

DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-53-79>

УДК 502.1:336.2:658

**Дуляба Наталія Іванівна**

кандидат економічних наук,

доцент кафедри менеджменту і міжнародного підприємництва,

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4377-874X>**Nataliia Duliaba**

Lviv Polytechnic National University

## РОЛЬ ЦИФРОВІЗАЦІЇ У РОЗВИТКУ 4D-ІНДУСТРІЇ

### THE ROLE OF DIGITALIZATION IN THE DEVELOPMENT OF THE 4D INDUSTRY

**Анотація.** Стаття присвячена дослідженню впливу цифровізації на розвиток 4D-індустрії – концепції, що поєднує цифровізацію, децентралізацію, дематеріалізацію та демократизацію виробництва. Розглянуто ключові напрями трансформації виробничого середовища під впливом цифрових технологій: автоматизація процесів, впровадження кіберфізичних систем, аналітика великих даних, розвиток інтернету речей, поява нових бізнес-моделей і зміна підходів до управління. Висвітлено соціальний вимір цифровізації – трансформація ринку праці, зміна управлінських підходів, формування нових цифрових компетенцій. Окреслено основні виклики цифрового переходу та підкреслено важливість державної підтримки для його ефективної реалізації. Цифровізація розглядається як стратегічний інструмент формування інноваційної та конкурентоспроможної промисловості майбутнього.

**Ключові слова:** цифровізація, 4D-індустрія, кіберфізичні системи, індустріальна трансформація, економіка знань.

**Summary.** The global economy is undergoing a profound transformation driven by digital technologies, which significantly alter traditional production models, management practices, and business interactions. One of the most innovative outcomes of this transformation is the emergence of the 4D Industry concept – a model that integrates four foundational principles: digitalization, decentralization, dematerialization, and democratization of industrial processes. Within this framework, digitalization serves not merely as a technical enabler but as a cornerstone for building adaptive, intelligent, and sustainable industrial systems. This article aims to explore the multifaceted impact of digitalization on 4D Industry by analyzing its influence across technological, economic, and social dimensions. Key areas of focus include automation of production in real time, implementation of cyber-physical systems, integration of the Internet of Things (IoT/IIoT), use of digital twins, and application of Big Data analytics for informed decision-making. These technologies enhance production flexibility, reduce costs, optimize resource allocation, and enable the personalization of products and services. In addition, digitalization fosters the development of new business models based on service-oriented approaches (servitization), cloud-based management, and platform ecosystems. It also leads to the transformation of corporate culture by promoting agility, openness to innovation, horizontal decision-making structures, and continuous professional development. As a result, there is an increasing demand for professionals with advanced digital competencies – including data analysts, AI specialists, digital engineers, and cybersecurity experts – reshaping the labor market and organizational structures. However, the process of digital transformation is accompanied by a number of significant challenges. Among the most critical are the high cost of technology implementation, outdated infrastructure, cybersecurity vulnerabilities, and the digital skills gap in the workforce. These barriers often slow down the pace of innovation, particularly for small and medium-sized enterprises. The article emphasizes the crucial role of government support in addressing these challenges through the adoption of national digital strategies, development of innovation hubs and tech clusters, provision of tax incentives, and the launch of large-scale educational and upskilling programs. The findings of the study confirm that digitalization plays a pivotal role in shaping the future of industrial development. It provides the foundation for building a knowledge-based, human-centric economy characterized by sustainability, competitiveness, and resilience. The 4D Industry, empowered by digital tools, represents not only a technological revolution but also a comprehensive socio-economic shift that redefines the principles of value creation, employment, and global competitiveness.

**Keywords:** digitalization, 4d Industry, cyber-physical systems, industrial transformation, knowledge-based economy.

**Постановка проблеми.** Сучасна світова економіка переживає глибоку трансформацію під впливом цифрових технологій, що змінюють традиційні підходи до виробництва, управління, логістики та взаємодії між учасниками ринку. Одним із найінноваційніших напрямів цієї трансформації є розвиток 4D-індустрії – концепції, що поєднує цифровізацію, децентралізацію, дематеріалізацію та демократизацію промисловості. Цифровізація у цьому контексті виступає не лише технічним інструментом, а й основоположною умовою переходу до нової моделі промислового виробництва, заснованого на даних, автоматизації, кіберфізичних системах та гнучких виробничих мережах.

