

УДК 339.94; 330.341.1
JEL: F02; O33
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-7-8-17>

ТЕХНОЛОГІЧНІ ДРАЙВЕРИ РОЗУМНИХ ФАБРИК І ГЛОБАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАНЬ У ДРУГІЙ ДЕКАДІ ХХІ СТОЛІТТЯ

©2026 КОНОНЕНКО М. А.

УДК 339.94; 330.341.1
JEL: F02; O33

Кононенко М. А. Технологічні драйвери розумних фабрик і глобальних ланцюгів постачання у другій декаді ХХІ століття

У статті досліджено роль ключових цифрових технологій у трансформації сучасного промислового виробництва та глобальних ланцюгів постачання в умовах розвитку концепції Індустрії 4.0. Попри значну кількість досліджень цифрової трансформації промисловості, комплексний вплив ключових технологій Індустрії 4.0 на функціонування цифрових фабрик і трансформацію глобальних ланцюгів постачання залишається недостатньо дослідженим, що зумовлює актуальність цієї роботи. Метою дослідження є систематизація ключових технологічних драйверів цифрових фабрик, визначення особливостей їхнього функціонування в умовах Індустрії 4.0 та обґрунтування їхнього впливу на трансформацію глобальних ланцюгів постачання. Методологічну основу дослідження становлять методи аналізу та синтезу, системного та порівняльного аналізу, узагальнення та графічної інтерпретації результатів. У результаті дослідження систематизовано основні технології, що забезпечують функціонування цифрових фабрик, зокрема Інтернет речей, технології Big Data, штучний інтелект, блокчейн і хмарні обчислення, а також визначено їхнє функціональне призначення у виробничих процесах і ланцюгах постачання. Обґрунтовано, що інтеграція зазначених технологій забезпечує автоматизацію виробництва, підвищення прозорості інформаційних потоків, оптимізацію логістичних процесів, прогнозування ризиків, покращення якості управлінських рішень та формування стійких цифрових виробничих екосистем. Встановлено, що цифрові фабрики поступово трансформуються із локальних автоматизованих виробництв у ключові вузли глобальних цифрових мереж постачання, здатних оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища та забезпечувати високий рівень адаптивності виробничих систем. Наукова новизна дослідження полягає в комплексній систематизації технологічних драйверів цифрових фабрик із визначенням їхнього стратегічного значення для трансформації глобальних ланцюгів постачання. Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості їх використання під час розроблення стратегій цифрової трансформації підприємств, модернізації виробничих процесів та підвищення ефективності управління міжнародними ланцюгами постачання.

Ключові слова: цифрові фабрики; Індустрія 4.0; глобальні ланцюги постачання; цифрова трансформація; технологічні драйвери.

Рис.: 2. **Табл.:** 1. **Бібл.:** 16.

Кононенко Максим Андрійович – магістр кафедри світового господарства і міжнародних економічних відносин, Навчально-науковий інститут міжнародних відносин Київського національного університету імені Тараса Шевченка (вул. Юрія Іллєнка, 36/1, Київ, 04119, Україна)

E-mail: Maxkon123@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9884-8314>

UDC 339.94; 330.341.1
JEL: F02; O33

Kononenko M. A. Technological Drivers of Smart Factories and Global Supply Chains in the Second Decade of the XXI Century

The article examines the role of key digital technologies in the transformation of modern industrial production and global supply chains within the framework of the developing conception of Industry 4.0. Despite the growing body of research on industrial digitalization, the integrated impact of Industry 4.0 technologies on the operation of smart factories and the transformation of global supply chains remains insufficiently explored, highlighting the relevance of this study. The aim of the study is to systematize the key technological drivers of smart factories, identify the specific features of their operation under Industry 4.0, and substantiate their impact on the transformation of global supply chains. The methodological framework is based on the methods of analysis and synthesis, system analysis, comparative analysis, generalization, and graphical interpretation of the findings. The findings systematize the core technologies underlying the operation of smart factories, including the Internet of Things (IoT), Big Data analytics, artificial intelligence (AI), blockchain, and cloud computing, and determine their functional role in manufacturing processes and supply chain management. The study substantiates that the integration of these technologies enhances production automation, increases information transparency, optimizes logistics processes, improves risk forecasting and managerial decision-making, and contributes to the development of resilient digital manufacturing ecosystems. It is found that smart factories are gradually evolving from isolated automated production facilities into key nodes of global digital supply networks capable of rapidly responding to external changes while ensuring a high level of flexibility and adaptability. The scientific novelty of the study lies in the comprehensive systematization of the technological drivers of smart factories and the identification of their strategic role in the transformation of global supply chains. The practical significance of the findings consists in their applicability to the development of enterprise digital transformation strategies, the modernization of manufacturing processes, and the improvement of international supply chain management.

Keywords: smart factories; Industry 4.0; global supply chains; digital transformation; technological drivers.

Fig.: 2. **Tabl.:** 1. **Bibl.:** 16.

Kononenko Maksym A. – Master of the Department of World Economy and International Economic Relations, Educational and Scientific Institute of International Relations Taras Shevchenko National University of Kyiv (36/1 Yuriia Illienka Str., Kyiv, 04119, Ukraine)

E-mail: Maxkon123@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9884-8314>

Стрімкий розвиток цифрових технологій та поширення концепції Індустрії 4.0 докорінно змінюють принципи функціонування промислового виробництва та глобальних ланцюгів постачання. Зростання складності міжнародних виробничих мереж, цифровізація бізнес-процесів, а також виклики, спричинені пандемією COVID-19, геополітичною нестабільністю та порушеннями логістичних зв'язків, актуалізували необхідність формування більш гнучких, прозорих і стійких виробничих систем. За цих умов цифрові (розумні) фабрики стають ключовим елементом сучасної промислової трансформації, оскільки забезпечують інтеграцію виробничих процесів із цифровими технологіями, автоматизований обмін даними та оперативне прийняття управлінських рішень у режимі реального часу. Використання Інтернету речей, штучного інтелекту, технологій Big Data, блокчейну та хмарних обчислень сприяє підвищенню ефективності виробництва, оптимізації логістичних процесів і зміцненню стійкості глобальних ланцюгів постачання.

