It is determined that modern digital solutions create the prerequisites for a “green” and circular economy based on data-driven decision-making. The global experience with digital technologies in greening the economy is analyzed. Practical applications of artificial intelligence, the Internet of Things, big data, cloud computing, and digital twins in environmental monitoring, energy system management, increasing

the energy efficiency of buildings, waste management, and sustainable agriculture are considered. The functioning of the Pano AI, Clarity Air Quality Monitor, TwinEU, Siemens Gridscale X, Schneider Electric IntenCity, Sensoneo, DeepMind, Crop Digital Twin, John Deere See & Spray, and other digital solutions that reduce CO₂ emissions, optimize resources, and increase the environmental efficiency of economic systems was studied.

Special attention was paid to international initiatives of UNEP and ITU aimed at forming global environmental platforms and supporting digital transformation in the context of achieving the Sustainable Development Goals.

Based on generalizations from global experience, promising areas for implementing digital technologies in Ukraine were identified. The feasibility of using digital platforms for environmental monitoring, smart grids, digital twins, AI solutions for predicting the production of “green” energy, smart building technologies, and waste management systems in the processes of post-war recovery and modernization of the Ukrainian economy was substantiated. It was concluded that digital technologies are an important factor in the formation of a competitive, environmentally safe, and innovative economy.

Keywords: *ecologization of the economy, digital technologies, sustainable development, artificial intelligence, Internet of Things, Digital Twins, green economy.*

Постановка проблеми. У сучасних умовах глобальних екологічних викликів, зокрема зміни клімату, виснаження природних ресурсів та зростання антропогенного навантаження на довкілля, особливої актуальності набуває проблема екологізації економіки. Перехід до сталого розвитку потребує впровадження інноваційних підходів до управління ресурсами, підвищення ефективності виробництва та зменшення негативного впливу господарської діяльності на навколишнє середовище. У цьому контексті важливу роль відіграють цифрові технології, які створюють нові можливості для моніторингу екологічних процесів, оптимізації використання ресурсів, підвищення енергоефективності та забезпечення прозорості екологічної політики.

Світова практика демонструє активне використання цифрових рішень у сфері екологізації економіки, зокрема технологій штучного інтелекту, великих даних (Big Data), Інтернету речей (IoT), блокчейну та цифрових платформ для управління природними ресурсами, контролю викидів і розвитку «розумних» екологічних систем. Такі технології сприяють формуванню більш ефективних механізмів екологічного управління та підтримують реалізацію концепції «зеленої» та циркулярної економіки. Водночас питання систематизації світового досвіду застосування цифрових технологій у процесах екологізації економіки та визначення можливостей його використання залишаються недостатньо дослідженими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика екологізації економіки під впливом цифрових технологій розглядається науковцями як на міжнародному, так і на національному рівнях. Вчені Гу М., Женг Ю., Чен П. та Лі З. розглядали синергетичні ефекти між цифровою економікою та індустріальною екологізацією [1], а Краус Н. та Краус К. – між економікою біологічного зростання та зеленою економікою [2]. Нагара М. розглядала екологізацію економіки в контексті сталого розвитку [3]. Ряд вчених вивчали питання екологізації економіки в контексті різних видів промисловості, наприклад Гончарук І. та Красносельська А. розглядали питання екологізації сільськогосподарського виробництва [4], Дребот О., Височанська М. та Білотіл В. – у сфері будівництва [5], Цзен Х., Ван Ч., Чень Ц., Танг Д. та Сюй А. – у сфері туризму [6].

Метою статті є аналіз світового досвіду використання цифрових технологій як інструменту екологізації економіки, визначення основних напрямів їх застосування та оцінка можливостей адаптації ефективних міжнародних практик для підвищення екологічної ефективності економічних систем.

Виклад основного матеріалу. Міжнародний досвід демонструє, що цифровізація є одним із найбільш ефективних інструментів підвищення ефективності екологічної політики.

Для прикладу, розраховані Міжнародною енергетичною агенцією прогнози до 2035 року заощадження енергії у різних сферах при швидкому впровадженні лише штучного інтелекту коливаються від близько 0,8% (опалення та кондиціонування приміщень) до майже 8% у залізничних перевезеннях [7]. Впровадження штучного інтелекту в секторах кінцевого споживання може призвести до скорочення викидів CO₂ на 1400 млн тонн у 2035 році у випадку широкого впровадження таких інформаційних технологій [8].

Розглянемо світовий досвід застосування цифрових технологій для моніторингу стану довкілля, обмеження викидів, управління енергетикою та інших засобів досягнення Цілей сталого розвитку.

Поширеними цифровими інструментами екологізації є набір засобів моніторингу та прогнозування змін у зовнішньому середовищі.

У США використовується Rano AI, цифрова платформа, яка за допомогою штучного інтелекту здійснює раннє виявлення лісових пожеж та екологічний моніторинг. Система функціонує через мережу високоточних 360-градусних камер, які встановлюються у районах із високим ризиком пожеж. Отримані зображення аналізуються алгоритмами штучного інтелекту в режимі реального часу. Штучний інтелект здатний автоматично розпізнавати дим, теплові аномалії та інші ознаки займання, після чого система формує сповіщення для екстрених служб та визначає точні координати потенційної пожежі. Завдяки ранньому виявленню пожеж система дозволяє скоротити масштаби знищення лісів, зменшити втрати біорізноманіття та обмежити обсяги викидів CO₂ в атмосферу [9].

