

Олександр Сергійович Сердюк,
доктор економічних наук,
старший дослідник,
ORCID 0000-0003-3049-3144,
e-mail: oleksandrserdyk@ukr.net,

Інститут економіки промисловості НАН України, м. Київ

СТИМУЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ МОДЕЛЕЙ ВИРОБНИЦТВА ІНДУСТРІЇ 4.0

Актуальність. Економічний розвиток нерозривно пов'язаний із впровадженням нових технологій, які вдосконалюють виробничі процеси, управління ресурсами та організацію господарської діяльності. Проте масштаб і характер цього впливу суттєво відрізняються залежно від галузі, регіону та рівня інтеграції технологічних систем у виробництво, що зумовлює неоднозначні наслідки для економіки. З огляду на це набуває актуальності питання дослідження механізмів впливу нових технологій на виробничі процеси та виявлення закономірностей трансформації економічної системи в умовах технологічного прогресу. Зокрема, у контексті сьогодення важливо визначити, якими будуть економічні наслідки від широкого застосування технологій Індустрії 4.0, таких як штучний інтелект, Інтернет речей, блокчейн та 3D-друк. Чи призведуть вони до структурних зрушень в економічній системі, або їхній вплив обмежуватиметься лише підвищенням ефективності окремих виробничих процесів? Відповіді на ці питання допоможуть визначити доцільність та пріоритетність стимулювання розвитку технологій Індустрії 4.0.

Крім того, важливо враховувати локальні фактори, що впливають на ефективність технологічних змін у національній економіці. Зокрема, необхідно дослідити, чи створює кон'юнктура внутрішнього ринку передумови для розвитку технологій Індустрії 4.0, які фактори визначають домінування поточної моделі виробництва та які наслідки матиме локальне впровадження штучного інтелекту, Інтернету речей, 3D-друку і блокчейну в Україні.

Дослідження потенціалу технологій Індустрії 4.0 має охоплювати не лише механізми їхнього впливу на виробничі процеси, а й можливості використання штучного інтелекту, Інтернету речей та блокчейну як елементів інноваційних інструментів стимулювання економічного розвитку. Адже Інтернет речей забезпечує швидку передачу виробничо-фінансових даних безпосередньо з джерела їхнього походження, а штучний інтелект дозволяє оброб-

ляти ці дані та перетворювати їх на корисну інвестиційну інформацію, що може бути захищена та зафіксована у блокчейні. Водночас необхідно враховувати потенційні ризики широкого впровадження таких технологій, зокрема кіберзагрози та питання конфідентності даних, що може вплинути на їхню ефективність та рівень довіри до них у бізнес-середовищі.

Вищезазначені питання обумовлюють мету статті, яка полягає у дослідженні внутрішніх чинників розвитку технологій Індустрії 4.0 в Україні та розробці інноваційних інструментів залучення інвестицій у цю галузь.

Перспективи впровадження технологій Індустрії 4.0 в Україні

На сьогодні впровадження технологій Індустрії 4.0 в Україні відбувається фрагментарно та безсистемно, що ускладнює досягнення синергетичного ефекту від їхнього комплексного застосування. Цю фрагментарність можна спостерігати не лише на рівні міжтехнологічної інтеграції, а й контексті окремих інновацій. Так, за даними аналітичної та дослідницької консалтингової компанії Saturday Team [1], станом на кінець 2023 року Україна посідала друге місце в Центральній-Східній Європі за кількістю ІІІ-компаній¹ (рис. 1). Однак більшість із них – це підприємства, що займаються розробкою технологій штучного інтелекту або допоміжних рішень у сфері програмного забезпечення, алгоритмів машинного навчання та систем комп'ютерного зору. Лише невелика кількість компаній інтегрувала штучний інтелект у бізнес-процеси, використовуючи його переважно у сфері ритейлу. Зокрема, один із найбільших онлайн-ритейлерів України, компанія Rozetka, застосовує ІІІ для прогнозування попиту на товари та оптимізації процесів доставки, тоді як її конкурент Fozzy Group використовує штучний інтелект для надання персоналізованих рекомендацій клієнтам та автоматизації закупівель.

¹ Компанії, які розробляють, впроваджують або використовують технології штучного інтелекту у своїй діяльності.



