

ІНДУСТРІЯ 4.0 ТА ЦІЛІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ: СИНЕРГІЯ ІННОВАЦІЙ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ

ВІЛЯНСЬКИЙ Андрій

ПВНЗ «Європейський університет»

<https://orcid.org/0000-0002-9655-7334>

e-mail: avilyanskyj@e-u.edu.ua

У статті досліджено взаємозв'язок між процесами цифрової трансформації, що визначають розвиток Індустрії 4.0, та реалізацією Цілей сталого розвитку (ЦСР). Обґрунтовано, що інтеграція цифрових технологій — штучного інтелекту, Інтернету речей, великих даних, блокчейну — сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів, мінімізації екологічного навантаження та зміцненню соціально-економічної стійкості промислових підприємств. На основі узагальнення сучасних наукових підходів визначено ключові напрями поєднання інновацій і цілей сталого розвитку: впровадження «зелених» виробництв та екологічно орієнтоване управління, перехід до відновлюваних джерел енергії, циркулярної економіки (або економіки замкненого циклу). Показано, що Індустрія 4.0 є пріоритетним інструментарієм реалізації цілей сталого розвитку та процесів збереження навколишнього середовища через створення нових моделей управління промисловими підприємствами та формуванням їх цифрової відповідальності.

Ключові слова: Індустрія 4.0, сталий розвиток, цифровізація, промислові підприємства, екологічна трансформація, циркулярна економіка, енергетичний перехід.

<https://doi.org/10.31891/mdes/2025-18-10>

Стаття надійшла до редакції / Received 05.09.2025

Прийнята до друку / Accepted 12.11.2025

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується глибокими структурними перетвореннями, зумовленими технологічною революцією Індустрії 4.0. Впровадження цифрових інструментів у виробничі процеси суттєво трансформуює моделі управління, логістичні ланцюги, структуру створення доданої вартості та підходи до енергоефективності промислових підприємств. За таких умов особливої актуальності набуває проблема забезпечення сталого розвитку. Це пов'язано з необхідністю реагування на глобальні екологічні виклики — зміну клімату, виснаження природних ресурсів і зростання соціальної нерівності, які вимагають формування нової парадигми економічного зростання на засадах «зеленої» та цифрової економіки.

Україна, орієнтуючись на європейський курс досягнення цілей сталого розвитку, має враховувати потенціал Індустрії 4.0 для реалізації ЦСР, зокрема — цілей №7 «Доступна та чиста енергія», №9 «Індустріалізація, інновації та інфраструктура» і №12 «Відповідальне споживання та виробництво». Водночас сьогоденні виклики, зокрема, війни, проблеми енергетичної безпеки та відновлення промисловості вимагають переосмислення ролі інноваційних цифрових технологій не лише як ефективних інструментів, а й як основу для відбудови інфраструктури України на нових принципах — сталого розвитку, екологічної безпеки і соціальної відповідальності. Отже, інтеграція інноваційних технологій у національну стратегію сталого розвитку стає ключовим вектором економічного відновлення України.

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Попри численні дослідження з питань цифровізації та сталого розвитку, у вітчизняній науці недостатньо опрацьовано комплексну взаємодію між технологічними інноваціями Індустрії 4.0 та екологічною політикою підприємств. Часто ці аспекти розглядаються окремо: технологічна модернізація — як інструмент підвищення конкурентоспроможності, а сталий розвиток — як соціально-економічна чи екологічна категорія. Недостатньо уваги приділяється аналізу того, як саме цифрові технології здатні створити нову архітектуру виробничих систем, що одночасно оптимізує витрати, мінімізує відходи та підвищує рівень прозорості бізнес-процесів.

Отже, виникає потреба у формуванні наукового підходу, що поєднує концепцію сталого розвитку та парадигму Індустрії 4.0 в єдину модель еволюції промислового сектору.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є дослідження взаємозв'язку між впровадженням технологій Індустрії 4.0 та реалізацією Цілей сталого розвитку в Україні, з урахуванням національних особливостей розвитку промислового сектору, ESG-орієнтації бізнесу та становлення цифрових екосистем.