Попри значний науковий інтерес до проблематики Індустрії 4.0, більшість сучасних досліджень зосереджена на аналізі окремих цифрових технологій або окремих аспектів цифрової трансформації виробництва. Водночас недостатньо уваги приділяється комплексному дослідженню технологічних драйверів цифрових фабрик та їхнього взаємозв'язку з трансформацією глобальних ланцюгів постачання. Відсутність цілісного підходу до систематизації ключових цифрових технологій і визначення їхнього стратегічного значення для розвитку сучасних виробничих екосистем зумовлює необхідність проведення цього дослідження. У статті здійснено комплексний аналіз основних технологій, що лежать в основі функціонування цифрових фабрик, а також визначено особливості їхнього впливу на ефективність, прозорість, адаптивність і стійкість глобальних ланцюгів постачання.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Значна кількість сучасних досліджень присвячена цифровій трансформації промислового виробництва, розвитку концепції Індустрії 4.0 та функціонуванню цифрових фабрик. Зокрема, Г. Кагерманн і В. Валстер сформуливали теоретичні засади концепції Індустрії 4.0 [2]. Поряд із академічними дослідженнями вагомий внесок у розвиток проблематики здійснюють міжнародні консалтингові компанії та аналітичні організації. Так, PwC досліджує практичні аспекти створення цифрових фабрик і трансформації виробничих підприємств, Deloitte аналізує цифрову модернізацію промис-

ловості та впровадження технологій Індустрії 4.0, IBM зосереджується на застосуванні штучного інтелекту, хмарних технологій і цифрових платформ у виробництві, тоді як Всесвітній економічний форум досліджує глобальні тенденції розвитку інтелектуального виробництва, цифрових фабрик і стійких виробничих екосистем [5; 7; 10; 12; 13].

Серед українських учених вагомий внесок у дослідження цифрової трансформації промисловості та міжнародного бізнесу зробили О. Птащенко, О. Сохацька, які зосереджуються на питаннях трансформації логістичних стратегій у контексті впровадження інноваційних технологій та розвитку цифрової економіки; В. Вишневський, який досліджує розвиток смарт-промисловості, цифровізацію виробничих систем і механізми модернізації промисловості в умовах цифрової економіки; О. Ступницький та І. Швед, які аналізують трансформацію діяльності сучасних компаній під впливом глобальних викликів Індустрії 4.0, цифровізації виробництва та міжнародної конкуренції [3; 6; 16]. Незважаючи на вагомий внесок зазначених авторів, питання комплексного впливу ключових технологічних драйверів цифрових фабрик на трансформацію глобальних ланцюгів постачання залишаються недостатньо розкритими.

Проведений аналіз наукової літератури свідчить, що більшість існуючих досліджень зосереджується на окремих цифрових технологіях або окремих напрямках цифрової трансформації виробництва. Водночас недостатньо дослідженими залишаються питання їхньої комплексної інтеграції у функціонування цифрових фабрик, а також механізми впливу такої інтеграції на ефективність, прозорість, адаптивність і стійкість глобальних ланцюгів постачання. Саме ця наукова прогалина обумовлює необхідність проведення дослідження, спрямованого на систематизацію ключових технологічних драйверів цифрових фабрик і визначення їхнього стратегічного значення для трансформації сучасних глобальних виробничих мереж.

МЕТА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження полягає в систематизації ключових технологічних драйверів цифрових фабрик, визначенні особливостей їхнього функціонування в умовах Індустрії 4.0 та обґрунтуванні їхнього впливу на трансформацію глобальних ланцюгів постачання.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі *завдання* дослідження:

- ✦ дослідити еволюцію концепції цифрових фабрик;

- ✦ систематизувати основні технології, що забезпечують функціонування цифрових фабрик;
- ✦ визначити особливості застосування Інтернету речей, Big Data, штучного інтелекту, блокчейну та хмарних обчислень у виробничих процесах;
- ✦ проаналізувати вплив ключових цифрових технологій на ефективність, прозорість, адаптивність і стійкість глобальних ланцюгів постачання;
- ✦ узагальнити роль цифрових фабрик у формуванні сучасних цифрових виробничих екосистем та обґрунтувати їхнє стратегічне значення для розвитку міжнародного виробництва.

Методологічною основою дослідження є комплекс загальнонаукових і спеціальних методів наукового пізнання. *Метод аналізу та синтезу* використано для дослідження сучасних технологій Індустрії 4.0 та визначення їхньої ролі у функціонуванні цифрових фабрик; *системний підхід* – для розгляду цифрових фабрик як інтегрованих елементів глобальних ланцюгів постачання; *метод узагальнення* – для систематизації наукових підходів і формування авторських висновків; *порівняльний аналіз* – для зіставлення функціональних можливостей ключових цифрових технологій та оцінювання їхнього впливу на виробничі процеси та ланцюги постачання; *графічний метод* – для візуалізації результатів дослідження у вигляді рисунків і таблиць.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У межах цифрових трансформацій розумні фабрики уособлюють еволюційний розвиток промисловості від механізованого виробництва до інтегрованих кіберфізичних систем і людиноцентричних моделей співпраці. Аналіз етапів становлення розумних фабрик дозволяє простежити, як зміна технологічних укладів, поява нових інструментів управління та глобальні інноваційні тренди зумовлювали трансформацію виробничих систем. Від початкової автоматизації процесів у другій половині XX століття до сучасних стратегій Індустрії 4.0 і 5.0 концепція розумних фабрик демонструє, як інновації стають ключовим драйвером підвищення ефективності, гнучкості та сталості економічного розвитку. З огляду на це у статті пропонується авторське бачення еволюції концепції розумних фабрик, що відображає логіку переходу від ранніх етапів автоматизації до майбутніх людиноцентричних виробничих систем (рис. 1).