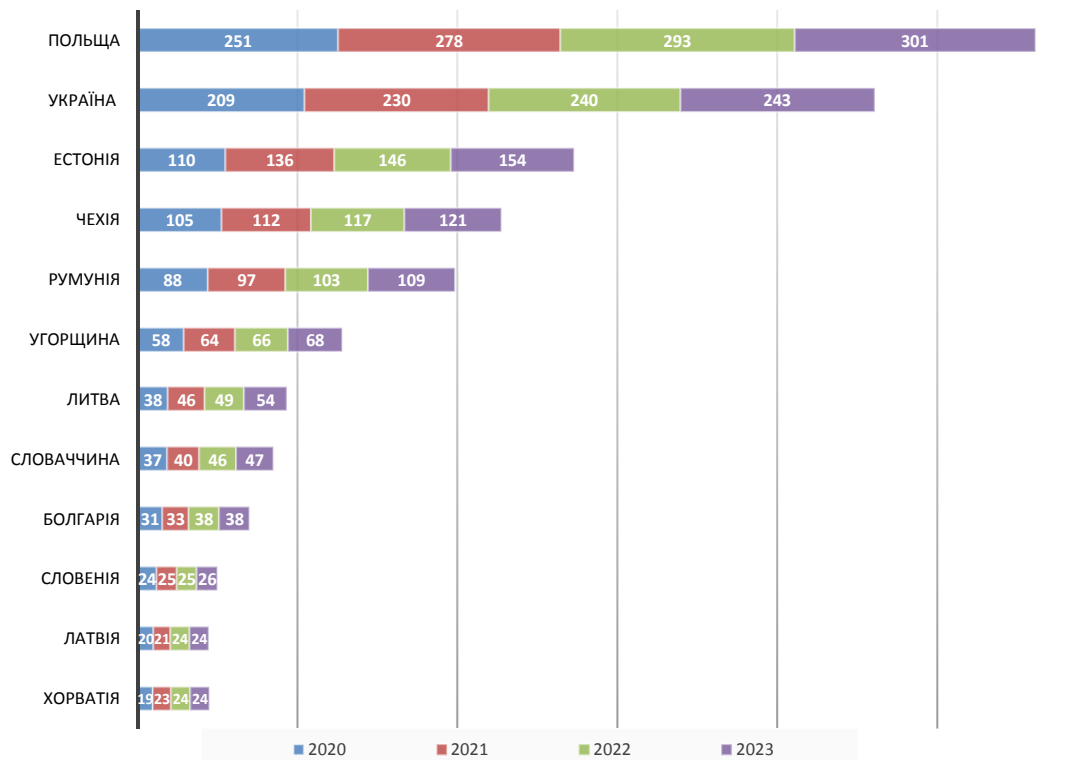


Рис. 1. Кількість ІТ-компаній у Центральній-Східній Європі

Розроблено за джерелом [1].

Фактор наявності в Україні значної кількості ІТ-компаній, які займаються розробкою штучного інтелекту або супутньої йому продукції, здебільшого нейтрально позначається на впровадженні цієї технології у виробництво. Це пояснюється тим, що програмні продукти не мають суттєвих конкурентних переваг на внутрішньому ринку, оскільки вони є невразливими до впливу низки внутрішньоекономічних чинників, які цей ринок формують. А саме, на кінцеву вартість програми не впливає внутрішній ринок сировини (оскільки вона не потрібна для виробництва програмних продуктів), відстань до споживача, а також умови міжнародної торгівлі, що вирівнює умови конкуренції на світовому ринку цієї продукції. З огляду на це, потенційні промислові споживачі штучного інтелекту приймають рішення, виходячи із світової кон'юнктури на ринку технологій ІТ.

Варто зазначити, що окремі внутрішні чинники, такі як низька вартість праці спеціалістів ІТ, високий рівень підготовки кадрів, вдала податкова політика та законодавче регулювання, можуть сприяти зниженню кінцевої ціни на програмні продукти. Проте ця перевага не матиме значного впливу на внутрішніх споживачів, оскільки у такому випадку їм доведеться конкурувати за «дешеву» вітчизняну продукцію із покупцями з усього світу.

У свою чергу, фактор зосередження штучного інтелекту в бізнес-процесах саме ритейлерських компаній може негативно позначитися на розвитку

виробничих підприємств керованих ІТ, зокрема «розумних фабрик». Це пояснюється тим, що існуючі на сьогодні в Україні ритейлерські компанії мають значну конкурентну перевагу у сфері дистрибуції перед окремими виробничими підприємствами. Вони вже мають напрацьований імідж та клієнтську базу, а також надають споживачам зручний інструментарій для персоналізованих покупок. З огляду на це підприємствам, які планують застосовувати штучний інтелект для цілей дистрибуції власної продукції, в умовах поточної кон'юнктури ринку буде вигідніше передати цю функцію вже існуючим ритейлерським компаніям. Відтак нівелюється синергетичний ефект від інтеграції виробничих та дистрибутивних процесів керованих ІТ, що робить менш ефективними інвестиції у саме лише виробництво.

Проте зміна кон'юнктури ринку ритейлерських послуг у напрямку здешевлення операцій взаємодії з клієнтами має сприяти перенесенню функцій дистрибуції до підприємств-виробників продукції. Цю закономірність свого часу обґрунтував лауреат Нобелівської премії з економіки Рональд Коуз у своїй відомій праці «Природа фірми» [2]. Він наголосив, що підприємства залучають сторонні організації до виконання окремих робіт у рамках ланцюга постачання (supply chain), доки транзакційні витрати цих робіт для підприємства-замовника перевищують витрати на залучення сторонньої організації. Із цього випливає, що зниження транзакційних витрат,

пов'язаних із маркетинговими дослідженнями, пошуком покупців продукції та взаємодією з ними, має сприяти перенесенню дистрибутивних функцій до підприємств-виробників продукції.

Знизити зазначені трансакційні витрати можна шляхом застосування на виробничих підприємствах тих самих організаційно-технологічних інструментів, які використовують крупні ритейлерські компанії (див. таблицю).

Як видно з таблиці, більшість організаційно-технологічних інструментів зниження трансакційних витрат базуються на цифрових технологіях, зокрема штучному інтелекту. Це знову актуалізує питання про конкурентні переваги вітчизняних ритейлерських компаній, які першими впровадили такі технології. Однак, якщо створити умови за яких ви-

робничі підприємства отримають спрощений доступ до цифрових рішень на основі штучного інтелекту, така перевага буде поступово знівелювана. Пояснюється це тим, що спрощений доступ до цифрових рішень на основі штучного інтелекту зменшить обсяг необхідних інвестицій для створення власного дистрибутивного сервісу, що стимулюватиме виробничі підприємства до його розбудови. З появою окремих виробників, які ефективно використовують ІІІ-інструменти для дистрибуції власної продукції, конкурентні переваги ритейлерських компаній, засновані на їхній розгалуженій мережі та впізнаваності бренду, поступово зменшуватимуться. Це, своєю чергою, може спонукати ще більше виробничих підприємств до самостійної організації дистрибуції.