У Великобританії, США, Філіпінах, Вірменії застосовуються IoT-пристрої для моніторингу якості повітря в реальному часі, що допомагає містам керувати забрудненням. Clarity Air Quality Monitor [10] поєднує IoT-сенсори, хмарні технології, big data та аналітичні інструменти для збору й обробки екологічної інформації у режимі реального часу. Основою системи є мережа компактних сенсорів Clarity Node-S, які встановлюються у містах, промислових районах, транспортних вузлах та інших територіях із високим рівнем забруднення. Сенсори вимірюють концентрацію дрібнодисперсних частинок, оксидів азоту, озону, чорного вуглецю та інших забруднювачів повітря. Зібрані дані автоматично передаються через мобільні мережі до хмарної платформи, де вони аналізуються та візуалізуються за допомогою цифрових панелей моніторингу. У великих містах система допомагає органам влади визначати найбільш забруднені райони, оцінювати вплив транспорту та промисловості на довкілля, а також формувати екологічну політику на основі даних.

В частині підвищення енергоефективності варто розглядати проекти цифрових двійників (Digital Twins) – віртуальні моделі електромереж, що в режимі реального часу відображають роботу фізичної інфраструктури за допомогою IoT-сенсорів, big data та технологій штучного інтелекту. Такі системи дозволяють аналізувати навантаження, прогнозувати споживання електроенергії, виявляти втрати енергії та оптимізувати інтеграцію відновлюваних джерел енергії у загальну енергосистему.

Для прикладу, у Сінгапурі застосовуються Digital Twins електромереж, які фактично поєднують мережевого двійника (симуляція навантажень) та двійника активів (трансформаторів та інших пристроїв), що дозволяє забезпечити стабільну та ефективну роботу всієї енергетичної системи [11].

Прикладом застосування цифрових двійників в енергетичній мережі громади є місто Трієст (Італія). Платформа Gridscale X від Siemens, моделюючи умови мережі, може виявляти точки перевантаження та розраховувати енергію, необхідну для їх вирішення, забезпечуючи стабільну та надійну мережу, одночасно прискорюючи програми електрифікації та декарбонізації муніципалітету Трієст [12].

На міждержавному рівні уваги заслуговує TwinEU – масштабний європейський проєкт, спрямований на створення Pan-European Digital Twin електроенергетичної системи Європи. Ініціатива реалізується в межах програми Horizon Europe за підтримки Європейської Комісії та об'єднує понад 70 партнерів із більш ніж 15 країн Європи. Основною метою проєкту є створення системи цифрових двійників електромереж, які дозволять у режимі реального часу моделювати, прогнозувати та оптимізувати роботу енергетичної інфраструктури. Для цього використовуються технології AI, big data, cloud computing, high-performance computing та smart grid [13].

Інше цифрове рішення (DeepMind (Google)), використовуючи нейронну мережу, навчену на широкодоступних прогнозах погоди та історичних даних про турбіни прогнозує вироблення енергії вітру на 36 годин до фактичного виробництва. На основі прогнозів інтелектуальна модель рекомендує оптимальні погодинні завдання щодо постачання до енергомережі на день наперед. Дана оптимізація виробництва вітрової енергії підвищує її економічну цінність на 20% [14].

На мікрорівні прикладом цифрового рішення для підвищення енергоефективності є Schneider Electric IntenCity (Франція). Дане рішення є прикладом екологізації будівель та розвитку концепції розумного будівництва. Цифрова платформа інтегрує IoT-сенсори, системи автоматизації та аналітику даних для управління освітленням, вентиляцією, кондиціонуванням та енергоспоживанням у режимі реального часу. Це дозволяє оптимізувати використання ресурсів та суттєво зменшити споживання енергії. Будівля використовує сонячні панелі, вітрові турбіни та системи накопичення енергії, що забезпечує її функціонування на основі відновлюваних джерел енергії. Завдяки цифровому моніторингу система постійно аналізує показники енергоспоживання та вуглецевих викидів, формуючи екологічні KPI для оцінки ефективності використання ресурсів [15].

Наступною групою цифрових рішень для екологізації економіки є програмні продукти для управління відходами. Вони допомагають містам, бізнесу та комунальним службам оптимізувати маршрути збору сміття, зменшувати порожні поїздки, знижувати витрати та викиди CO₂. Ці платформи перетворюють традиційне управління відходами на керований процес, сприяючи переходу до циркулярної економіки.

Серед таких рішень – Sensoneo (Словаччина) – один із глобальних лідерів, пропонує ультразвукові

та радарні сенсори для моніторингу рівня заповнення контейнерів у реальному часі, потужну хмарну платформу Waste Management System (WMS) та мобільний додаток для громадян. Рішення дозволяє оптимізувати маршрути, зменшити кількість поїздок на 30–50% та викиди вуглецю до 60%. Використовується в понад 90 країнах [16].