Актуальність дослідження ролі цифровізації в розвитку 4D-індустрії обумовлена необхідністю адаптації економіки до нових умов глобальної конкуренції, потребою забезпечення сталого розвитку та технологічної безпеки держави. Сьогодні цифрові інструменти не тільки прискорюють виробничі процеси, а й сприяють створенню нових продуктів, бізнес-моделей, форм зайнятості та взаємодії між людьми, що суттєво впливає на трансформацію суспільних відносин загалом.

Цифровізація формує основу «економіки знань», де головними ресурсами стають інформація, інновації та людський капітал. У рамках 4D-індустрії вона сприяє формуванню більш адаптивних, ефективних і конкурентоспроможних промислових систем, які мають потенціал забезпечити економічне зростання, екологічну відповідальність і соціальний прогрес. У цьому контексті вивчення ролі цифровізації набуває особливого значення для наукового осмислення сучасних тенденцій технологічного розвитку та вироблення стратегій трансформації промисловості відповідно до викликів часу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розвиток цифровізації та 4D-Індустрії є об'єктом численних досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних теоретиків та практиків. Колектив українських вчених Т.І. Олешко, Н.В. Касьянова, С.Ф. Смерічевський та ін., характеризуючи цифровізацію як «один ключових драйверів економічного зростання», відображають, що під впливом цифровізації трансформуються «вся структура економіки і міжгалузевих взаємодій» [1]. При цьому, автори зазначають, що «Найбільший ефект від цифровізації може бути досягнутий в наукомістких секторах сфери послуг і високотехнологічних галузях промисловості, ефективність яких може зростати випереджаючими темпами в порівнянні з іншими секторами економіки» [1].

У своєму звіті [2] Boston Consulting Group окреслює 9 основних технологій, що визначають розвиток Індустрії 4.0, серед яких ключове місце належить цифровим платформам, хмарним рішенням, автономним роботам, Інтернету речей

(IoT). Саме цифровізація розглядається як фундамент ефективності та конкурентоспроможності сучасного виробництва. Ці технології формують підґрунтя для 4D-переходу – тобто до цифрової, дематеріалізованої, демократизованої та децентралізованої моделі.

У науковій статті Дж. Хертера та Дж. Овчарова розглядається важливість цифрових візуалізацій та інтегрованих ІТ-рішень у міжгалузевій співпраці. Цифровізація тут постає не лише як технологічна зміна, а як новий підхід до управління виробничими процесами та координації між підрозділами. Цей підхід є основою побудови кіберфізичних систем, що є ключовим елементом 4D-індустрії [3].

Стріжкова А. в монографії «Цифрова трансформація бізнесу» [4] безпосередньо пов'язує виникнення 4D-Індустрії з цифровізацією, зазначаючи що «концепція промислового розвитку Індустрія 4.0 (Industry 4.0), яка стосується цифровізації виробничих процесів в промисловості, енергетиці, у сфері транспорту, інфраструктури та логістики і передбачає технологічну еволюцію від вбудованих систем до кіберфізичних систем».

Не зважаючи на існування та провадження численних досліджень цифрових трансформацій усіх суспільно-економічних процесів та зміни технологічного укладу, комплексне узагальнення ролі цифровізації на розвиток 4D-Індустрії наразі відсутнє.

**Метою статті** є дослідити вплив цифровізації на трансформацію виробничих процесів та визначити її ключову роль у формуванні інноваційної моделі 4D-індустрії. Особлива увага приділяється аналізу цифрових технологій як рушійної сили економічного та суспільного розвитку.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Цифровізація як глобальний процес докорінно змінює економічний та соціальний ландшафт сучасного світу. Вона не є просто впровадженням нових технологій – це фундаментальна трансформація способу функціонування виробництва, обміну інформацією, прийняття рішень і взаємодії в межах підприємств і між ними. В умовах Четвертої промислової революції, саме цифровізація стала рушієм формування нової моделі промислового розвитку, яку прийнято називати 4D-індустрією.

4D-індустрія базується на чотирьох ключових принципах: цифровізації, децентралізації, дематеріалізації та демократизації виробництва. Вона передбачає використання інтелектуальних технологій, що дають змогу поєднати фізичні та цифрові компоненти в єдине інтегроване виробниче середовище. Цифровізація в цьому процесі відіграє провідну роль, оскільки забезпечує технічну основу для автоматизації процесів, оперативного аналізу даних, візуалізації виробничих систем, а також управління в реальному часі.

Основні напрями впливу цифровізації на розвиток 4D-Індустрії узагальнено та охарактеризовано в таблиці 1.

Ці напрями формують нову індустріальну парадигму, в якій цифровізація – це не просто технологія, а основа для конкурентоспроможного та інноваційного розвитку виробництва.