Таблиця

Організаційно-технологічні інструменти зниження трансакційних витрат у сфері ритейлу

Оптимізація маркетингових досліджень	Зменшення витрат на пошук покупців	Оптимізація взаємодії з клієнтами
Використання великих даних (Big Data) та аналітики - Аналіз поведінки за допомогою CRM-систем - Використання ІІІ для прогнозування попиту - Автоматизований моніторинг ринку	Автоматизація процесу пошуку клієнтів - Використання B2B-платформ для автоматизації пошуку ділових партнерів - Впровадження ІІІ-рішень для генерації лідів	Впровадження чат-ботів та автоматизація комунікацій - Використання AI-чат-ботів для підтримки клієнтів 24/7 - CRM-системи для управління комунікаціями з клієнтами
Краудсорсинг та онлайн-опитування - Проведення онлайн анкетувань - Використання соціальних мереж для збору відгуків та тестування концепцій продуктів	Прямий продаж Розвиток соціального комерсу через Instagram Shopping, Facebook Marketplace	Перехід на цифрові канали обслуговування - Використання месенджерів для швидкої взаємодії з клієнтами - Впровадження самостійних порталів обслуговування
Залучення відкритих джерел інформації - Аналіз звітів аналітичних агентств - Використання конкурентної розвідки		Персоналізація маркетингових комунікацій - Використання штучного інтелекту для рекомендацій товарів - Сегментація клієнтів та таргетована реклама

Для спрощення доступу виробничих підприємств до сервісів штучного інтелекту варто запровадити цільові інструменти державної підтримки, зокрема гранти, субсидії, пільгові кредити, податкові стимули та фонди розвитку цифрової економіки. За належного інституціонального забезпечення ці інструменти можуть також сприяти розвитку інших технологій Індустрії 4.0, вплив яких на формування високоефективних виробничих підприємств є не менш важливим. У цьому контексті важливу роль відіграє Інтернет речей, оскільки він не лише створює інфраструктуру для інтеграції рішень штучного інтелекту, а й забезпечує збирання та передачу великих обсягів даних, необхідних для автоматизації та оптимізації виробничих процесів.

На сьогодні розвиток Інтернету речей в Україні демонструє позитивну динаміку, значною мірою завдяки ініціативам Міністерства цифрової трансформації, таким як проєкт «Держава в смартфоні» [3] та впровадження концепції «розумних міст» [4]. Додатковими чинниками поширення Інтернету речей є зростання приватних інвестицій та розвиток інфраструктури передачі даних. Для ефективного функціонування IoT-рішень в Україні активно застосовуються дві основні бездротові технології зв'язку: NB-IoT (Narrowband IoT) та LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). NB-IoT – це вузькосмугова технологія зв'язку, що працює в ліцензованих частотних діапазонах мобільних операторів. Вона забезпечує високу енергоефективність, стабільність з'єднання та добре проникає крізь фізичні перешкоди (наприклад, у підвалах чи всередині будівель).

Завдяки цим характеристикам її широко використовують у сфері розумних міст (смарт-лічильники, інтелектуальне освітлення, моніторинг трафіку) та промисловості (віддалений контроль обладнання, логістика). LoRaWAN, на відміну від NB-IoT, працює у неліцензованих радіочастотних діапазонах, що дозволяє створювати незалежні мережі без необхідності залучення мобільних операторів. Вона має значно більший радіус покриття (до 15 км у сільській місцевості) та ще нижче енергоспоживання, хоча її пропускна здатність є обмеженою. Це робить оптимальним вибором для IoT-проектів, що вимагають зв'язку на великих відстанях, але не потребують високої швидкості передачі даних. Зокрема, технологія широко використовується у сільському господарстві (моніторинг полів і погодних умов) та логістиці (відстеження вантажів і контроль транспортних засобів).

Успішним прикладом реалізації IoT-проектів із використанням технології зв'язку NB-IoT є «розумний» Єриствський залізничний кар'єр у Полтавській області. На цьому об'єкті Інтернет речей застосовується для моніторингу та керування промисловою технікою, зокрема екскаваторами, буровими установками та іншими механізмами, що працюють у кар'єрі. NB-IoT дозволяє забезпечувати безперервний контроль місцеперебування техніки, збір даних про витрати пального та параметри роботи обладнання, що підвищує ефективність виробничих процесів. Ще одним прикладом успішного впровадження IoT є Дунайське пароплавання, де технологія використовується для моніторингу переміщення суден і вантажів. У цьому випадку NB-IoT дає змогу збирати та передавати телеметричні дані про стан суден і параметри навантаження, що покращує логістичні процеси та контроль за флотом [5].

Водночас технологію LoRaWAN активно використовують великі аграрні підприємства України, зокрема «Агро-Ресурс» та «Еко-Регіон». Завдяки їй вони здійснюють моніторинг вологості ґрунту та температури на полях, що дозволяє оптимізувати агротехнічні процеси. Крім того, LoRaWAN застосовує одна з найбільших логістичних компаній країни – «Нова Пошта». Встановлені на її вантажівках «розумні» датчики забезпечують збір інформації про переміщення вантажів, а також контроль параметрів довкілля, таких як температура та вологість, що сприяє збереженню якості доставлених товарів.