Відлік етапів розвитку цифрових фабрик доцільно розпочинати із 1970-х років, оскільки саме в цей період відбувся перехід від традиційної механізації до автоматизації виробничих процесів завдяки широкому впровадженню програмованих логічних контролерів (англ. – *Programmable Logic Controller; PLC*), промислових роботів і комп'ютеризованих систем керування. Саме ці технології заклали основу для подальшої цифрової трансформації промислового виробництва та розвитку концепцій цифрових фабрик та Індустрії 4.0. На цьому етапі головною метою модернізації виробництва було підвищення продуктивності, зниження виробничих витрат і мінімізація впливу людського фактора завдяки автоматизації окремих технологічних операцій [1]. Використання PLC забезпечило програмне керування виробничим обладнанням і підвищило гнучкість виробничих процесів, тоді як роботизовані маніпулятори та конвеєрні системи сприяли стабілізації виробництва, стандартизації продукції та покращенню її якості. Попри широке впровадження автоматизованих систем, цифрові технології ще не були інтегровані в єдиний інформаційний простір, а виробничі процеси залишалися переважно автономними, що обмежувало можливості комплексного управління даними та взаємодії між окремими елементами виробничої системи.

Під час другої хвилі, яка розпочалась наприкінці XX століття, почалася активна інтеграція комп'ютерних технологій у виробничі процеси. Драйвером стали розвиток інформаційних систем і необхідність більш гнучкого управління виробництвом у глобалізованій економіці. З'явилися системи автоматизованого виробництва та проектування, а також системи планування ресурсів підприємства (англ. – *Enterprise Resource Planning; ERP*), які інтегрували управління ресурсами на підприємстві [2]. Фабрики поступово переходили від механізованих систем до кібернетичних моделей управління, хоча інтеграція залишалася фрагментарною: дані були розрізнені між різними підрозділами, і бракувало повної взаємопов'язаності.

Концепція розумних фабрик сформувалася лише в межах третьої хвилі цифрових трансформацій, коли розвиток Індустрії 4.0 забезпечив інтеграцію виробництва у вигляді кіберфізичних систем. Саме на цьому етапі фабрика почала розглядатися не лише як автоматизований чи комп'ютеризований комплекс, а як «розумна» система, здатна до самонавчання, адаптації та взаємодії в реальному часі [3]. Тому подальший аналіз у межах цієї статті буде зосереджено саме на дослідженні концепції розумних фабрик у контексті третьої хвилі, тобто Індустрії 4.0.

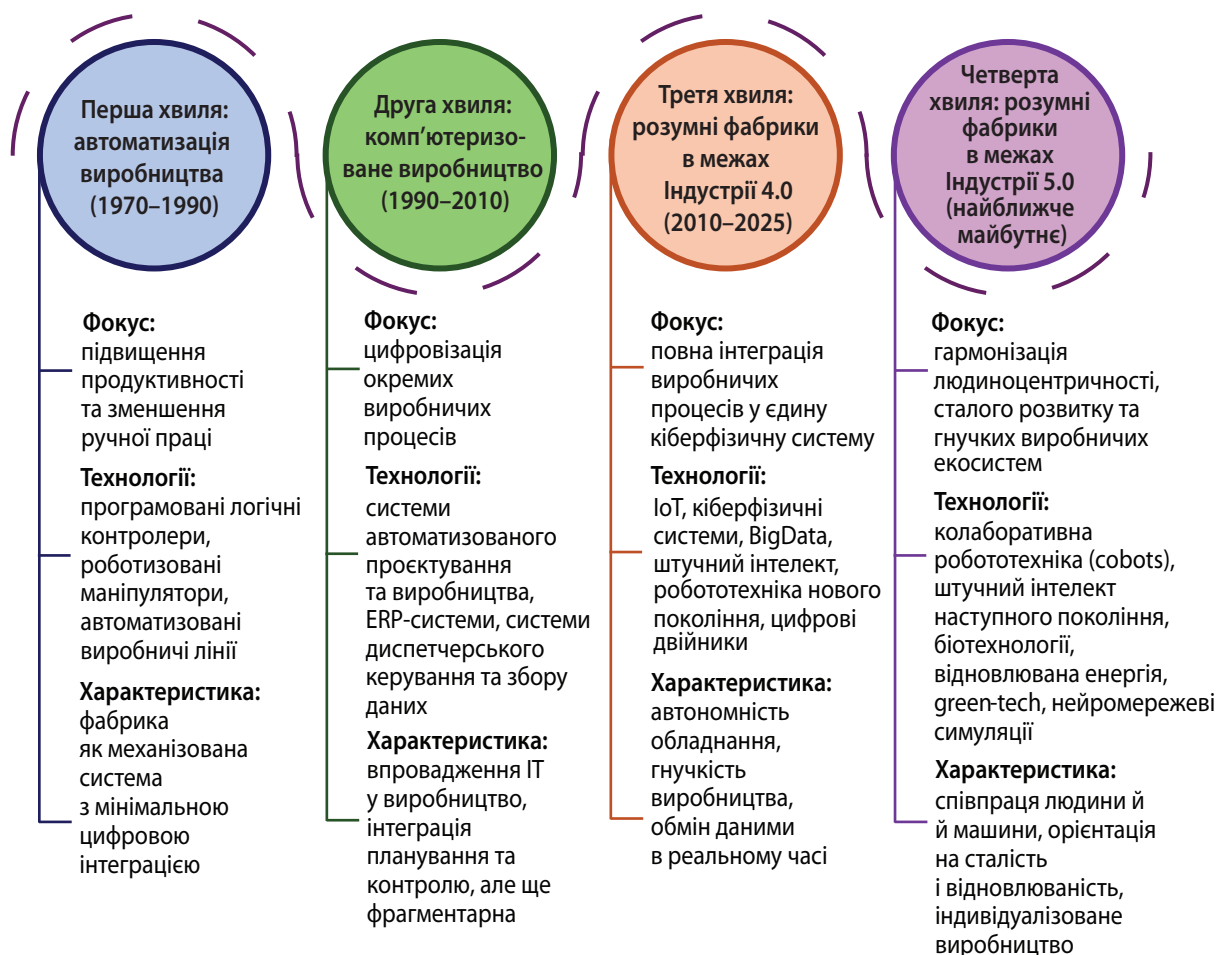


Рис. 1. Етапи становлення розумних фабрик

Джерело: складено автором на основі [1–8].