Compology (США) спеціалізується на камерах з AI, встановлених у контейнерах. Система не тільки вимірює рівень заповнення, але й аналізує вміст (виявляє забруднення, наприклад, картон у загальному смітті), відстежує GPS та верифікує надану послугу [17].

Enevo (США) – платформа прогнозує тренди заповнення та оптимізує графіки, забезпечуючи економію 20–40% на витратах збору відходів [18].

CleanHub – AI-платформа для моніторингу пластикового забруднення в прибережних регіонах Азії та Африки [19]. Основна мета – запобігти потраплянню пластику в океан шляхом створення місцевих систем збору, сортування та переробки. Компанія працює в Індонезії, Індії, Гватемалі та інших країнах Азії, Африки та Центральної Америки.

Цифрові технології у галузі сільського господарства дозволяють підвищити його ефективність та екологічність, оптимізуючи зрошення, внесення добрив та процес вирощування культур. Екологізація у сфері агровиробництва забезпечує економічну та продовольчу безпеку країни.

Crop Digital Twin від Texas A&M AgriLife Research (США) – це передові віртуальні моделі реальних сільськогосподарських систем, які в реальному часі симулюють ріст культур, взаємодію з довкіллям та реакцію на управлінські рішення. Цифрові проєкти поєднують дані з дронів, супутників, наземних сенсорів, IoT, штучного інтелекту та великих даних для створення точної цифрової копії полів. Система прогнозує оптимальні терміни зрошення, внесення добрив і регуляторів росту, дозрівання та дефоліації. Технологія значно зменшує екологічне навантаження, оптимізуючи витрати води, добрив і пестицидів [20].

Технологія Tourba [21] (Саудівська Аравія) допомагає фермерам переходити на регенеративне сільське господарство: платформа інтегрує супутникові знімки, дані про погоду, аналіз ґрунту та рекомендації щодо удобрення, зрошення та управління залишками культур. Це дозволяє одночасно підвищувати врожайність, покращувати здоров'я ґрунту та генерувати вуглецеві кредити [22, 23].

Система John Deere See & Spray (США) використовує штучний інтелект та computer vision для автоматичного розпізнавання бур'янів у режимі реального часу. Система здійснює точкове розпилення гербіцидів лише на ділянках із бур'янами, що дозволяє скоротити використання хімічних речовин більш ніж на 70 %. Це зменшує хімічне навантаження на ґрунти та водні ресурси, а також сприяє підвищенню екологічності агровиробництва [24].

Система крапельного зрошення Netafim (Ізраїль) використовує IoT-сенсори, AI-аналітику та cloud-платформи для автоматичного контролю подачі води й добрив залежно від стану ґрунту та потреб рослин. Такі рішення дозволяють скоротити використання води до 30–40 % порівняно з традиційними методами поливу та мінімізувати виснаження водних ресурсів [25].

На глобальному рівні створюються ініціативи для досягнення Цілей сталого розвитку в епоху цифровізації. Основною метою таких ініціатив є просування партнерства у впровадженні цифрових технологій для сталого розвитку.

Міжнародна багатостороння коаліція CODES (Coalition for Digital Environmental Sustainability), створена у 2021 році під егідою UNEP (Програми ООН з навколишнього середовища). Коаліція об'єднує уряди, бізнес, науку та громадянське суспільство для просування цифрової сталості. У головному документі Коаліції Action Plan for a Sustainable Planet in the Digital Age [26] визначаються три системні зрушення, пов'язані з цифровізацією: узгодження цифрового розвитку зі сталим розвитком, зменшення негативного впливу цифровізації та прискорення інновацій для екологічної та соціальної сталості.

CODES стала ключовим глобальним майданчиком для координації зусиль щодо «зеленої» цифрової трансформації. Вона акцентує увагу на зменшенні вуглецевого сліду цифрових технологій, використанні цифрових інструментів для вирішення кліматичних проблем, збереження біорізноманіття та зменшення забруднення довкілля, а також на створенні глобальних стандартів і політик.

ITU Green Digital Action [27] – це ініціатива Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU), запущена на COP28 і активно продовжена на COP29 та COP30. Вона спрямована на посилення ролі ІКТ-сектору у боротьбі зі зміною клімату через зменшення власного екологічного впливу цифрових технологій та максимізацію їхнього позитивного внеску. На COP29 було прийнято Declaration on Green Digital Action [28], яку підтримали 82 країни та майже 1800 організацій. На COP30 у Бразилії (2025) запустили Green Digital Action Hub [29] – платформу для обміну знаннями, технологіями та партнерствами, особливо з акцентом на країни Глобального Півдня.

Ініціатива підтримує розробку зелених стандартів, енергоефективних мереж 5G/6G, моніторинг викидів від дата-центрів та просування цифрових рішень для кліматичної адаптації.