Завдання полягає у систематизації сучасних технологічних трендів, аналізі їх практичного застосування, визначенні переваг та обмежень, а також формулюванні рекомендацій щодо практичних дій для досягнення екологічних, економічних і технологічних цілей розвитку.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Питання цифрової трансформації економіки та її впливу на сталий розвиток активно досліджуються у працях вітчизняних і зарубіжних науковців. Мельник і Шумило [2] наголошують, що Індустрія 4.0 є ключовим чинником екологічної модернізації промислових підприємств, оскільки цифрові технології забезпечують контроль за енергоспоживанням, зменшення відходів і впровадження систем прогностичного управління. За їх висновками, формування «розумного виробництва» знижує енергоспоживання на 15–25 % завдяки оптимізації процесів і прогностичній аналітиці. Бойко [4] розглядає цифровізацію як рушійну силу та каталізатор «зеленої» трансформації економіки України, що дає змогу інтегрувати екологічні стандарти у процеси виробництва та логістики.

Крім технологічного аспекту, важливою складовою є соціальний вимір Індустрії 4.0. Зокрема, цифрові платформи сприяють розширенню доступу до освіти, гнучким формам зайнятості та підвищенню інклюзивності економічного розвитку [17]. Дослідження Гриценко К. [3] акцентує увагу на важливості розвитку цифрових компетенцій як базової умови для досягнення ЦСР, особливо у сфері підготовки кадрів для цифрової економіки. Зінченко (2020) підкреслює необхідність адаптації політик сталого розвитку до викликів цифровізації, оскільки без оновлення нормативного середовища неможливо забезпечити збалансоване впровадження інновацій у промисловість.

Зарубіжні автори, зокрема дослідники Міжнародної асоціації з твердих відходів (ISWA) [6], у своїй доповіді підкреслюють, що цифровізація суттєво змінює логіку управління відходами: завдяки сенсорним мережам, автоматизованому моніторингу й аналітиці даних зменшуються втрати ресурсів і покращується екологічна результативність. Цей досвід може бути масштабований і на інші сфери промисловості, формуючи основу для циркулярної економіки. У європейському контексті набуває поширення підхід ESG (Environmental, Social, Governance), який інтегрує принципи екологічної, соціальної та управлінської відповідальності в корпоративні стратегії. На практичному рівні поєднання Індустрії 4.0 та ЦСР проявляється у трьох вимірах: економічному — підвищення продуктивності, оптимізація ресурсів, зростання конкурентоспроможності; екологічному — зменшення шкідливих викидів, енергоефективність, розвиток циркулярних процесів; соціальному — покращення умов праці, зростання цифрових навичок, підвищення соціальної відповідальності бізнесу.

Отже, сучасні наукові напрацювання створюють підґрунтя для подальших досліджень синергії між цифровими технологіями та ЦСР, але залишають відкритим питання інституційного впровадження цих принципів в українській промисловості. Індустрія 4.0 сприяє переходу від лінійної моделі «виробництво — споживання — відходи» до циркулярної моделі, де продукти, матеріали й енергія використовуються повторно. Такий підхід зменшує навантаження на природні ресурси, створює передумови для екологічного інжинірингу та розвитку енергоефективних технологій. Водночас цифрові інструменти дозволяють відстежувати вуглецевий слід продукції, підвищуючи прозорість і підзвітність бізнесу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Індустрія 4.0 розглядається як четверта промислова революція, що ґрунтується на злитті цифрових, фізичних і біологічних технологій [18]. Її ключовими складниками є штучний інтелект, роботизація, великі дані (Big Data), хмарні обчислення, блокчейн, адитивне виробництво, кіберфізичні системи та Інтернет речей (IoT). Ці технології забезпечують новий рівень інтеграції виробництва, управління та споживання.