Одним з ключових елементів цифровізації є використання великих даних (Big Data) та штучного інтелекту. Завдяки їм підприємства можуть не лише відслідковувати всі операції на кожному етапі виробництва, а й передбачати можливі збої, оптимізувати логістичні ланцюги, персоналізувати продукти під вимоги споживачів. Такі зміни забезпечують підвищення продуктивності, скорочення витрат і підвищення якості продукції. Водночас впровадження інтернету речей (IoT) та промислового інтернету речей (IIoT) дозволяє створити мережу взаємодіючих пристроїв, які обмінюються інформацією без участі людини, що забезпечує гнучкість і адаптивність усього виробничого циклу.

Не менш важливими компонентами цифровізації є цифрові двійники – віртуальні копії фізичних об'єктів, які дозволяють в режимі реального часу тестувати різні сценарії роботи обладнання та прогнозувати його зношення. Це дозволяє зменшити витрати на обслуговування та знизити кількість аварійних ситуацій. Автономні роботи, віртуальна та доповнена реальність, хмарні обчислення – всі ці технології є складовими 4D-індустрії, які безпосередньо пов'язані з процесом цифровізації.

Цифровізація суттєво трансформує не лише технологічні та економічні процеси у промисловості, а й глибоко впливає на соціальні аспекти її розвитку. Впровадження цифрових технологій

сприяє формуванню нової корпоративної культури, яка базується на принципах гнучкості, відкритості до інновацій, швидкої адаптації до змін і безперервного розвитку людського капіталу. Підприємства поступово відходять від ієрархічної моделі управління, надаючи перевагу командній роботі, горизонтальним зв'язкам та децентралізованому прийняттю рішень, що дозволяє підвищити швидкість реагування на виклики ринку.

Одним із ключових соціальних наслідків цифровізації є поява нових професій, які не існували ще кілька років тому. Зростає попит на фахівців із кібербезпеки, аналітиків даних, розробників програмного забезпечення для виробничих систем, інженерів цифрових двійників, операторів розумних пристроїв, фахівців з управління цифровими платформами тощо. Це вимагає від працівників не лише базових технічних навичок, а й глибокого розуміння цифрових процесів, критичного мислення, здатності до самостійного навчання та міждисциплінарної взаємодії.

Керівники підприємств, у свою чергу, мають адаптувати свої управлінські стилі до умов високої динаміки, невизначеності та швидкої зміни технологічного середовища. Зростає потреба в лідерах, які володіють цифровими компетенціями, вміють працювати з великими обсягами даних, приймати обґрунтовані рішення в режимі реального часу та забезпечувати командну згуртованість у гібридному або віддаленому форматі роботи. Виникає потреба у запровадженні посади директора з цифрових технологій – Chief Digital Officer (CDO). «Аналітика Gartner, провідної світової дослідницької та консалтингової фірми у сфері інформаційних технологій, свідчить, що поява CDO вже стала трендом: не зважаючи на те,

**Таблиця 1 – Основні напрями впливу цифровізації на розвиток 4D-Індустрії**

№	Напрямок впливу	Характеристика
1	Автоматизація виробництва	Управління процесами в реальному часі, зменшення потреби в ручній праці, підвищення точності та продуктивності
2	Інтеграція кіберфізичних систем	Створення цифрових двійників для прогнозування, тестування сценаріїв і оптимізації ресурсів
3	Підвищення гнучкості виробництва	Швидка адаптація виробничих процесів під індивідуальні потреби клієнтів
4	Обробка великих обсягів даних	Аналітика для ухвалення управлінських рішень, виявлення тенденцій і реагування на зміни ринку
5	Взаємодія пристроїв через IoT/IIoT	Безперервна комунікація між машинами, сенсорами та людьми для контролю виробництва
6	Зменшення виробничих витрат	Оптимізація ресурсів, енергозбереження та мінімізація відходів.
7	Поява нових бізнес-моделей	Перехід від продажу товарів до надання послуг, використання хмарних платформ, сервіталізація
8	Посилення кібербезпеки	Розробка нових рішень для захисту цифрових інфраструктур
9	Розвиток цифрових компетенцій	Формування попиту на спеціалістів з цифровими навичками: програмування, аналіз даних тощо
10	Стійкість і екологічність виробництва	Контроль споживання енергії, викидів, логістики для розвитку екологічно безпечного виробництва

Джерело: сформовано автором

що тільки 6% фірм мають CDO, вони з'являються дедалі швидше й швидше» [5]. Також важливими стають цифрові експерти, особливо «експерти з питань штучного інтелекту – фахівці зі спеціальними знаннями в області штучного інтелекту і здатністю навчати того, що вони знають; експерти Agile, які мають спеціальні знання в області гнучких методів роботи. Експерти Agile частіше за експертів з питань штучного інтелекту, працюють у сфері інформаційних технологій» [4].