Глобальні платформи на базі великих мовних моделей та даних для аналізу екологічної ситуації World Environment Situation Room та EnvironmentGPT від UNEP дозволяють використовувати технології штучного інтелекту в екологічному управлінні. Платформа базується на технології великих мовних моделей та орієнтована на аналіз значних обсягів екологічної інформації, наукових даних, кліматичних звітів і статистики з метою формування аналітичних висновків та підтримки прийняття рішень у сфері сталого розвитку. World Environment Situation Room є глобальною цифровою платформою UNEP для збору, інтеграції та візуалізації екологічних даних у режимі, наближеному до реального часу. Платформа функціонує як міжнародний центр екологічної інформації, який об'єднує геопросторові дані, супутникові спостереження, статистику, big data та результати екологічного моніторингу з різних країн світу. Основною метою WESR є забезпечення відкритого доступу до достовірної екологічної інформації для підтримки управлінських рішень, екологічної політики та реалізації Цілей сталого розвитку ООН [30, 31].

У контексті екологізації економіки EnvironmentGPT та World Environment Situation Room демонструють, як цифрові технології трансформують систему екологічного управління на глобальному рівні. Вони забезпечують перехід від традиційного збору статистики до цифрового екологічного моніторингу в реальному часі, підвищують прозорість екологічної інформації та сприяють прийняттю data-driven рішень. Використання штучного інтелекту, великих даних та цифрових платформ дозволяє більш ефективно прогнозувати екологічні ризики, оцінювати вплив економічної діяльності на довкілля та підтримувати реалізацію принципів сталого розвитку [32].

Узагальнимо розглянуті цифрові рішення у концептуальній моделі взаємозв'язку між цифровізацією, екологічним ефектом та економічними результатами впровадження цифрових рішень в екологізацію економіки (рис. 1).

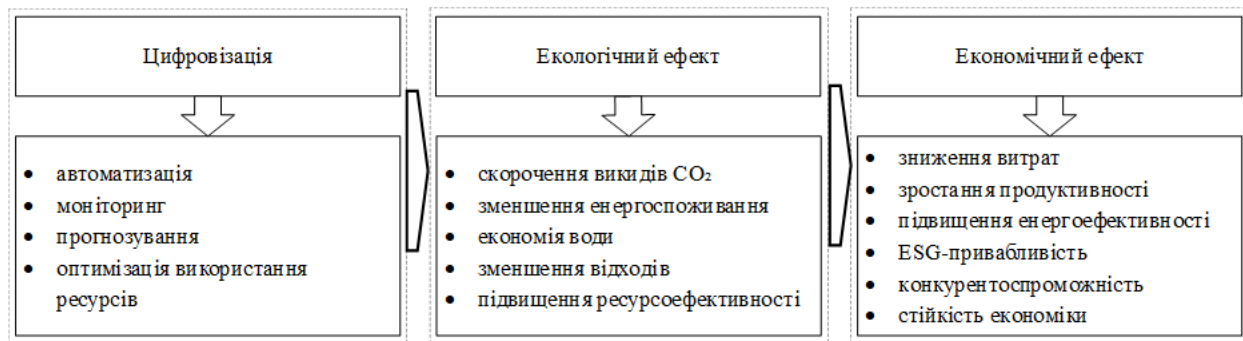


Рис. 1. Концептуальна модель взаємозв'язку між цифровізацією, екологічним ефектом та економічними результатами
Джерело: сформовано авторами

На рівні цифрових технологій як первинного драйвера трансформації економічних процесів доцільно виділити рішення, що забезпечують автоматизацію, моніторинг, прогнозування та аналітику. До таких технологій належать AI-платформи DeepMind від Google, які використовують штучний інтелект для оптимізації енергоспоживання дата-центрів, системи Digital Twins електромереж та проєкт TwinEU, що базуються на big data, IoT та моделюванні енергетичних систем у режимі реального часу. У сфері екологічного моніторингу прикладами є Pano AI для раннього виявлення лісових пожеж, Clarity Air Quality Monitor для цифрового контролю якості повітря, а також глобальні цифрові платформи World Environment Situation Room та UNEP Digitalization and Sustainability Initiatives, які забезпечують аналітику екологічних даних на міжнародному рівні. У сільському господарстві до цієї групи належать системи precision agriculture, зокрема John Deere See & Spray, Climate FieldView та цифрові системи зрошення Netafim.

Наступний рівень моделі пов'язаний із формуванням екологічного ефекту через оптимізацію використання ресурсів та зниження екологічного навантаження. Так, AI-рішення DeepMind забезпечують скорочення енергоспоживання дата-центрів та зменшення викидів CO₂. Digital Twins електромереж і TwinEU сприяють інтеграції відновлюваних джерел енергії, зниженню втрат електроенергії та підвищенню енергоефективності енергосистем. Schneider Electric IntenCity демонструє можливості smart building технологій щодо скорочення споживання енергії та декарбонізації міської інфраструктури. Pano AI дозволяє мінімізувати екологічні збитки від лісових пожеж, тоді як Clarity Air Quality Monitor забезпечує контроль забруднення повітря та підтримку екологічної безпеки міст.

У сфері сільського господарства технології John Deere See & Spray та Netafim сприяють скороченню використання пестицидів, води та агрохімікатів, зменшуючи деградацію ґрунтів і негативний вплив аграрного сектору на довкілля.