На макрорівні Індустрія 4.0 створює передумови для формування цифрових екосистем — мереж взаємодії підприємств, наукових установ, стартапів і держави, які спільно створюють інноваційні рішення. Саме через такі екосистеми реалізується концепція сталого розвитку у практичному вимірі: за рахунок партнерств, спільного використання ресурсів, обміну даними та колективного інтелекту. В українських реаліях цифрові екосистеми можуть стати базою для післявоєнної відбудови, оскільки поєднують економічну ефективність із соціальною стійкістю.

Як зазначено у дослідженні ISWA [6], цифровізація істотно трансформує систему управління відходами, адже застосування сенсорних мереж і технологій автоматизованого

моніторингу забезпечує скорочення втрат ресурсів та підвищення екологічної ефективності процесів.

Як зазначено у дослідженні ISWA [6], цифровізація радикально змінює логіку управління відходами, адже сенсорні мережі та автоматизований моніторинг дозволяють зменшити втрати ресурсів та підвищити екологічну результативність. Цей досвід, масштабований на інші сектори промисловості, дає змогу формувати основу для циркулярної економіки.

Для демонстрації конкретних результатів цифрової трансформації та реалізації Цілей сталого розвитку на практиці наведено приклади промислових підприємств, що активно інтегрують принципи Індустрії 4.0 у виробничі процеси. Це надає можливість оцінити, як цифрові технології та інноваційні моделі управління сприяють одночасному підвищенню ефективності виробництва, зменшенню витрат ресурсів та екологічному навантаженню, а також розвитку соціальної відповідальності.

Таблиця 1

Приклади впровадження Індустрії 4.0 на промислових підприємствах України та Європи

Підприємство/ Країна	Галузь	Технології Індустрії 4.0	Основний ефект для сталого розвитку	Відповідні ЦСР
Українські компанії				
Група Метінвест (Україна)	Металургія	Smart Factory, AI, комп'ютерний зір, Big Data, роботизація виробництва	Скорочення викидів CO ₂ , підвищення якості та продуктивності, моніторинг енерговитрат	ЦСР №9, №13
ДТЕК (Україна)	Енергетика	«Розумні» мережі, цифрове управління енергоспоживанням	Зниження викидів CO ₂ , підвищення енергоефективності	№7
МХП (Україна)	Агропромисловість	Big Data, автоматизація виробництва	Оптимізація ресурсів, підвищення продуктивності	№9
ПрАТ «ФЕД» (Україна)	Виробництво	Автоматизація виробництва, інтеграція систем управління	Підвищення ефективності виробництва	№9, №12
Львівський завод «Мікроприлад»	Машинобудування	Автоматизовані системи управління, цифровий контроль	Підвищення точності, зменшення екологічного навантаження	№12
Європейські компанії				
Siemens AG (Німеччина)	Машинобудування	Цифрові двійники (Digital Twin), IoT, Big Data	Зниження споживання енергії на 30%, гнучке виробництво	№9, №12
Volkswagen Group (Німеччина)	Машинобудування	Роботизація, 3D-друк, прогнозна аналітика, AI, зелена енергетика	Скорочення викидів CO ₂ , перехід на альтернативні джерела	№7, №12
ArcelorMittal, (Люксембург)	Металургія	AI, Smart Factory (цифрове управління ресурсами), IoT	Зменшення викидів парникових газів, економіка замкненого циклу	№13
L'Oréal, (Франція)	Хімічна промисловість	IoT, автоматизація, біотехнології	Безвідходне виробництво, скорочення водоспоживання	№6, №12

Джерело: складено автором на основі [8] – [16]

У таблиці 1 наведено практичні кейси українських та європейських промислових підприємств, які впровадили ключові технології Індустрії 4.0 та досягли певних результатів у контексті ЦСР.