Попри значну кількість успішних прикладів використання технологій зв'язку NB-IoT та LoRaWAN в Україні, вони все ж залишаються недостатньо розвинутими, щоб стимулювати динамічне зростання Інтернету речей. Основними бар'єрами для цього є обмежене покриття мереж, недостатня кількість базових станцій для підтримки масштабних IoT-рішень, а також висока вартість впровадження відповідних технологій для малого та середнього бізнесу. Крім того, розвиток Інтернету речей стримується

фрагментованістю нормативно-правової бази та відсутністю єдиних стандартів для інтеграції пристроїв і платформ. Додатковою перешкодою є недостатня поінформованість підприємців про можливості та переваги IoT для їхнього бізнесу, що гальмує попит на такі рішення.

Як і у випадку зі штучним інтелектом, розвиток Інтернету речей в Україні потребує державної підтримки, зокрема у частині інвестицій в інфраструктуру, розширення 5G-мереж та LPWAN-технологій, а також адаптації законодавства до нових економічних реалій, створюваних цією технологією. Важливим кроком у цьому напрямку є створення стимулюючого регуляторного середовища, яке б сприяло залученню інвесторів і прискореному впровадженню IoT-рішень у ключових галузях – від промисловості та логістики до сільського господарства та міської інфраструктури. Державні програми цифровізації, податкові пільги для компаній, що розробляють і впроваджують Інтернет речей, а також грантові ініціативи можуть стати ефективними механізмами для прискорення розвитку цієї сфери.

Додати привабливості технології Інтернету речей можуть перспективи її інтеграції з блокчейном. Адже фактор захищеності даних від стороннього втручання, підвищує привабливість інфраструктури IoT, яка забезпечує передачу цих даних. Таким чином, на рівні економічної системи, блокчейн стає стимулятором розвитку Інтернету речей, а той у свою чергу сприяє впровадженню технологій штучного інтелекту.

Використання блокчейну в Україні демонструє поступове зростання. На сьогодні вже реалізовано ряд державних проектів, які довели ефективності цієї технології у питаннях захисту та відкритості даних. Зокрема, у 2015 році було запущено цифрову платформу державних закупівель ProZorro, в рамках якої блокчейн забезпечує неможливість зміни інформації про транзакції, здійснювані державними установами, роблячи її доступною для всіх. За оцінками експертів, за перші 5 років роботи платформи держава зекономила 1,5 мільярда доларів [6]. І це лише стосується коштів, пов'язаних із операційними витратами здійснення державних закупівель. Якщо ж взяти до уваги потенційне зниження втрат економіки, зумовлених зменшенням кількості махінацій із державними закупівлями та зловживанням службовим становищем посадових осіб, економія вийде набагато більшою.

Важливим кроком у посиленні захисту прав власності на землю став запуск у 2017 році пілотного проекту земельного кадастру на базі блокчейн-технології Egonum. Принцип роботи цього сервісу полягає в тому, що всі дані про право власності на землю заносяться в єдиний державний реєстр, де вони хешуються і отримують унікальний QR-код [7]. Завдяки цьому власник землі та будь-яка інша зацікавлена особа можуть перевірити затверджені державою характеристики права власності в режимі

онлайн, що значно знижує можливості для махінацій та маніпуляцій з даними.

Останніми роками було досягнуто певного прогресу у створенні національної цифрової валюти України, яка в перспективі має доповнити готівкові та безготівкові розрахунки. У вересні 2021 року Національний банк України ініціював проєкт «Е-гривня», метою якого є оцінка доцільності масштабного впровадження цифрової валюти [8]. Наразі проєкт перебуває на стадії підготовки до пілотного запуску, під час якого в реальних умовах тестуватимуть різні сценарії використання цифрової гривні.

Цифрова гривня в майбутньому має стати платіжним засобом для смарт-контрактів, які вже сьогодні використовуються в Україні, проте наразі здійснюють платежі в інших цифрових валютах, таких як USDT, Ethereum або Bitcoin.

Також варто сказати про перспективи використання блокчейну в сфері дистрибуції промислової продукції. Зокрема, у 2023 році компанія ДТЕК приєдналася до спілки «Віртуальні Активи України» для вивчення можливостей використання блокчейну в енергетичному секторі. Вони досліджують потенціал токенизації активів, розробки децентралізованих платформ для торгівлі енергією та впровадження вуглецевих кредитів на основі блокчейну [9]. Проте вже зараз можна сказати, що використання блокчейну у цій сфері дасть змогу скоротити витрати на контроль та координацію транзакцій, як для виробників електроенергії, так і для її споживачів, підвищуючи таким чином загальну ефективність галузі.

Попри існування окремих випадків успішного використання блокчейну в Україні, його розвиток на сьогодні стримується низкою факторів, серед яких важливими є психологічні та регуляторні бар'єри. Психологічні бар'єри виникають через недостатню обізнаність про технологію та відсутність поширеної практики її використання, що викликає недовіру економічних агентів до сервісів, які блокчейн може запропонувати. Не маючи досвіду участі в транзакціях через блокчейн та без достатньої кількості наочних прикладів успішного застосування цієї технології, багато агентів надають перевагу звичним, перевіреним механізмам здійснення транзакцій. Посилюють цю недовіру регуляторні бар'єри, які полягають у відсутності інституційного захисту угод, здійснюваних в блокчейні (за винятком сервісів, створених самою державою). Для держави транзакції, записані в сторонньому блокчейні, не є такими, що підлягають захисту, а платіжні засоби у вигляді криптовалют не мають жодної юридичної сили.