Заключний етап моделі відображає трансформацію екологічного ефекту в економічні результати. Використання цифрових технологій забезпечує зниження операційних витрат, підвищення продуктивності та енергоефективності підприємств. Наприклад, AI-рішення DeepMind дозволяють суттєво скоротити витрати на охолодження дата-центрів, а smart building системи Schneider Electric IntenCity – зменшити витрати на енергозабезпечення будівель. У сільському господарстві precision agriculture технології підвищують врожайність та ресурсоефективність виробництва. Водночас цифрові платформи екологічного моніторингу та ESG-аналітики сприяють підвищенню екологічної прозорості бізнесу, ESG-привабливості та конкурентоспроможності економіки. Таким чином, розглянуті цифрові рішення демонструють практичну реалізацію логічного зв'язку між цифровізацією, екологічним ефектом та економічною ефективністю у межах концепції «зеленої» цифрової економіки.

Деталізуючи концептуальну модель взаємозв'язку між цифровізацією, екологічними та економічними ефектами, виокремимо зазначені ефекти для кожного цифрового рішення. Результат узагальнення наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Екологічні та економічні ефекти цифрових рішень

Цифрове рішення	Екологічний ефект	Економічний ефект
DeepMind	скорочення споживання енергії та викидів CO ₂ у дата-центрах	зниження операційних витрат, підвищення енергоефективності та продуктивності
Digital Twins енергомереж	зменшення втрат електроенергії, інтеграція відновлюваної енергетики, скорочення викидів CO ₂	оптимізація витрат на управління енергомережами, підвищення стабільності та ефективності енергосистем, збільшення ESG-привабливості
TwinEU	декарбонізація енергетики, підвищення енергоефективності smart grids	оптимізація енергетичних потоків, зниження витрат на балансування енергосистем
Schneider Electric IntenCity	скорочення енергоспоживання та викидів CO ₂ у будівлях	зниження витрат на енергозабезпечення та підвищення ресурсоефективності
Pano AI	мінімізація наслідків лісових пожеж, скорочення викидів CO ₂ , збереження екосистем	зменшення витрат на ліквідацію пожеж та екологічних збитків
Clarity Air Quality Monitor	контроль забруднення повітря та зниження екологічних ризиків	зменшення витрат на екологічний моніторинг і охорону здоров'я
Netafim	економія водних ресурсів та зменшення деградації ґрунтів	зниження витрат на зрошення та підвищення врожайності, збільшення ESG-привабливості
Climate FieldView	оптимізація використання добрив і засобів захисту рослин	підвищення продуктивності та ефективності аграрного виробництва
John Deere See & Spray	скорочення використання гербіцидів та хімічного навантаження на ґрунти	зменшення витрат на агрохімікати та підвищення ефективності аграрного виробництва
Crop Digital Twin від Texas A&M AgriLife Research	оптимізація використання води, добрив і пестицидів, зменшення деградації ґрунтів	підвищення врожайності та ефективності аграрного виробництва
Tourba	цифровий моніторинг екологічного стану територій та підтримка сталого природо-користування	підтримка екотуризму, оптимізація управління природними ресурсами та розвиток локальної «зеленої» економіки
Sensoneo	підвищення рівня переробки відходів, скорочення перевезень сміття та зниження викидів CO ₂	оптимізація маршрутів збору сміття, зменшення витрат на логістику та управління відходами
Compology	скорочення переповнення контейнерів і зменшення обсягів зайвих перевезень відходів	зниження витрат на паливо, логістику та обслуговування смітєвих маршрутів
Enevo	зменшення викидів від смітєвозів та підвищення ефективності управління відходами	скорочення операційних витрат і оптимізація використання ресурсів в управлінні відходами
CleanHub	скорочення пластикового забруднення та запобігання потраплянню пластику в океан	розвиток циркулярної економіки та зниження екологічних збитків від пластикових відходів
World Environment Situation Room	підвищення ефективності глобального екологічного моніторингу	підтримка data-driven екологічної політики та зниження ризиків екологічних криз
UNEP Digitalization and Sustainability Initiatives	покращення управління природними ресурсами та екологічної аналітики	підвищення ефективності екологічного врядування та підтримка сталого економічного розвитку

Джерело: складено авторами на основі [9-25, 30,31,32]

Враховуючи світовий досвід, для України впровадження цифрових технологій має важливе значення у контексті екологізації економіки та переходу до моделі сталого розвитку.

В умовах значного антропогенного навантаження на довкілля, високого рівня енергоемності економіки та потреби у післявоєнній модернізації інфраструктури цифрові рішення можуть стати інструментом підвищення ресурсоефективності, скорочення викидів та екологічної трансформації економічної системи. Зокрема, доцільним є використання платформ екологічного моніторингу на основі штучного інтелекту та IoT-технологій, подібних до Pano AI та Clarity Air Quality Monitor. Такі системи дозволяють здійснювати цифровий контроль якості повітря, моніторинг промислових викидів та оперативне реагування на екологічні загрози. Їх використання сприятиме зниженню екологічних ризиків, підвищенню прозорості екологічної політики та формуванню data-driven підходів до управління природними ресурсами.