Четверта хвиля розвитку розумних фабрик, що асоціюється з Індустрією 5.0, розглядається як найближче майбутнє. Розумні фабрики орієнтовані не лише на ефективність, але й на людиноцентричність та сталість. Основна ідея полягає в поєднанні потенціалу технологій із креативністю людини. Якщо Індустрія 4.0 створила «фабрику даних», то Індустрія 5.0 прагне до «фабрики співпраці та відповідальності» [4]. Людина постає в центр виробничого процесу, але вже у співпраці з інтелектуальними системами, які доповнюють її можливості.

Реалізація концепції Індустрії 4.0 в межах розумних фабрик стає можливою завдяки впровадженню цілого комплексу передових технологій, які забезпечують інтеграцію виробничих процесів, підвищують їхню ефективність і відкривають нові можливості для розвитку смарт-виробництва. Узагальнений перелік цих ключових технологій представлений у табл. 1.

Одним із ключових технологічних компонентів Індустрії 4.0 є Інтернет речей (англ. – *Internet of Things; IoT*) – мережа взаємопов'язаних фізичних

пристроїв, датчиків, виробничого обладнання та програмних систем, які забезпечують автоматизований збір, передавання й обмін даними в режимі реального часу. У промисловому виробництві технологія IoT забезпечує інтеграцію фізичного обладнання в єдиний цифровий інформаційний простір шляхом оснащення машин і виробничих ліній інтелектуальними сенсорами та комунікаційними модулями, що дає змогу здійснювати безперервний моніторинг технологічних процесів, взаємодію обладнання між собою та обмін інформацією з виробничими інформаційними системами [7].

Завдяки цій всеосяжній підключеності величезні обсяги цінних даних можуть безперервно збиратися, аналізуватися та поширюватися протягом усього виробничого процесу. У цифровій фабриці «розумні машини» з підтримкою технології Інтернет речей активно контролюють власну продуктивність і стан середовища, відстежуючи такі параметри, як температура, вібрації чи продуктивність, та обмінюються даними між собою і з централізованими системами [7]. Така прозорість у режимі реального часу дозволяє виробничій лінії

Таблиця 1

Ключові технології розумних фабрик

Технологія	Застосування в розумних фабриках	Роль у ланцюгах постачання	Найбільші вигоди від застосування технології	Стратегічне значення
Інтернет речей	Моніторинг стану обладнання в реальному часі; підвищення точності контролю	Відстеження товарів, логістики та транспортування	Оперативність, зниження ризиків поломок, контроль якості	Прозорість і контроль
Big Data	Прогнозне технічне обслуговування; оптимізація виробничих процесів	Аналіз попиту, прогнозування ризиків і коливань ринку	Зменшення витрат, точні прогнози, краща стратегія закупівель	Ефективність
Штучний інтелект	Автономне планування виробництва; виявлення дефектів	Динамічне ціноутворення, прогнозування затримок, оптимізація маршрутів	Прискорене прийняття рішень, автоматизація	Аналітичні можливості та конкурентна перевага
Блокчейн	Забезпечення достовірності даних про походження продукції	Боротьба з підробками, підвищення довіри між партнерами	Безпечний обмін інформацією, верифікація продуктів	Довіра та надійність

Джерело: складено автором на основі [5; 6].

самостійно оптимізуватися: машини можуть узгоджувати швидкість, налаштовувати параметри чи навіть автоматично повідомляти обслуговуючий персонал про виявлені відхилення. По суті, пристрої IoT виконують роль «очей і вух» розумної фабрики, забезпечуючи детальну, миттєву інформацію, що є основою для прийняття рішень і автоматизації виробничих процесів.

На додачу, роль IoT виходить далеко за межі фабрик, охоплюючи глобальні ланцюги постачання та істотно підвищуючи прозорість і контроль у логістиці. Датчики IoT, закріплені на продуктах, упаковках, транспортних засобах та інфраструктурі, забезпечують відстеження товарів у реальному часі на всіх етапах: від заводу до складу та роздрібного продавця [8]. Наприклад, GPS-трекери з підтримкою IoT дозволяють визначати точне місцезнаходження відправлень у будь-який момент, що знижує ризик затримок і підвищує точність прогнозів доставки [9]. Крім того, датчики відстежують умови зберігання в дорозі: у холодних ланцюгах для фармацевтики чи харчових продуктів підключені термометри та гігрометри, які постійно передають інформацію про температуру та вологість, допомагаючи запобігти псуванню та гарантувати дотримання стандартів якості. Пристрої IoT на транспортних засобах також дозволяють оптимізувати автопарк і здійснювати прогнозне техобслуговування, збираючи дані про роботу двигуна, витрати палива та поведінку водіїв. Це сприяє еко-

номії палива, своєчасному ремонту та зменшенню затримок у постачанні.

Таким чином, Інтернет речей створює своєрідну «нервову систему» для цифрових фабрик і ланцюгів постачання, об'єднуючи всі активи та процеси в єдину інформаційну мережу. У виробництві це забезпечує безпрецедентну прозорість операцій і дозволяє машинам спільно вдосконалювати процеси в реальному часі. В ланцюгах постачання Інтернет речей забезпечує повну видимість руху товарів і стану активів на кожному етапі, знижуючи невизначеність та підвищуючи ефективність і гнучкість.

Масове впровадження IoT у виробництво та логістику приводить до стрімкого зростання обсягів даних – так званих Big Data, які відрізняються великим обсягом, швидкістю та різноманітністю. Використання цих даних завдяки сучасним аналітичним інструментам є ще одним фундаментальним драйвером цифрового виробництва та логістики. Дані перетворилися на стратегічний актив, а здатність збирати, обробляти й аналізувати їх у режимі реального часу дає компаніям можливість оптимізувати операції на безпрецедентному рівні.