Група Метінвест (Україна, металургія) є одним із найбільших виробників сталі та залізорудної сировини в Україні. Після впровадження технологій Індустрії 4.0, зокрема штучного інтелекту для прогнозування дефектів сталі та комп'ютерного зору для автоматичного контролю якості прокату, компанія досягла значних успіхів. Рівень браку знизився з 5-7 % до 1-2 %, що забезпечило економію сировини на 15-20 %. Ці зміни сприяють досягненню Цілі сталого розвитку №12, спрямованої на відповідальне виробництво.

ДТЕК (Україна, енергетика), як найбільший приватний енергетичний холдинг України, спеціалізується на виробництві та розподілі електроенергії. Впровадження «розумних» мереж (Smart Grid) та цифрових двійників енергоблоків дозволило компанії суттєво покращити ефективність. Втрати електроенергії в мережах зменшилися з 10-12 % до 6-7 %, а викиди CO₂

скоротилися на 25 %. Ці інновації відповідають ЦСР №7, що передбачає забезпечення доступу до чистої енергії.

МХП (Україна, агропромисловість) є лідером українського м'ясного виробництва, спеціалізуючись на вирощуванні курятини та свинини. Завдяки використанню великих даних для аналізу годівлі тварин та автоматизованих систем клімат-контролю на фермах, компанія оптимізувала витрати кормів. Показник витрати кормів на 1 кг приросту зменшився з 1,8 кг до 1,5 кг, що підвищило ефективність на 15 %. Ці зміни відповідають ЦСР №9, яка сприяє інноваціям у промисловості.

ПрАТ «ФЕД» (Україна, фармацевтика) займається виробництвом лікарських засобів, включаючи таблетки та ін'єкції. Впровадження MES-систем для моніторингу виробництва та роботизованих ліній фасування дозволило компанії суттєво знизити рівень браку. Якщо раніше через людський фактор брак становив 3%, то після автоматизації цей показник вдалося зменшити до 0,5%. Обсяги виробництва зросли на 30%, що відповідає ЦСР №9 та №12.

Львівський завод «Мікроприлад» (Україна, машинобудування). Завод спеціалізується на виробництві електронних компонентів, таких як датчики та мікросхеми. Впровадження автоматизованого контролю якості на основі штучного інтелекту та цифрових двійників для тестування продукції дозволило знизити рівень відбраковування. Раніше через неточність відходи становили 10%, але після впровадження нових технологій цей показник знизився до 2%. Ці зміни сприяють досягненню ЦСР №12.

Siemens AG (Німеччина, машинобудування) є одним із світових лідерів у виробництві промислового обладнання та енергетичних рішень. Використання цифрових двійників заводів та IoT для предиктивного обслуговування дозволило компанії підвищити енергоефективність виробництва на 30%. Ці інновації відповідають ЦСР №9 та №12.

Volkswagen Group (Німеччина, машинобудування) один із найбільших автовиробників світу, впровадив 3D-друк деталей та роботизовані збірні лінії. Ці технології дозволили зменшити відходи та скоротити викиди CO₂ на 40 % з 2015 року. Ці зміни сприяють досягненню ЦСР №7 та №12.

ArcelorMittal (Люксембург, металургія) є найбільшим у світі виробником сталі. Використання штучного інтелекту для управління виплавкою сталі та цифрових двійників доменних печей дозволило знизити викиди парникових газів на 20% за останні 5 років. Ці зміни сприяють досягненню ЦСР №13.

L'Oréal (Франція, хімічна промисловість) світовий лідер у виробництві косметики, впровадив IoT в процесі моніторингу виробництва та біотехнології для створення екологічних інгредієнтів. Ці інновації дозволили зменшити водоспоживання на 50 % з 2005 року. Ці зміни відповідають ЦСР №6 та №12.