Цифровізація також змінює підхід до навчання і професійного розвитку: дедалі більше компаній інвестують у створення внутрішніх цифрових академій, онлайн-курсів, платформ безперервної освіти для працівників. У центрі уваги – формування культури самонавчання, відкритості до змін і гнучкого мислення.

Таким чином, цифрова трансформація виробництва – це не лише про впровадження нових технологій, а й про трансформацію мислення, поведінки та соціальної взаємодії на підприємстві, що відкриває нові горизонти для особистісного й професійного зростання кожного учасника виробничого процесу.

Крім того, цифровізація в межах 4D-індустрії має безпосередній вплив на конкурентоспроможність підприємств на міжнародному ринку. Ті компанії, які першими адаптували цифрові технології, мають значну перевагу в ефективності, якості продукту, швидкості обслуговування клієнтів і масштабованості бізнес-моделей.

Цифрова трансформація, попри свій потужний позитивний вплив на розвиток економіки та промисловості, супроводжується низкою серйозних викликів, які вимагають комплексного та стратегічного підходу до їх подолання.

Одним із ключових бар'єрів є висока вартість впровадження цифрових технологій. Багатьом підприємствам, особливо малому та середньому бізнесу, не вистачає фінансових ресурсів для оновлення обладнання, закупівлі ліцензійного програмного забезпечення, створення безпечної IT-інфраструктури та інтеграції сучасних цифрових рішень у всі етапи виробництва. Часто такі компанії змушені обмежуватись лише фрагментарною цифровізацією, що не забезпечує повноцінного ефекту.

Другим серйозним викликом є необхідність модернізації інфраструктури. Мова йде не лише про технічну базу підприємств, а й про забезпечення стабільного інтернет-з'єднання, високопродуктивних дата-центрів, смарт-систем енергозабезпечення, автоматизованих логістичних каналів. У сільських і віддалених регіонах України така інфраструктура часто відсутня або є застарілою, що значно ускладнює процес цифровізації для місцевого бізнесу.

Кібербезпека – ще один критичний аспект. Зі збільшенням обсягу обробки та передачі даних,

підключенням все більшої кількості пристроїв до мережі (у тому числі в межах концепцій інтернету речей та промислового інтернету речей), зростає і вразливість систем до зовнішніх атак. Хакерські атаки, злам баз даних, викрадення конфіденційної інформації можуть мати катастрофічні наслідки для підприємств. Це вимагає постійного вдосконалення систем захисту, впровадження протоколів кібергігієни, навчання працівників основам безпечної цифрової поведінки.

Крім того, кадровий виклик набуває особливого значення. Багато працівників не мають достатнього рівня цифрових компетенцій для ефективної роботи з новими технологіями. Застарілі знання, брак практичного досвіду, відсутність мотивації до навчання уповільнюють процес трансформації. Це вимагає масштабної системи перенавчання (reskilling) та підвищення кваліфікації (upskilling) кадрів у всіх секторах економіки.

З огляду на масштабність і важливість цифрової трансформації, роль держави у цьому процесі є надзвичайно важливою. По-перше, слід розробляти та реалізовувати національні стратегії цифровізації, які б охоплювали всі ключові галузі та територіальні громади. По-друге, ефективним інструментом стимулювання цифрового переходу є податкові пільги та преференції для підприємств, що інвестують у цифрові технології.

Також важливою є підтримка через створення інноваційних хабів, кластерів, технопарків, які б об'єднували бізнес, науку та освіту в єдиний простір обміну знаннями та технологіями. Особливу роль у розвитку цифрових навичок відіграють державні та регіональні навчальні програми, цифрові академії, партнерства з університетами, що дозволяє готувати нове покоління фахівців, здатних ефективно працювати в умовах індустрії майбутнього.

Загалом цифровізація – це не лише технологічна зміна, а й стратегічний інструмент побудови нової економічної моделі, яка базується на інноваціях, знаннях і сталому розвитку. Її роль у розвитку 4D-індустрії є визначальною, оскільки саме вона забезпечує інфраструктуру для інтеграції фізичного та цифрового світів, створюючи умови для формування «розумного» виробництва майбутнього.