У цифрових фабриках аналітика Big Data передбачає постійне агрегування інформації з машин, сенсорів, виробничих систем і зовнішніх джерел (наприклад, даних про ринковий попит або запаси постачальників) для ухвалення більш об-

ґрунтованих рішень. Зокрема, аналіз історичних і поточних даних сенсорів дозволяє впроваджувати програму прогнозного обслуговування, виявляючи сигнали майбутніх збоїв і запобігаючи поломкам, що можуть зупинити виробництво [7]. Це знижує незаплановані простой та подовжує термін служби обладнання. Додатково аналітика допомагає покращити якість і ефективність процесів: аналіз потоків даних у режимі реального часу дозволяє швидко виявляти відхилення та оперативно коригувати виробництво.

В аналітиці Big Data важливу роль відіграє також прогнозування попиту. Поєднуючи виробничі дані з інформацією про продажі та ринок, фабрики можуть передбачати тренди та адаптувати випуск продукції, уникати надвиробництва чи дефіциту. Впровадження таких рішень здатне скоротити рівень браку до 50% і підвищити рентабельність на 20% [7].

У глобальних ланцюгах постачання аналітика Big Data трансформує планування, прогнозування та управління ризиками. Використовуючи машинне навчання та алгоритми прогнозування, компанії можуть точніше оцінювати попит, оптимізувати маршрути, ефективніше управляти запасами та швидко реагувати на зміни ринку. Поєднання даних про продажі, погодні умови, транспортні маршрути та навіть сигнали із соціальних мереж дозволяє передбачити збої або затримки ще до того, як вони стануть критичними.

Особливо цінною є роль Big Data у превентивному управлінні ризиками. Алгоритми можуть об'єднувати новинні та соціальні дані з інформацією про місцезнаходження постачальників і передбачати ймовірність перебоїв – від природних катастроф до політичної нестабільності [1]. Завдяки такій системі компанії отримують змогу вчасно задіяти альтернативних постачальників або змінювати маршрути транспортування.

Загалом, аналітика Big Data виступає інтелектуальним «двигуном» цифрових фабрик і ланцюгів постачання. Вона перетворює «сирі» дані, згенеровані IoT-пристроями, на цінні аналітичні інсайти, що дають змогу прогнозувати відмови обладнання, вдосконалювати процеси, узгоджувати виробництво з попитом у реальному часі та підвищувати гнучкість глобальної логістики. Це підвищує не лише ефективність (через усунення простоїв та оптимізацію ресурсів), а й стійкість (завдяки прогнозуванню ризиків і адаптації), що є критично важливим для конкурентоспроможності в цифрову добу.

Штучний інтелект (ШІ) є обов'язковим доповненням до Big Data в екосистемі Індустрії 4.0 – він

виступає своєрідним «мозком», здатним інтерпретувати складні дані, навчатися на їх основі та ухвалювати або підтримувати рішення автономно. Технології ШІ (зокрема, машинне навчання, глибинне навчання та інші передові алгоритми) дедалі частіше інтегруються у виробничі процеси та управління ланцюгами постачання, де вони виступають потужними інструментами прийняття рішень.

У цифрових фабриках ШІ забезпечує автономне та оптимізоване виробництво. Системи на основі ШІ можуть планувати та здійснювати розклад виробництва з рівнем складності та швидкістю, що перевищують людські можливості. Вони здатні динамічно розподіляти завдання між різними машинами, управляти навантаженням і в режимі реального часу реагувати на зміни (збої обладнання, термінові замовлення тощо), враховуючи численні обмеження [10]. Це забезпечує високу ефективність використання ресурсів і своєчасне виконання замовлень.

ШІ також є ключовим елементом стратегій превентивного технічного обслуговування: моделі машинного навчання постійно аналізують дані з обладнання (вібрація, температура, якість вихідної продукції), прогнозуючи можливі відмови та рекомендуючи обслуговування саме в потрібний момент. Це знижує ризик дорогих простоїв, оптимізує графіки обслуговування та подовжує життєвий цикл активів. Додатково, роботизовані системи з ШІ (роботи та устаткування) набувають «розуму» – вони адаптують дії залежно від сенсорних даних і навіть навчаються новим завданням, підвищуючи гнучкість автоматизації у виробництві [10].

Поза межами фабрики ШІ відіграє ключову роль у ланцюгах постачання та логістиці, суттєво покращуючи видимість, ефективність і здатність швидко реагувати. Особливе значення має прогнозування попиту та оптимізація запасів: алгоритми ШІ аналізують великі обсяги даних (тенденції продажів, економічні показники, настрої в соцмережах тощо), щоб точніше прогнозувати попит і коригувати поповнення запасів. Це зменшує як дефіцит продукції, так і надлишкові складські залишки. Ще одне застосування – динамічне ціноутворення: моделі ШІ аналізують попит, пропозицію, ціни конкурентів та інші фактори в реальному часі, щоб автоматично коригувати ціни, оптимізуючи прибуток і рівень запасів [11]. Таким чином, компанії можуть ефективніше балансувати між ринковими умовами та власними ресурсами.

ШІ також активно застосовується в аналітиці для логістики: прогнозування затримок постачання, оптимізація маршрутів, управління автопарками, впровадження автономних транспортних засо-

бів і автоматизованих складів. Не менш важливим є використання ІІІ в системах управління ризиками: він дозволяє виявляти потенційні загрози (від природних катастроф і політичних криз до банкрутств постачальників), моделювати сценарії та формувати оптимальні стратегії реагування [12]. Деякі компанії вже створюють «цифрові двійники» своїх ланцюгів постачання, що дає змогу моделювати та прогнозувати можливі наслідки різних подій [5].

У підсумку, ІІІ надає цифровим фабрикам і ланцюгам постачання «розум», забезпечуючи автономне ухвалення рішень на основі даних. Він підвищує продуктивність, якість, гнучкість і стійкість, а також робить підприємства значно більш адаптивними до змін ринку та зовнішніх викликів.