Широке впровадження державних сервісів на основі блокчейну (на кшталт ProZorro), інституціоналізація комерційних записів у блокчейні, а також легалізація цифрової гривні сприятимуть подоланню існуючих бар'єрів. Регулярне використання економічними агентами державних послуг, що працюють на основі блокчейну, має продемонструвати

ефективність цієї технології та сприяти формуванню довіри до неї. Це також стимулюватиме її ширше впровадження, оскільки учасники ринку отримають практичний досвід взаємодії із системами, побудованими на розподіленому реєстрі. Поруч із цим, надання правового захисту комерційним записам у блокчейні сприятиме зменшенню ризиків, пов'язаних із контрактними зобов'язаннями. Посилити цей ефект може цифрова гривня, яка забезпечить прозорість та регульованість платіжних операцій, сприяючи інтеграції блокчейн-технологій у фінансову систему.

Чинники набуття досвіду використання та ширшої інтеграції також мають сприяти більш динамічному розвитку 3D-друку в Україні. Сьогодні вже існує чимало успішних прикладів застосування цієї технології в різних галузях промисловості. Зокрема, у грудні 2020 року група компаній «ТАС» відкрила в Києві центр «3D Metal Tech», що спеціалізується на виробництві хірургічних імплантатів із титанового сплаву методом 3D-друку [10].

У 2021 році компанія «Укрінфотех» представила першу партію авіакосмічної продукції, виготовленої на 3D-принтері. Серед її виробів особливо варто відзначити авіаційні кронштейни та сопла ракетних двигунів із вбудованою системою охолодження [11]. Важливість цих технічних здобутків зумовлена тим, що використання технології 3D-друку в авіакосмічній галузі відкриває нові можливості для зменшення ваги деталей та підвищення їхньої ефективності. У контексті розвитку такого виробництва в Україні важливу роль відіграють вітчизняні наукові установи. Зокрема, на початку 2021 року Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України створив перший у країні 3D-принтер для виготовлення продукції для авіакосмічної галузі [12].

Одним із останніх проривів у сфері 3D-друку є зведення першого в Україні будинку, надрукованого за допомогою цієї технології. Проєкт реалізувала компанія «АПРІОРІГРУП», а його презентація відбулася в серпні 2024 року в Ірпені [13]. Це досягнення демонструє перспективи застосування 3D-друку в будівництві та відкриває шлях до швидшого, економічнішого й екологічнішого зведення житла.

Проте, попри окремі вагомі успіхи у впровадженні 3D-друку в Україні, його застосування залишається обмеженим, а існуюча модель дистрибуції продукції – застарілою, що стримує розвиток кастомізованого виробництва. Вирішенню цієї проблеми може сприяти створення в кожній галузі як мінімум одного підприємства, що спеціалізуватиметься на 3D-друці за індивідуальними замовленнями із заданими характеристиками продукції. Очікується, що такі підприємства отримають конкурентні переваги на ринку, що, своєю чергою, стимулюватиме інших виробників до впровадження аналогічної моделі виробництва та дистрибуції. Ініціювати появу «флаг-

манських» підприємств можна шляхом реалізації програм співпраці між державою та бізнесом. Зокрема, держава може визначити найефективніших вітчизняних виробників на ринку конкретної продукції та запропонувати їм інвестиційні проекти, що передбачають розвиток 3D-друку та кастомізованої дистрибуції.

***Стимулювання розвитку моделей виробництва
Індустрії 4.0 на засадах використання
внутрішнього потенціалу технологій штучного
інтелекту, Інтернету речей та блокчейну***

З точки зору класичної економічної науки та світової практики розвитку економічних систем, для стимулювання широкого впровадження технологій Індустрії 4.0 у виробництво в Україні можна застосувати два основні інституціональні підходи. Перший – це державна підтримка, що передбачає надання дотацій, грантів, субсидій, пільгового кредитування тощо. Другий – це ринкові стимули, які спрямовані на створення сприятливих умов для розвитку бізнесу. Вони включають розбудову відповідної інфраструктури, податкові стимули (наприклад, зниження податку на інновації), спрощення регуляторних процедур тощо. За окремих обставин можна також застосувати комбінований підхід, який передбачає застосування заходів прямої державної підтримки у поєднанні із створенням сприятливих ринкових умов для розвитку сектору. Такий підхід може виявитись дієвим лише за умови відсутності порушень ринкового механізму конкуренції. Тобто державна підтримка не має створювати штучних конкурентних переваг окремим підприємствам перед іншими учасниками ринку.

Якщо поглянути на поширені підходи до стимулювання розвитку економічних систем через призму ресурсних перетворень, які вони забезпечують, стає очевидним, що ці інструменти лише регулюють переміщення капіталу між секторами економіки. У першому випадку, тобто при прямій державній підтримці, це переміщення має безпосередній характер, оскільки відбувається фізичне перенаправлення коштів від платників податків до реципієнтів допомоги. У другому випадку, при створенні ринкових стимулів, характер переміщення коштів є більш опосередкований, оскільки за такої моделі у цільовому секторі відсутні прямі реципієнти допомоги, а витрати у деяких випадках можуть бути не фактичними, а альтернативними (наприклад, у вигляді втрат бюджету від зниження податку). В обох випадках, результатом переміщення коштів платників податків в економіку, є створення ринкових сигналів, які сприяють перетіканню інвестицій до цільового сектору. При державній підтримці, це сигнал фактичної прибутковості сектору (оскільки державна фінансова допомога посилює економічний ефект), при ринкових стимулах – потенційної (ос-

кільки створенні сприятливі умови ринку обіцяють дохід на капітал більший, аніж в інших секторах).