**Висновки.** Сучасна трансформація промисловості в умовах Четвертої промислової революції вимагає переосмислення традиційних підходів до виробництва, управління й взаємодії в економічному середовищі. Цифровізація постає ключовим чинником цієї трансформації, виступаючи не лише як набір технологічних рішень, а як системний інструмент формування нової моделі розвитку – 4D-індустрії. Вона забезпечує основу для створення гнучких, саморегульованих, децентралізованих та екологічно орієнтованих виробничих систем.

Дослідження підтверджує, що цифрові технології – великі дані, інтернет речей, штучний інтелект, цифрові двійники, автономні системи та хмарні сервіси – змінюють логіку функціонування промисловості, підвищуючи її продуктивність, адаптивність і якість. Особливу роль відіграє цифровізація в персоналізації виробництва, оптимізації ресурсів та управлінні в реальному часі. Це відкриває нові можливості для розвитку інноваційних бізнес-моделей, сприяє появі нових професій, стимулює ріст цифрових компетенцій та створює підґрунтя для формування економіки знань.

Водночас цифрова трансформація супроводжується значними викликами: високими фінансовими витратами, необхідністю модернізації інфраструктури, кіберризиками, а також потребою у глибокому професійному оновленні кадрів.

Це зумовлює потребу в активній державній політиці підтримки цифровізації, що має включати податкові стимули, інвестиції в інновації, розвиток цифрової освіти та створення партнерських екосистем між бізнесом, наукою і владою.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що цифровізація є не лише рушієм технологічного оновлення, а й ключовим чинником стійкого економічного зростання та соціального прогресу в умовах 4D-індустрії. Її роль у забезпеченні глобальної конкурентоспроможності, формуванні нових форм зайнятості та підвищенні якості життя є визначальною. Подальші наукові розвідки мають бути зосереджені на формуванні механізмів ефективного впровадження цифрових рішень в різних секторах економіки з урахуванням специфіки національного контексту та потреб сталого розвитку.

### Список використаних джерел:

1. Цифрова економіка: підручник / Т. І. Олешко, Н. В. Касьянова, С. Ф. Смерічевський та ін. Київ : НАУ, 2022. 200 с.
2. Rübmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. 2015.
3. Herter J., Ovtcharova J. A Model based Visualization Framework for Cross Discipline Collaboration in Industry 4.0 Scenarios. *Procedia CIRP*, 2016. Vol. 57. P. 398–403.
4. Цифрова трансформація бізнесу: зміна стратегій і моделей розвитку. URL: [https://ndipzir.org.ua/wpcontent/uploads/2020/02/Strizhkova19Mono/Strizhkova19Mono%20\(4\).pdf](https://ndipzir.org.ua/wpcontent/uploads/2020/02/Strizhkova19Mono/Strizhkova19Mono%20(4).pdf)
5. Budiakova O., Tsarenok D. Innovative solutions for enterprise personnel in the digital economy. *Innovative solutions in modern science*. 2019. № 6 (33). P. 5–18.

### References:

1. Oleshko T. I., Kas'yanova N. V., Smerichevskyi S. F. et al. (2022) *Tsifrova ekonomika [Digital economy]*. Kyiv: NAU, 200 p. (in Ukrainian)
2. Rübmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., & Harnisch M. (2015) *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*.
3. Herter J., Ovtcharova J. (2016) A Model based Visualization Framework for Cross Discipline Collaboration in Industry 4.0 Scenarios [Model'uvannya vizualizatsiyanoi platformy dlya mizhdyspetsial'noyi spivpratsi v stsenariyakh 4.0 industriyi]. *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 398–403. (in Ukrainian)
4. Strizhkova N. V. (2020) *Tsifrova transformatsiya biznesu: zmina stratehiy i modeley rozvytku [Digital transformation of business: changes in strategies and development models]*. [Electronic resource]. Available at: [https://ndipzir.org.ua/wpcontent/uploads/2020/02/Strizhkova19Mono/Strizhkova19Mono%20\(4\).pdf](https://ndipzir.org.ua/wpcontent/uploads/2020/02/Strizhkova19Mono/Strizhkova19Mono%20(4).pdf) (in Ukrainian)
5. Budiakova O., Tsarenok D. (2019) Innovative solutions for enterprise personnel in the digital economy [Innovatsiyni rishennya dlya personalu pidpnyemstv u tsyfrovoy ekonomitsi]. *Innovative solutions in modern science*, no. 6(33), pp. 5–18. (in Ukrainian)

Стаття надійшла до редакції 11.04.2025