Технологія блокчейн стала ще одним невід'ємним інструментом для підвищення прозорості, безпеки та довіри в цифрових ланцюгах постачання – характеристик, які набувають вирішального значення в умовах зростання складності та глобалізації мереж. По суті, блокчейн – це розподілений цифровий реєстр, що фіксує транзакції у вигляді ланцюга блоків, захищених криптографічними методами [13]. У контексті виробництва та логістики блокчейн виступає єдиним надійним джерелом даних про транзакції, постачання та історію продуктів для всіх учасників мережі (рис. 2).

Його ключова перевага – незмінність записів: жодна зі сторін не може самостійно змінити або видалити інформацію. Це робить блокчейн особливо цінним у складних глобальних ланцюгах, де не всі партнери повністю довіряють один одному. Таким чином, блокчейн створює вбудований механізм довіри.

Найпоширеніший приклад застосування блокчейну – можливість простежування за кожним кроком під час виробництва товару. Завдяки фіксації кожної транзакції можна відстежити походження та шлях продукції від джерела сировини до кінцевого споживача. Це має величезне значення для харчової промисловості та інших галузей, де важлива якість кінцевої продукції [14]. Споживач може відсканувати QR-код на товарі та миттєво побачити, з якої ферми він походить, через які етапи переробки пройшов і коли був доставлений у магазин. Це не лише підвищує довіру, але й дає змогу швидко локалізувати проблемні партії у випадку відкликань продукції.

Однією з ключових функціональних можливостей технології блокчейн є використання смарт-контрактів (*smart contracts*) – самовиконуваних програмних алгоритмів, які автоматично ініцію-

ють виконання визначених транзакцій або бізнес-процесів після досягнення заздалегідь встановлених умов [15]. Використання смарт-контрактів дає змогу автоматизувати виконання договірних зобов'язань між учасниками ланцюга постачання, скоротити адміністративні витрати, мінімізувати вплив людського фактора та прискорити проведення фінансових розрахунків.

Завдяки децентралізованому механізму зберігання інформації та незмінності записів блокчейн підвищує прозорість, простежуваність і надійність функціонування глобальних ланцюгів постачання [16]. Спільний доступ учасників мережі до актуальної інформації щодо руху товарів, стану запасів і виконання логістичних операцій забезпечує оперативну координацію дій у разі виникнення порушень або кризових ситуацій, сприяючи підвищенню стійкості ланцюгів постачання.

Отже, технологія блокчейн є не лише інструментом забезпечення безпеки та достовірності даних, а й важливим елементом цифрової інтеграції учасників глобальних ланцюгів постачання. Її використання сприяє формуванню єдиного інформаційного середовища, підвищенню рівня довіри між контрагентами, зниженню операційних ризиків і покращенню координації бізнес-процесів у міжнародних виробничо-логістичних мережах.

Загалом, впровадження технології блокчейн створює передумови для цифрової трансформації глобальних ланцюгів постачання шляхом забезпечення безпечного децентралізованого обміну інформацією, наскрізної простежуваності руху товарів та підтвердження достовірності інформації про їхнє походження, автентичність і виконання договірних зобов'язань між учасниками ланцюга постачання.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження систематизовано ключові технологічні драйвери цифрових фабрик і визначено їхню роль у трансформації глобальних ланцюгів постачання. Встановлено, що інтеграція Інтернету речей, технологій Big Data, штучного інтелекту та блокчейну формує єдину цифрову виробничу екосистему, яка забезпечує автоматизацію виробничих процесів, підвищення їхньої прозорості, адаптивності й ефективності. Обґрунтовано, що комплексне використання зазначених технологій сприяє переходу від традиційних лінійних моделей управління до цифрових мереж постачання, здатних оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища та за-

Прозорість транзакцій

- Блокчейн створює спільний реєстр для всіх учасників, забезпечуючи видимість і надійність інформації (виробництво, логістика, доставка)

Відстежуваність продукції

- Походження та шлях кожного продукту (ферма → фабрика → логістика → роздрібний продавець → споживач) можна відслідкувати крок за кроком, що особливо важливо для харчової та хімічної промисловості

Боротьба з контрафактом

- Блокчейн надає захищений від підробок ланцюг підтвердження походження, що ускладнює проникнення фальсифікованих товарів (наприклад, ліків, електроніки, предметів розкоші) у ланцюги постачання

Довіра між сторонами

- Незмінні, криптографічно захищені записи зменшують потребу в посередниках і сприяють співпраці навіть між учасниками, які не повністю довіряють один одному

Швидші та безпечніші відкликання продукції

- Завдяки точній простежуваності блокчейн дозволяє швидко ідентифікувати та вилучати дефектні або забруднені партії без широких і затратних відкликів

Ефективність завдяки використанню смарт-контрактів

- Автоматизовані контракти в блокчейні запускають платежі чи схвалення після виконання визначених умов, скорочуючи паперову роботу та адміністративні затримки

Стійкість і зменшення шахрайства

- Незмінність блокчейну знижує ризики шахрайства, маніпуляцій та помилок, а його спільна прозорість допомагає учасникам швидше координувати дії під час збоїв

Рис. 2. Переваги використання блокчейну в управлінні ланцюгами постачання

Джерело: складено автором на основі [13–15].

безпечувати вищий рівень стійкості в умовах глобальних викликів.

Наукова новизна дослідження полягає в комплексній систематизації технологічних драйверів цифрових фабрик із визначенням їхнього функціонального призначення та стратегічного значення для розвитку глобальних ланцюгів постачання. Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості їх використання підприємствами під час розроблення стратегій цифрової трансформації виробництва, модернізації логістичних процесів і підвищення стійкості ланцюгів постачання, а також у навчальному процесі та подальших наукових дослідженнях.

Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язати з оцінюванням економічної ефективності впровадження цифрових фабрик у різних галузях промисловості, аналізом практичного застосування технологій Індустрії 5.0 і розробленням моделей цифрової трансформації глобальних виробничих мереж. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Жмай О. В., Мозгальова М. Ю. «Розумні фабрики»: передумови виникнення та перспективи розвитку. *Ринкова економіка: сучасна теорія і практика управління*. 2022. Т. 21. Вип. 1. С. 22–43. DOI: [https://doi.org/10.18524/2413-9998.2022.1\(50\).270418](https://doi.org/10.18524/2413-9998.2022.1(50).270418)
2. Kagermann H., Wahlster W. Ten Years of Industrie 4.0. *Sci*. 2022. Vol. 4. Iss. 3. Art. 26. DOI: <https://doi.org/10.3390/sci4030026>
3. Ступницький О. І., Швед І. В. Сучасна фірма: глобальні виклики Індустрії 4.0. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія «Міжнародні економічні відносини та світове господарство»*. 2020. Вип. 31. С. 131–138. DOI: <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2020-31-20>
4. Krokowski T., Regelman C., Wentzek D. Industry 5.0 in Smart Manufacturing: The Need for Equilibrium in Work Organization. *Procedia Computer Science*. 2025. Vol. 253. P. 582–593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.120>
5. Geissbauer R., Schrauf S., Bertram P., Cheraghi F. Digital Factories 2020: Shaping the Future of

- Manufacturing. PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC), 2020. URL: <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digital-factories-2020-shaping-the-future-of-manufacturing.pdf>
6. Смарт-промисловість в епоху цифрової економіки: перспективи, напрями і механізми розвитку : монографія / В. П. Вишневський, О. В. Вієцька, О. М. Гаркушенко та ін.; за ред. В. П. Вишневського. Київ : Інститут економіки промисловості НАН України, 2018. 192 с.
 7. What Is Industry 4.0 and How Does It Work? IBM. URL: <https://www.ibm.com/think/topics/industry-4-0>
 8. Птащенко О. В., Архипова Д. Є. Особливості логістичного процесу в сучасних умовах господарювання. *Вісник Київського національного університету технологій і дизайну. Серія «Економічні науки»*. 2019. № 6. С. 148–155. DOI: <https://doi.org/10.30857/2413-0117.2019.6.14>
 9. Neuhüttler J., Feike M., Kutz J. et al. Digital Factory Transformation from a Servitization Perspective: Fields of Action for Developing Internal Smart Services. *Sci*. 2023. Vol. 5. Iss. 2. Art. 22. DOI: <https://doi.org/10.3390/sci5020022>
 10. KPMG. Intelligent Manufacturing: A Blueprint for Creating Value Through AI-Driven Transformation. KPMG International, 2025. URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmgsites/ie/pdf/insights/retail/ie-intelligent-manufacturing.pdf.core-download.inline.pdf>
 11. Dynamic Pricing Models in Supply Chain Management: Adapting to Market Fluctuations and Demand Shifts. *Global Trade Magazine*. 2 September 2024. URL: <https://www.globaltrademag.com/dynamic-pricing-models-in-supply-chain-management-adapting-to-market-fluctuations-and-demand-shifts/>
 12. *World Economic Forum*. Intelligent Industrial Operations Outlook 2026. Geneva : World Economic Forum, 2026. URL: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Intelligent_Industrial_Operations_Outlook_2026.pdf
 13. Using Blockchain to Drive Supply Chain Transparency and Innovation. *Deloitte*. URL: <https://www.deloitte.com/us/en/services/consulting/articles/blockchain-supply-chain-innovation.html>
 14. Van Niekerk M. From Source to Stomach: How Blockchain Tracks Food Across the Supply Chain and Saves Lives. *World Economic Forum*. 12 August, 2024. URL: <https://www.weforum.org/stories/2024/08/blockchain-food-supply-chain/>
 15. Hattingh G. Revolutionizing Manufacturing Using Blockchain Technology. *Siemens Blog*. 4 February, 2019. URL: <https://blog.siemens.com/2019/02/revolutionizing-manufacturing-using-blockchain-technology/>
 16. Птащенко О. В., Сохацька О. М. Особливості логістичної діяльності в умовах діджиталізації. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2022. № 6. С. 50–54. DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-276-6-50-54>

REFERENCES

- (2024, September 2). *Dynamic Pricing Models in Supply Chain Management: Adapting to Market Fluctuations and Demand Shifts*. *Global Trade Magazine*. <https://www.globaltrademag.com/dynamic-pricing-models-in-supply-chain-management-adapting-to-market-fluctuations-and-demand-shifts/>
- Deloitte. (n. d.). *Using Blockchain to Drive Supply Chain Transparency and Innovation*. <https://www.deloitte.com/us/en/services/consulting/articles/blockchain-supply-chain-innovation.html>
- Geissbauer, R., Schrauf, S., Bertram, P., & Cheraghi, F. (2020). *Digital Factories 2020: Shaping the Future of Manufacturing*. PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC), Frankfurt. <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digital-factories-2020-shaping-the-future-of-manufacturing.pdf>
- Hattingh, G. (2019, February 4). *Revolutionizing Manufacturing Using Blockchain Technology*. Siemens Blog. <https://blog.siemens.com/2019/02/revolutionizing-manufacturing-using-blockchain-technology/>
- IBM. (n. d.). *What Is Industry 4.0 and How Does It Work?* <https://www.ibm.com/think/topics/industry-4-0>
- KPMG. (2025). *Intelligent Manufacturing: A Blueprint for Creating Value Through AI-Driven Transformation*. KPMG International, Amstelveen. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmgsites/ie/pdf/insights/retail/ie-intelligent-manufacturing.pdf.core-download.inline.pdf>
- Kagermann, H., & Wahlster, W. (2022). Ten Years of Industrie 4.0. *Sci.*, 4(3), Art. 26. <https://doi.org/10.3390/sci4030026>
- Krokowski, T., Regelman, C., & Wentzek, D. (2025). Industry 5.0 in Smart Manufacturing: The Need for Equilibrium in Work Organization. *Procedia Computer Science*, 253, 582–593. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.120>
- Neuhüttler, J., Feike, M., Kutz, J., et al. (2023). Digital Factory Transformation from a Servitization Perspective: Fields of Action for Developing Internal Smart Services. *Sci.*, 5(2), Art. 22. <https://doi.org/10.3390/sci5020022>
- Ptashchenko, O. V., & Arkhypova, D. Ye. (2019). Osoblyvosti lohistychnoho protsesu v suchasnykh umovakh hospodariuvannya [Peculiarities of the logistics process in modern economic conditions]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii i dizainu. Seriya «Ekonomiczni nauky»*, 6, 148–155. <https://doi.org/10.30857/2413-0117.2019.6.14>
- Ptashchenko, O. V., & Sokhatska, O. M. (2022). Osoblyvosti lohistychnoi diialnosti v umovakh didzhitalizatsii [Peculiarities of logistics activities in the con-