В умовах ринкової економіки позитивні сигнали ринку є ключовими чинниками, що визначають розвиток галузей, які їх формують. Проте вартість штучного створення таких сигналів у багатьох випадках може знівелювати економічний ефект. Наприклад, загальні витрати держави на гранти підприємствам, що впроваджують штучний інтелект, можуть перевищувати сукупні фінансові вигоди такого впровадження. З огляду на це постає актуальне питання зниження витрат на створення сигналів ринку, що має сприяти підвищенню загальної ефективності стимуляційних заходів.

У випадку технологій Індустрії 4.0 позитивний сигнал ринку про інвестиційну привабливість сектору, де вони можуть застосовуватись, не обов'язково повинен мати штучний характер, оскільки самі собою ці технології забезпечують високоефективне виробництво, а отже, відсутня нагальна потреба у створенні додаткових чинників, які стимулюватимуть їхній розвиток (наприклад, державних дотацій або податкових пільг). Цей аспект суттєво скорочує вартість створення позитивних сигналів ринку, що, своєю чергою, зменшує альтернативні втрати економіки від реалізації стимуляційної політики.

Проте, проблема полягає в тому, що поширені на сьогодні моделі комунікації не в повній мірі розкривають потенціал технологій Індустрії 4.0 та їхній зв'язок з конкретним виробництвом, а отже потенційні інвестори не мають достатньо інформації для прийняття інвестиційного рішення. Вирішенню цієї проблеми можуть посприяти самі ж технології Індустрії 4.0, які створюють технічні можливості для налагодження високоінформативного каналу зв'язку між інвестором та виробництвом, де вони застосовуються.

Канал зв'язку може мати вигляд краудінвестингової платформи, до якої звертатимуться як дійсні, так і потенційні інвестори за техніко-економічною інформацією про стан конкретного виробництва, де було впроваджено технології Індустрії 4.0. Механізм підготовки такої інформації передбачатиме збір даних з промислового устаткування за допомогою розумних датчиків (Інтернету речей), їхню обробку штучним інтелектом та запис у блокчейн. Таким чином, звертаючись до краудінвестингової платформи, потенційні інвестори заощаджуватимуть ресурс на пошук вигідної пропозиції капіталовкладення, у той час як інформація про деталі виробництва, що надходитиме до платформи в режимі реального часу, дасть змогу, по-перше, сформувати обґрунтоване уявлення про майбутній фінансовий результат інвестиційної діяльності, а по-друге, продемонструє інвесторові зручність сервісу управління проектом. У свою чергу, дійсні інвестори матимуть змогу гнучко регулювати рівень своєї участі в проекті, а також диверсифікувати та оптимізувати свої капіталовкладення (рис 2).

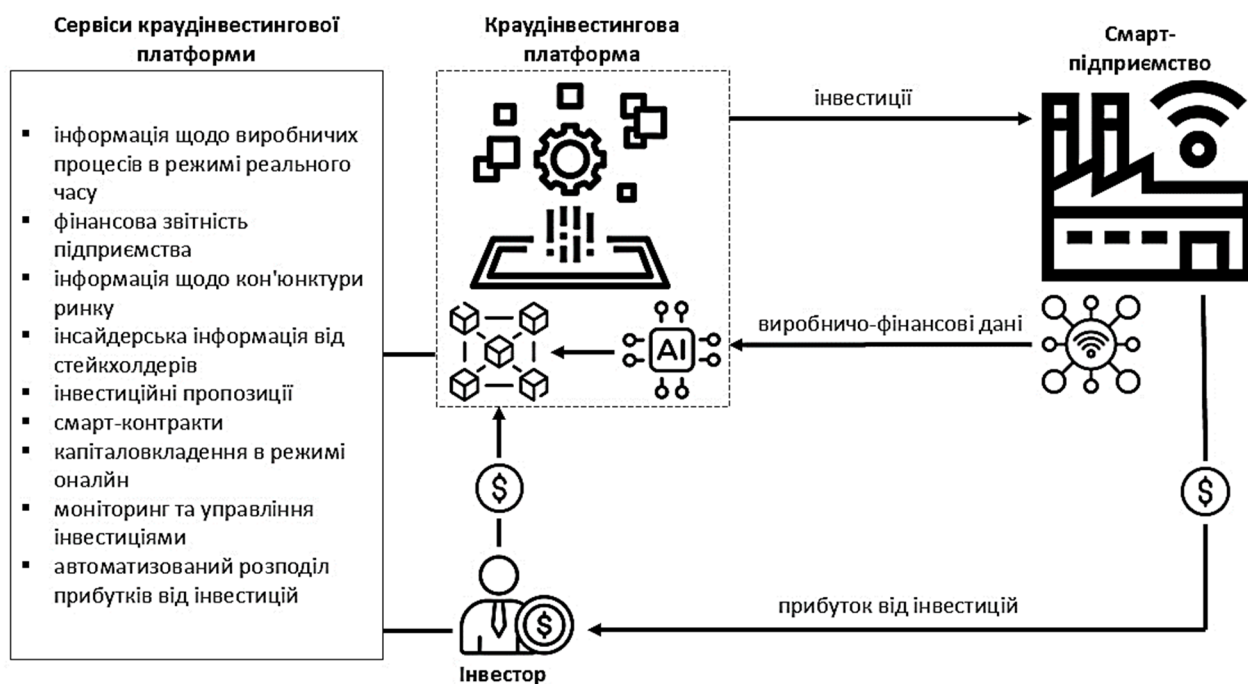


Рис. 2. Принцип дії краудінвестингової платформи, синхронізованої із виробничим комплексом смарт-підприємства за допомогою технологій Індустрії 4.0