Критично важливим напрямом екологізації економіки України є цифрова трансформація енергетичного сектору. У цьому контексті перспективним є впровадження Digital Twins електромереж, аналогічних проєктам TwinEU та Siemens Gridscale X. Цифрові двійники дозволяють моделювати роботу енергосистеми у режимі реального часу, прогнозувати навантаження, оптимізувати споживання електроенергії та інтегрувати відновлювані джерела енергії. Такі рішення сприяють скороченню втрат електроенергії, підвищенню енергоефективності та декарбонізації економіки. Водночас AI-рішення на зразок DeepMind можуть використовуватися для прогнозування виробництва енергії з вітрових і сонячних електростанцій, що підвищить ефективність функціонування «зеленої» енергетики та підвищить енергетичну безпеку України в умовах постійних обстрілів.

У контексті екологізації міської інфраструктури доцільним є впровадження smart building технологій, подібних до Schneider Electric IntenCity. Інтеграція IoT-сенсорів, автоматизованих систем управління та цифрового моніторингу енергоспоживання дозволить зменшити втрати теплової та електричної енергії у житловому та комунальному секторі. Для України це особливо актуально в процесі відбудови міст та модернізації житлового фонду відповідно до принципів «зеленої» економіки. Використання таких цифрових рішень сприятиме формуванню енергоефективної інфраструктури та зниженню навантаження на енергосистему.

Висновки. Світовий досвід свідчить, що цифрові технології стають одним із ключових інструментів екологізації економіки та забезпечення сталого розвитку. Інтеграція штучного інтелекту, Internet of Things, big data, цифрових двійників та хмарних платформ дозволяє підвищувати енергоефективність, оптимізувати використання природних ресурсів, скорочувати викиди парникових газів та формувати більш екологічно орієнтовані моделі господарювання. Цифровізація сприяє переходу до «зеленої» та циркулярної економіки, забезпечуючи прозорість екологічного управління та підтримку data-driven рішень у сфері охорони довкілля.

Для України впровадження цифрових технологій у процеси екологізації економіки є стратегічно важливим напрямом модернізації держави та післявоєнного відновлення. Використання світового досвіду у сферах цифрового екологічного моніторингу, smart grids, енергоефективних будівель, управління відходами та стале сільське господарство дозволить підвищити ресурсоефективність економіки, знизити екологічні ризики та прискорити інтеграцію України до європейського простору сталого розвитку. Таким чином, цифрові технології можуть стати основою формування конкурентоспроможної, екологічно безпечної та інноваційної економіки України.

Література

1. Hu M., Zhang Y., Chen P., Li Z. The synergistic effects of the digital economy and industrial ecologization on eco-urbanization in the Yangtze River Delta urban agglomeration. *Humanities and Social Sciences Communications*, 2025. № 12. 1855. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-025-06128-5> (date accessed: 28.01.2026)
2. Kraus N., Kraus K. Synergistic effects of functional interaction between biogrowth economy and green economy in the context of digitalization and ecologization. *Journal of European Economy*, 2025. № 24(1). P. 76-87. DOI: <http://doi.org/10.35774/jee2025.01.076> (date accessed: 28.01.2026)
3. Нагара М.Б. Сталий розвиток: трансформація парадигми в умовах екологізації економіки. *Інноваційна економіка*, 2021. № 5-6. С. 36- 42. DOI: <http://doi.org/10.37332/2309-1533.2021.5-6.5> (дата звернення: 28.01.2026)
4. Гончарук І.В., Красносельська А.А. Проблеми екологізації сільськогосподарського виробництва та боротьби зі змінами клімату в контексті розвитку «зеленої економіки». *Економіка*,

Дослідження виконано в рамках реалізації науково-дослідної роботи № 0126U001354 «Діджиталізація інституційного середовища у контексті відновлення еколого-економічної стійкості України»

фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики, 2022. № 4. С. 101-114. DOI: <http://doi.org/10.37128/2411-4413-2022-4-7> (дата звернення: 28.01.2026)

5. Дребот О.І., Височанська М.Я., Білотіл В.Ю. Удосконалення організаційного механізму щодо розвитку «зеленого» житлового будівництва на прикладі сільських селітебних територій. Вісник аграрної науки, 2023. № 7(844). С. 60-71. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202307-07> (дата звернення: 28.01.2026)

6. Zeng H., Wang Ch., Chen Ji., Tang D., Xu A.. Pathways to tourism industry ecologization: A technology-organization-environment configuration framework, *Ecological Indicators*, 2023. № 156. 111119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111119> (date accessed: 28.01.2026)

7. AI for energy optimisation and innovation: International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/ai-for-energy-optimisation-and-innovation> (date accessed: 28.01.2026)

8. AI and climate change: International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/ai-and-climate-change> (date accessed: 28.01.2026)

9. AI-Powered Wildfire Detection and Situational Awareness: Pano. URL: <https://www.pano.ai/> (date accessed: 28.01.2026)

10. Reliable Air Quality Monitoring, Anywhere: Clarity. URL: <https://www.clarity.io/> (date accessed: 28.01.2026)

11. Grid Digital Twin: Energy Market Authority of Singapore. URL: <https://www.ema.gov.sg/our-energy-story/energy-grid/grid-digital-twin> (date accessed: 28.01.2026)