Наведені приклади демонструють, як європейські та українські промислові підприємства впроваджують технології Індустрії 4.0 для досягнення цілей сталого розвитку. Вони активно використовують цифрові технології для оптимізації виробничих процесів, зниження витрат ресурсів, підвищення якості продукції та зменшення екологічного впливу. Це сприяє не лише економічному зростанню підприємств, але й сталому розвитку економіки як в Україні, так в усьому світі.

Водночас цей процес має бути підкріплений інституційною підтримкою держави, розвитком цифрової інфраструктури, доступом до «зелених» інвестицій і гармонізацією з європейськими ESG-стандартами. У контексті повоєнної реконструкції економіки поєднання Індустрії 4.0 та ЦСР може стати основою для «розумного відновлення» (smart recovery), де цифровізація слугуватиме каталізатором інноваційного розвитку, а екологічна відповідальність — запобіжником повторення старих індустріальних моделей.

Інтеграція ESG-принципів (Environmental, Social, Governance) із технологіями Індустрії 4.0 посилює ефект сталого розвитку. ESG-орієнтація сприяє підвищенню довіри інвесторів, формуванню прозорої звітності, поліпшенню соціальної відповідальності бізнесу. В Україні з'являються перші приклади публічної нефінансової звітності (зокрема, у компаніях ДТЕК, Нафтогаз, Метінвест), що поєднують цифрові метрики ефективності з показниками сталості.

Важливим напрямом розвитку є створення цифрових екосистем, які забезпечують взаємодію промисловості, науки, держави та IT-бізнесу. Центри, як-от Industry4Ukraine, Дія.City, EIT Manufacturing Hub Ukraine, виступають платформами співпраці для поширення інновацій та підтримки ЦСР через цифрову економіку.

Отже, взаємодія Індустрії 4.0 та ЦСР в українських умовах набуває практичного змісту: цифровізація виробництва і впровадження ESG-принципів стають не лише інструментами модернізації, а й чинниками підвищення глобальної конкурентоспроможності економіки.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Індустрія 4.0 та Цілі сталого розвитку мають потужний синергетичний потенціал, який визначає нову модель розвитку економіки – цифрової, інноваційної та екологічно орієнтованої. Впровадження цифрових технологій забезпечує більш ефективне використання ресурсів, скорочення екологічних ризиків і підвищення соціальної інклюзивності.

Синергія Індустрії 4.0 і сталого розвитку формує нову економічну логіку, у якій цифрові технології стають не метою, а засобом досягнення екологічного та соціального балансу. Цифрова трансформація є не лише технологічним, а й ціннісним процесом, що змінює філософію економічного розвитку, орієнтованого на гармонізацію людини, природи та технологій.