Відповідно до описаної концепції, основний функціонал краудінвестингової платформи має включати:

- *збір та обробку даних.* Виробничі підприємства, які впровадили технології Індустрії 4.0, будуть оснащені розумними датчиками, що фіксуватимуть ключові техніко-економічні показники в режимі реального часу. До таких параметрів можуть входити рівень завантаженості обладнання, витрати ресурсів, ефективність виробничих процесів, якість продукції тощо. Зібрані дані передаватимуться в хмарне середовище, де їх оброблятимуть алгоритми штучного інтелекту для аналітики та прогнозування;

- *запис у блокчейн.* Для забезпечення достовірності та незмінності інформації ключові показники діяльності підприємства будуть фіксуватися у блокчейні. Це гарантуватиме прозорість і захист від маніпуляцій, що підвищить рівень довіри серед інвесторів;

- *формування інвестиційних пропозицій.* Платформа автоматично генеруватиме інвестиційні пропозиції на основі актуальних даних з виробництва. Потенційні інвестори зможуть переглядати статистику підприємств, оцінювати їхню фінансову стійкість і потенціал прибутковості, що значно спростить ухвалення рішень щодо капіталовкладень;

- *взаємодію між інвесторами та підприємствами.* Інвестори отримають можливість вибору проєктів для фінансування, беручи до уваги не лише економічні показники, а й стратегічний розвиток підприємства. Для комунікації між сторонами передбачатимуться інтегровані інструменти, такі як

чати, відеоконференції та персоналізовані аналітичні звіти;

- *моніторинг та управління інвестиціями.* Завдяки платформі інвестори матимуть змогу контролювати ефективність своїх капіталовкладень у режимі реального часу. Інформаційні панелі з візуалізацією ключових показників допоможуть оцінити стан виробництва та ефективність управлінських рішень. Крім того, інвестори зможуть оперативно коригувати свою участь у проєкті, збільшуючи або зменшуючи рівень вкладень;

- *автоматизацію фінансових операцій.* Платформа забезпечуватиме автоматичний розподіл прибутків відповідно до частки участі інвестора. Використання смарт-контрактів дозволить здійснювати розрахунки безпосередньо між учасниками, мінімізуючи затримки та знижуючи транзакційні витрати;

- *безпеку та відповідність нормативним вимогам.* Для забезпечення юридичної безпеки операцій платформа відповідатиме міжнародним стандартам фінансового регулювання. Будуть застосовані сучасні методи кібербезпеки, зокрема шифрування даних і багаторівнева аутентифікація користувачів.

Таким чином, на етапі прийняття інвестиційного рішення суттєво зменшуватиметься асиметрія інформації ринкового середовища, яка є характерною для аналогових моделей комунікацій учасників ринку. Іншими словами, зросте об'єктивність оцінки ефективності інвестиційних проєктів впровадження технологій Індустрії 4.0 у виробництво, що зробить очевидними економічні переваги таких проєктів. Поруч із цим на підвищення інвестиційної привабливості впливатимуть забезпечувані крауд-

інвестиційною платформою чинники низьких трансакційних витрат, отримання інформації щодо характеристик проєктів та їхнього поточного стану, а також витрат контролю та забезпечення виконання зобов'язань.

Краудінвестиційна платформа, що інтегрує перелічені функції, має потенціал оптимізувати процес прийняття інвестиційних рішень і сприяти реалізації проєктів впровадження технологій Індустрії 4.0 у виробництво. Проте для її ефективної роботи необхідно внести низку змін до законодавства України. Нинішня нормативно-правова база у сфері електронних фінансових послуг, цифрових активів та блокчейн-технологій є фрагментарною і потребує гармонізації. Основні проблеми включають:

- відсутність чіткого правового статусу цифрових активів;
- невизначеність щодо юридичної сили смарт-контрактів;
- недостатній рівень захисту даних;
- необхідність узгодження з міжнародними стандартами фінансового регулювання;
- прогалини у податковому законодавстві щодо операцій із цифровими активами.

Щодо правового статусу цифрових активів та блокчейн-технологій, доцільно легалізувати використання блокчейну шляхом внесення змін до законів про електронні комунікації та фінансові ринки, встановлюючи правову силу записів у блокчейні як достовірного та незмінного джерела інформації. Одночасно необхідно законодавчо визначити поняття цифрових активів, їх класифікацію та порядок використання у фінансовій сфері, що дозволить інтегрувати їх у систему краудінвестування.

У контексті регулювання смарт-контрактів, варто визнати їх юридично значущими документами, що мають силу традиційних договорів за умови дотримання вимог до їхньої структури, безпеки та доступності коду. Водночас доцільно розробити єдині технічні стандарти для смарт-контрактів у фінансових операціях, щоб забезпечити їхню прозорість і ефективність.

В рамках вирішення питання підвищення стандартів кібербезпеки та захисту даних, необхідно оновити нормативи захисту інформації, розширивши чинне законодавство з урахуванням специфіки збору даних з промислового обладнання та їх обробки штучним інтелектом. Також слід встановити обов'язкові стандарти кібербезпеки для платформ, що працюють з цифровими активами, зокрема впровадити багаторівневу аутентифікацію та шифрування даних.

У сфері електронних фінансових послуг потрібно запровадити спеціальний режим ліцензування для краудінвестиційних платформ із окремим контролем з боку державних регуляторів та удосконалити нормативну базу для запобігання монополізації ринку та забезпечення конкуренції.