12. AcegasApsAmga leverages Siemens' Gridscale X to build digital twin of Trieste's energy grid: Siemens. URL: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/acegasapsamga-leverages-siemens-gridscale-x-build-digital-twin-triestes-energy-grid> (date accessed: 28.01.2026)

13. TwinEU. URL: <https://twineu.net/> (date accessed: 28.01.2026)

14. Elkin K., Witherspoon S. Machine learning can boost the value of wind energy. *Google DeepMind*, 2019. URL: <https://deepmind.google/blog/machine-learning-can-boost-the-value-of-wind-energy/> (date accessed: 28.01.2026)

15. IntenCity: an exemplary building for Schneider Electric in France. URL: https://www.se.com/sg/en/download/document/SEF_IntenCity_flyer_EN/ (date accessed: 28.01.2026)

16. Leader in smart waste solutions: Sensoneo. URL: <https://www.sensoneo.com/> (date accessed: 28.01.2026)

17. RoadRunner Recycling Acquires Compology to Accelerate Sustainable Waste and Recycling. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/roadrunner-recycling-acquires-compology-to-accelerate-sustainable-waste-and-recycling-301641924.html> (date accessed: 28.01.2026)

18. Unleash The Power Of Your Waste Data: Enevo. URL: <https://enevo.com/> (date accessed: 28.01.2026)

19. Protect the ocean from plastic waste: CleanHub. URL: <https://www.cleanhub.com/> (date accessed: 28.01.2026)

20. Precision agriculture new frontier: Crop digital twins. URL: <https://agrifetoday.tamu.edu/2025/01/09/crop-farmers-production-digital-twins/> (date accessed: 28.01.2026)

21. Biochar for sustainable growth: Tourba. URL: <https://tourbatech.com/> (date accessed: 28.01.2026)

22. Light S. Improving Soil Health in Dryland Wheat Production. URL: <https://www.pnwbiochar.org/case-studies/dryland-wheat/> (date accessed: 28.01.2026)

23. Pioneering the future of farms through Carbon Farming solutions. URL: <https://innovx.com/businesses/tourba/> (date accessed: 28.01.2026)

24. John Deere. URL: <https://www.deere.com/en/sprayers/see-spray-gen-2/> (date accessed: 28.01.2026)

25. Netafim. URL: <https://www.netafim.com/> (date accessed: 28.01.2026)

26. Action Plan for a Sustainable Planet in the Digital Age: Report. UNEP. URL: <https://www.unep.org/resources/report/action-plan-sustainable-planet-digital-age> (date accessed: 28.01.2026)

27. Green Digital Action: International Telecommunication Union. URL: <https://www.itu.int/initiatives/green-digital-action/> (date accessed: 28.01.2026)

28. COP29 Declaration on Green Digital Action: International Telecommunication Union. URL: <https://cop29.az/en/pages/cop29-declaration-on-green-digital-action> (date accessed: 28.01.2026)

29. COP30: Green Digital Action Hub to accelerate innovation for a sustainable future: International Telecommunication Union. URL: <https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR-2025-11-10-Green-Digital-Action-COP30-announcement.aspx> (date accessed: 28.01.2026)

30. World Environment Situation Room. URL: <https://wesr.unep.org/> (date accessed: 28.01.2026)

31. Environment GPT. URL: <https://wesr.unep.org/environmentgpt/> (date accessed: 28.01.2026)

32. World Environment Situation Room: Global Environmental Data Strategy - Big Data Platform on the Environment for Sustainable Development, Peace and Security and Humanitarian Action. URL: <https://>

wedocs.unep.org/items/45bc6819-06fd-4302-8322-b902ca098fe2 (date accessed: 28.01.2026)