ditions of digitalization]. *Visnyk Skhidnoukrajinskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 6, 50–54.
<https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-276-6-50-54>

Stupnytskyi, O. I., & Shved, I. V. (2020). Suchasna firma: hlobalni vyklyky Industrii 4.0 [Modern firm: global challenges of Industry 4.0]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriya «Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo»*, 31, 131–138.
<https://doi.org/10.32782/2413-9971/2020-31-20>

Van Niekerk, M. (2024, August 12). *From Source to Stomach: How Blockchain Tracks Food Across the Supply Chain and Saves Lives*. World Economic Forum.
<https://www.weforum.org/stories/2024/08/blockchain-food-supply-chain/>

Vyshnevskiy, V. P., Vietska, O. V., Harkushenko, O. M., et al. (2018). *Smart-promyslovist v epokhu tsyfrovoi ekonomiky: perspektyvy, napriamy i mekhanizmy rozvytku* [Smart industry in the era of the digital economy: prospects, directions and mechanisms of development]. Instytut ekonomiky promyslovosti NAN Ukrainy, Kyiv.

World Economic Forum. (2026). *Intelligent Industrial Operations Outlook 2026*. World Economic Forum, Geneva. https://reports.weforum.org/docs/WEF_Intelligent_Industrial_Operations_Outlook_2026.pdf

Zhmai, O. V., & Mozghalova, M. Yu. (2022). «Rozumni fabryky»: peredumovy vynykennia ta perspektyvy rozvytku ["Smart factories": prerequisites for emergence and development prospects]. *Rynkova ekonomika: suchasna teoriia i praktyka upravlinnia*, 21(1), 22–43.
[https://doi.org/10.18524/2413-9998.2022.1\(50\).270418](https://doi.org/10.18524/2413-9998.2022.1(50).270418)

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

Під час підготовки роботи автор використав ChatGPT-5.1 з метою допомоги з мовним редагуванням тексту (перевірка на граматичні та стилістичні помилки). Автор перевіряв та відредагував отримані матеріали.

Стаття надійшла до редакції / Received: 13.07.2026

Статтю прийнято до публікації / Accepted: 22.07.2026

Оприлюднено / Published: 17.08.2026

УДК 339.9; 330.341.1; 004.8

JEL: F55; O31; O33

DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-7-17-26>

АНАЛІЗ ДОСВІДУ КРАЇН У ПІДВИЩЕННІ ЕКОНОМІЧНОЇ РЕЗИЛЬЄНТНОСТІ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

©2026 БУШИНСЬКА К. М.

УДК 339.9; 330.341.1; 004.8

JEL: F55; O31; O33

Бушинська К. М. Аналіз досвіду країн у підвищенні економічної резильєнтності шляхом інтеграції штучного інтелекту

У статті досліджено міжнародний досвід інтеграції технологій штучного інтелекту як одного з ключових інструментів підвищення економічної резильєнтності в умовах цифрової трансформації та зростання глобальних викликів. Попри значну кількість досліджень, присвячених розвитку штучного інтелекту та цифрової економіки, питання комплексного аналізу впливу національних стратегій інтеграції штучного інтелекту на забезпечення економічної резильєнтності держав залишаються недостатньо дослідженими, що зумовлює актуальність цієї роботи. Метою дослідження є аналіз міжнародного досвіду інтеграції технологій штучного інтелекту в економічні системи різних країн, систематизація основних напрямів їх використання для підвищення економічної резильєнтності та обґрунтування ролі штучного інтелекту як стратегічного чинника забезпечення стійкого економічного розвитку. Методологічною основою дослідження є методи аналізу та синтезу, системного та порівняльного аналізу, узагальнення та графічної інтерпретації результатів. У результаті дослідження проаналізовано досвід провідних країн світу щодо впровадження технологій штучного інтелекту у сфері державного управління, промисловості, фінансового сектора, логістики та охорони здоров'я. Систематизовано основні напрями застосування штучного інтелекту для підвищення адаптивності економічних систем, оптимізації управлінських процесів, прогнозування ризиків, забезпечення безперервності функціонування критичної інфраструктури та зміцнення стійкості національних економік до кризових явищ. Встановлено, що ефективність інтеграції технологій штучного інтелекту значною мірою визначається рівнем розвитку цифрової інфраструктури, наявністю комплексної державної політики, обсягами інвестицій у наукові дослідження та інновації, а також рівнем підготовки людського капіталу. Обґрунтовано, що використання штучного інтелекту сприяє підвищенню продуктивності, прискоренню процесів цифрової трансформації, зміцненню конкурентоспроможності та забезпеченню довгострокової економічної резильєнтності держав. Наукова новизна дослідження полягає в комплексному узагальненні міжнародного досвіду інтеграції технологій штучного інтелекту та визначенні ключових факторів їхнього впливу на підвищення економічної резильєнтності. Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості використання сформульованих висновків під час розроблення державної політики цифрової трансформації, національних стратегій розвитку штучного інтелекту та програм зміцнення економічної стійкості України.

Ключові слова: економічна резильєнтність; штучний інтелект; цифрова трансформація; міжнародний досвід; національні стратегії; економічний розвиток; цифрова економіка.

Рис.: 1. Табл.: 2. Бібл.: 17.