Для України інтеграція принципів Індустрії 4.0 у стратегію сталого розвитку відкриває можливості модернізації промисловості, формування нових компетенцій та залучення інвестицій у «зелені» технології. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення моделей цифрової оцінки сталості підприємств, створення систем моніторингу ESG-показників і визначення механізмів підтримки «зелених» інновацій у контексті цифрової економіки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Український інститут майбутнього (UIF). Цифрова трансформація та зелена модернізація – аналітична доповідь. <https://uifuture.org/wp-content/uploads/2020/10/digital-green-ukraine-report.pdf>
2. Мельник, І., Шумило, А. Оптимізація енергоспоживання на промислових підприємствах у контексті Індустрії 4.0. *Промислова економіка України*. 2022.
3. Гриценко К.Г., Сидоренко А.А., Гриценко А.К. Моделювання структурними рівняннями впливу процесу цифровізації на розвиток ринку освітніх послуг. *Вісник СумДУ. Серія «Економіка»*, № 4' 2022. URL : <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b7440e03-60e7-424c-8358-73029b5bdd96/content>
4. Бойко, О. Цифрові технології як каталізатор зеленої трансформації промисловості. *Економіка та управління*. 2023.
5. Міжнародне енергетичне агентство (MEA). URL : <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>
6. Міжнародна асоціація з твердих відходів (ISWA). Доповідь: Як Індустрія 4.0 трансформує сектор управління відходами. ISWA. 2019. <https://www.iswa.org/our-work>
7. Міжнародне енергетичне агентство (MEA). Доповідь - Роль центрів обробки даних та мереж передачі даних у використанні енергії. MEA. 2021. URL : <https://www.iea.org/reports/the-role-of-data-centres-and-data-transmission-networks-in-energy-use>
8. Європейська комісія. Цифровий та зелений перехід для промисловості: політика та ресурси. *Європейська комісія*. 2021. URL : https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/industrial-strategy_en
9. Siemens AG. Енергетика – Розумна інфраструктура; Цифрові галузі: рішення, тематичні дослідження та DEMS/VPP. Siemens. URL : <https://new.siemens.com/global/en/products/energy.html>
10. ArcelorMittal. Сталий розвиток та цифровізація: звіти та тематичні дослідження. ArcelorMittal. URL : <https://corporate.arcelormittal.com/sustainability/our-approach/digital>
11. Volkswagen AG. Сталий розвиток – звітність та публікації. Volkswagen AG. URL : <https://www.volkswagen-ag.com/en/sustainability/reporting-and-publications.html>
12. ДТЕК. Цифровізація та розумні мережі – корпоративні проекти та публікації. ДТЕК. URL : <https://dtek.com/our-business>
13. Метінвест Холдинг. Сталий розвиток та цифровізація – звіти про сталий розвиток. Метінвест. URL : <https://metinvestholding.com/en/sustainability/reports>
14. Kernel. Сталий розвиток – звіти та ініціативи. Kernel. URL : <https://www.kernel.ua/en/sustainability/>
15. Industry4Ukraine (APPAU). Industry4Ukraine – платформа та ресурси для Індустрії 4.0 в Україні. APPAU / Industry4Ukraine. Доступно за посиланням: <https://industry4ukraine>

16. АППАУ (Асоціація «ІТ Україна» / Industry4Ukraine). Індустрія 4.0 в Україні: досвід впровадження та стандартизація [Industry4UA – АППАУ]. Київ: АППАУ. 2020. URL : https://itukraine.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/Industry4UA_APPAU.pdf
17. Гук П.В., Скляренко О.В. Економічна доцільність модернізації підприємств з використанням автоматизованих систем. Економіка і управління. 2022. №2. С 103-112.
18. Міністерство цифрової трансформації України. Дорожня карта розвитку Індустрії 4.0 в Україні. Київ: Міністерство цифрової трансформації. 2021. URL : https://diia.gov.ua/uploads/documents/industry4_0_roadmap_ukraine.pdf

REFERENCES:

1. Ukrainian Institute for the Future (UIF). Digital transformation and green modernization – analytical report. <https://uifuture.org/wp-content/uploads/2020/10/digital-green-ukraine-report.pdf>
2. Melnyk, I., Shumylo, A. Optymizatsiya enerhospozhyvannia na promyslovyykh pidpriemstvakh u konteksti Industrii 4.0. Promyslova ekonomika Ukrainy. 2022. (in Ukraine)
3. Hrytsenko, K.H., Sydorenko, A.A., Hrytsenko, A.K. Modeliuvannya strukturnymy riveniamy vplyvu protsesu tsyfryzatsii na rozvytok rynku osvithnikh posluh. Visnyk SumDU. Seriya "Ekonomika", №4, 2022. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b7440e03-60e7-424c-8358-73029b5bdd96/content> (in Ukraine)
4. Boiko, O. Tsyfrovi tekhnolohii yak katalyzator zelenoi transformatsii promyslovosti. Ekonomika ta upravlinnia. 2023. (in Ukraine)
5. International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>
6. International Solid Waste Association (ISWA). Report: How Industry 4.0 is transforming the waste management sector. ISWA. 2019. <https://www.iswa.org/our-work>
7. International Energy Agency (IEA). Report – The role of data centres and data transmission networks in energy use. IEA. 2021. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-data-centres-and-data-transmission-networks-in-energy-use>
8. European Commission. Digital and green transition for industry: policy and resources. European Commission. 2021. https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/industrial-strategy_en
9. Siemens AG. Energy – Smart Infrastructure; Digital Industries: solutions, case studies and DEMS/VPP. Siemens. <https://new.siemens.com/global/en/products/energy.htm>
10. ArcelorMittal. Sustainability & Digitalization: reports and case studies. ArcelorMittal. <https://corporate.arcelormittal.com/sustainability/our-approach/digital>
11. Volkswagen AG. Sustainability – reporting and publications. Volkswagen AG. <https://www.volkswagen-ag.com/en/sustainability/reporting-and-publications.html>
12. DTEK. Digitalization and smart grids – corporate projects and publications. DTEK. <https://dtek.com/our-business> (in Ukraine)
13. Metinvest Holding. Sustainability and digitalization – sustainability reports. Metinvest. <https://metinvestholding.com/en/sustainability/reports> (in Ukraine)
14. Kernel. Sustainability – reports and initiatives. Kernel. <https://www.kernel.ua/en/sustainability/> (in Ukraine)
15. Industry4Ukraine (APPAU). Industry4Ukraine – platform and resources for Industry 4.0 in Ukraine. APPAU / Industry4Ukraine. <https://industry4ukraine.org/> (in Ukraine)
16. APPAU (Association "IT Ukraine" / Industry4Ukraine). Industriia 4.0 v Ukraini: dosvid vprovadzhennia ta standartyzatsiia [Industry4UA – APPAU]. Kyiv: APPAU. 2020. PDF: https://itukraine.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/Industry4UA_APPAU.pdf (in Ukraine)
17. . Huk, P. V., Skliarenko, O. V. (2022). Economic feasibility of modernizing enterprises using automated systems. Economics and Management. European University Publisher. Vol. 2, pp.103-112.
18. Ministry of Digital Transformation of Ukraine. (2021). Roadmap for Industry 4.0 development in Ukraine. Kyiv: Ministry of Digital Transformation. PDF: https://diia.gov.ua/uploads/documents/industry4_0_roadmap_ukraine.pdf (in Ukraine)

INDUSTRY 4.0 AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS: SYNERGY BETWEEN INNOVATION AND ENVIRONMENTAL RESPONSIBILITY

VILIANSKYI Andrii

Private Higher Educational Establishment "European University"

The article explores the complex relationship between the digital transformation processes underlying the emergence of Industry 4.0 and the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs), with a particular focus on the industrial sector in Ukraine. It emphasizes that the integration of advanced digital technologies – artificial intelligence, the Internet of Things, big data analytics, blockchain, cyber-physical systems, and smart manufacturing – can significantly improve resource efficiency, reduce environmental pressure, and enhance the socio-economic resilience and competitiveness of industrial enterprises. Special attention is paid to how digital solutions support the transition to renewable energy, energy-efficient production, and circular economy models that minimize waste and extend product life cycles.

Based on a synthesis of contemporary scientific approaches, international reports, and practical case studies from Ukrainian and European companies, the article identifies key directions for aligning innovation with sustainable development goals: the introduction of green production and environmentally oriented management systems, the digitalization of waste and energy management, and the formation of ESG-

oriented business strategies. The paper highlights the role of digital ecosystems and industrial platforms in fostering collaboration between business, government, and research institutions, particularly in the context of post-war reconstruction and “smart recovery” of Ukraine’s economy.

The findings demonstrate that Industry 4.0 should be viewed not only as a technological paradigm, but also as a strategic framework for embedding sustainability into industrial development. The article concludes that combining Industry 4.0 tools with SDG and ESG principles creates a new economic logic in which digital transformation becomes a driver of ecological responsibility, social inclusiveness, and long-term industrial growth.

Keywords: Industry 4.0, sustainable development, digitalization, industrial enterprises, ecological transformation, circular economy, energy transition.