References

1. Hu M., Zhang Y., Chen P., Li Z. (2025) The synergistic effects of the digital economy and industrial ecologization on eco-urbanization in the Yangtze River Delta urban agglomeration. *Humanities and Social Sciences Communications*, No 12. 1855. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-025-06128-5> (accessed January 28, 2026)
2. Kraus N., Kraus K. (2025) Synergistic effects of functional interaction between biogrowth economy and green economy in the context of digitalization and ecologization. *Journal of European Economy*, vol. 24 No 1. pp. 76-87. DOI: <http://doi.org/10.35774/jee2025.01.076> (accessed January 28, 2026)
3. Nahara M.B. (2021) Stalyi rozvytok: transformatsiia paradyhmy v umovakh ekolohizatsii ekonomiky [Sustainable development: paradigm transformation in the context of greening the economy]. *Innovatsiina ekonomika*, No 5-6. pp. 36-42. DOI: <http://doi.org/10.37332/2309-1533.2021.5-6.5> (accessed January 28, 2026)
4. Honcharuk I.V., Krasnoselska A.A. (2022) Problemy ekolohizatsii silskohospodarskoho vyrobnytstva ta borotby zi zminamy klimatu v konteksti rozvytku «zelenoi ekonomiky» [Problems of greening agricultural production and combating climate change in the context of the development of a “green economy”]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*, No 4. pp. 101-114. DOI: <http://doi.org/10.37128/2411-4413-2022-4-7> (accessed January 28, 2026)
5. Drebot O.I., Vysochanska M.Ia., Bilotil V.Iu. (2023) Udoskonalennia orhanizatsiinoho mekhanizmu shchodo rozvytku «zelenoho» zhytlovoho budivnytstva na prykladi silskykh selitebnykh terytorii [Improving the organizational mechanism for the development of “green” housing construction using the example of rural residential areas]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, vol 844 No 7. pp. 60-71. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202307-07> (accessed January 28, 2026)
6. Zeng H., Wang Ch., Chen Ji., Tang D., Xu A. (2023) Pathways to tourism industry ecologization: A technology-organization-environment configuration framework, *Ecological Indicators*, No 156. 111119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111119> (accessed January 28, 2026)
7. AI for energy optimisation and innovation: International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/ai-for-energy-optimisation-and-innovation> (accessed January 28, 2026)
8. AI and climate change: International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/ai-and-climate-change> (accessed January 28, 2026)
9. AI-Powered Wildfire Detection and Situational Awareness: Pano. URL: <https://www.pano.ai/> (accessed January 28, 2026)
10. Reliable Air Quality Monitoring, Anywhere: Clarity. URL: <https://www.clarity.io/> (accessed January 28, 2026)
11. Grid Digital Twin: Energy Market Authority of Singapore. URL: <https://www.ema.gov.sg/our-energy-story/energy-grid/grid-digital-twin> (accessed January 28, 2026)
12. AcegasApsAmga leverages Siemens' Gridscale X to build digital twin of Trieste's energy grid: Siemens. URL: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/acegasapsamga-leverages-siemens-gridscale-x-build-digital-twin-triestes-energy-grid> (accessed January 28, 2026)
13. TwinEU. URL: <https://twineu.net/> (accessed January 28, 2026)
14. Elkin K., Witherspoon S. Machine learning can boost the value of wind energy. *Google DeepMind*, 2019. URL: <https://deepmind.google/blog/machine-learning-can-boost-the-value-of-wind-energy/> (accessed January 28, 2026)
15. IntenCity: an exemplary building for Schneider Electric in France. URL: https://www.se.com/sg/en/download/document/SEF_IntenCity_flyer_EN/ (accessed January 28, 2026)
16. Leader in smart waste solutions: Sensoneo. URL: <https://www.sensoneo.com/> (accessed January 28, 2026)
17. RoadRunner Recycling Acquires Compology to Accelerate Sustainable Waste and Recycling. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/roadrunner-recycling-acquires-compology-to-accelerate-sustainable-waste-and-recycling-301641924.html> (accessed January 28, 2026)
18. Unleash The Power Of Your Waste Data: Enevo. URL: <https://enevo.com/> (accessed January 28, 2026)
19. Protect the ocean from plastic waste: CleanHub. URL: <https://www.cleanhub.com/> (accessed January 28, 2026)
20. Precision agriculture new frontier: Crop digital twins. URL: <https://agrifetoday.tamu.edu/2025/01/09/crop-farmers-production-digital-twins/> (accessed January 28, 2026)
21. Biochar for sustainable growth: Tourba. URL: <https://tourbatech.com/> (accessed January 28, 2026)

22. Light S. Improving Soil Health in Dryland Wheat Production. URL: <https://www.pnwbiochar.org/case-studies/dryland-wheat/> (accessed January 28, 2026)
23. Pioneering the future of farms through Carbon Farming solutions. URL: <https://innovx.com/businesses/tourba/> (accessed January 28, 2026)
24. John Deere. URL: <https://www.deere.com/en/sprayers/see-spray-gen-2/> (accessed January 28, 2026)
25. Netafim. URL: <https://www.netafim.com/> (accessed January 28, 2026)
26. Action Plan for a Sustainable Planet in the Digital Age: Report. UNEP. URL: <https://www.unep.org/resources/report/action-plan-sustainable-planet-digital-age> (accessed January 28, 2026)
27. Green Digital Action: International Telecommunication Union. URL: <https://www.itu.int/initiatives/green-digital-action/> (accessed January 28, 2026)
28. COP29 Declaration on Green Digital Action: International Telecommunication Union. URL: <https://cop29.az/en/pages/cop29-declaration-on-green-digital-action> (accessed January 28, 2026)
29. COP30: Green Digital Action Hub to accelerate innovation for a sustainable future: International Telecommunication Union. URL: <https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/PR-2025-11-10-Green-Digital-Action-COP30-announcement.aspx> (accessed January 28, 2026)
30. World Environment Situation Room. URL: <https://wesr.unep.org/> (accessed January 28, 2026)
31. Environment GPT. URL: <https://wesr.unep.org/environmentgpt/> (accessed January 28, 2026)
32. World Environment Situation Room: Global Environmental Data Strategy - Big Data Platform on the Environment for Sustainable Development, Peace and Security and Humanitarian Action. URL: <https://wedocs.unep.org/items/45bc6819-06fd-4302-8322-b902ca098fe2> (accessed January 28, 2026)

Отримано: 30.01.2026

Прийнято до публікації: 14.02.2026

Опубліковано: 15.02.2026