Щодо податкового регулювання операцій з цифровими активами, доцільно розробити відповідні податкові норми, що стосуються оподаткування прибутку від інвестицій та операцій із цифровими активами.

Отже, впровадження краудінвестиційної платформи на базі технологій Індустрії 4.0 є важливим кроком для модернізації фінансової та виробничої сфер України. Ефективне функціонування платформи потребує комплексних реформ, які охоплюють правове визнання цифрових активів і смарт-контрактів, посилення стандартів кібербезпеки, адаптацію податкової системи та гармонізацію з міжнародними нормами.

Висновки. В Україні спостерігається позитивна динаміка зростання кількості ІІІ-компаній, які розробляють, впроваджують або використовують технології штучного інтелекту у своїй діяльності. Проте цей тренд наразі не сприяє широкому впровадженню технологій ІІІ у виробництво. По-перше, це пов'язано з тим, що більшість ІІІ-компаній займаються саме розробкою штучного інтелекту, а отже з огляду на специфічний характер цифрової продукції (ця продукція не потребує сировини, транспортування та сплати імпорتنих мит), вони не створюють цінних переваг для вітчизняних споживачів. По-друге, та невелика частка вітчизняних ІІІ-компаній, які інтегрували штучний інтелект у виробничі процеси, працюють переважно у сфері ритейленгу, що дестимулює розвиток «розумних фабрик», оскільки концепція таких фабрик передбачає інтеграцію виробничих та дистрибутивних функцій.

Для подолання (напрацьованих за допомогою ІІІ) конкурентних переваг вітчизняних ритейлерських компаній, доцільно сприяти впровадженню штучного інтелекту у дистрибутивні процеси підприємств-виробників продукції. Це дасть змогу знизити трансакційні витрати, пов'язані із маркетинговими дослідженнями, пошуком клієнтів та взаємодією з ними, що спонукатиме виробників продукції до відмови від послуг ритейлерських компаній на користь власної дистрибутивної діяльності. Такий підхід створить організаційні передумови для трансформації традиційних підприємств у «розумні фабрики», що забезпечить їхню конкурентоспроможність на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Із метою посилення стимуляційного ефекту організаційні передумови мають поєднуватися із заходами підвищення інвестиційної привабливості проєктів впровадження технологій Індустрії 4.0 у виробництво. Цьому має сприяти діяльність краудінвестиційної платформи, яка, по-перше, забезпечуватиме спрощений механізм взаємодії економічних агентів з інвестиційним ринком, по-друге, надаватиме інвесторам актуальну інформацію щодо виробничих процесів, здійснюваних у рамках проєкту. Концепція такої платформи передбачає зчитування

виробничо-фінансових даних за допомогою «розумних» датчиків, встановлених на підприємстві, передачу цих даних на краудінвестингову платформу, де вони за допомогою штучного інтелекту перетворюватимуться на корисну інвестиційну інформацію, та подальший запис цієї інформації у блокчейн. Таким

чином, потенційні уявлення щодо ефективності технологій Індустрії 4.0 перетворюватимуться на конкретну інформацію з цифрами та трендами, що суттєво знижуватиме економічну невизначеність проєктів та, як наслідок, стимулюватиме приплив інвестицій.

Література

1. AI-екосистема України: таланти, компанії, освіта. 2024. URL: <https://skilky-skilky.info/wp-content/uploads/2024/06/AI-ekosystema-Ukrainy-talanty-kompanii-osvita.pdf>.
2. Coase R. The Nature of the Firm. *Economica*. 1937. Vol. 4. No. 16. P. 386-405. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x>.
3. Про схвалення Стратегії цифрової трансформації соціальної сфери: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 жовтня 2020 р. № 1353-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2020-%D1%80#n10>.
4. Цифрова трансформація Броварів: затверджено концепцію Smart City до 2025 року. *Міністерство цифрової трансформації України*. 2021. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/tsifrova-transformatsiya-brovariv-zatverdzheno-kontseptsiyu-smart-city-do-2025-roku>.
5. Інтернет речей і N-надцять несподіваних варіантів його застосування під час війни: кейси «розумного» Києва, ДТЕК та «Vodafone Україна». *Mind*. 2023. URL: <https://mind.ua/publications/20266478-internet-rechej-i-n-nadcat-nespodivanih-variantiv-jogo-zastosuvannya-pid-chas-vijni-kejsi-rozumnogo>.
6. Блокчейн у державному управлінні України як ліки від корупції, рейдерства і бюрократії: Думка експертів. *Magazine pay space*. 2023. URL: <https://psm7.com/uk/analytics/blokchejn-u-derzhavnomu-upravlinni-ukra%D1%97ni-yak-liki-vid-korupci%D1%97-rejderstva-i-byurokrati%D1%97-dumka-ekspertiv.html>.
7. Web3 Institute дослідив 5 кейсів використання блокчейну в державних сервісах України. *Fintech Insider*. 2024. URL: <https://fintechinsider.com.ua/web3-institute-doslidyv-5-kejsiv-vykorystannya-blokchejnu-v-derzhavnyh-servisah-ukrayiny>.
8. Про е-гривню – цифрові гроші Національного банку. *Національний банк України*. URL: <https://bank.gov.ua/ua/payments/e-hryvnia>.
9. ДТЕК вивчає можливість використання блокчейну в енергетиці. *Fintech insider*. 2023. URL: <https://fintechinsider.com.ua/dtek-vyvchaye-mozhlyvist-vykorystannya-blokchejnu-v-energetyzi>.
10. В Україні вперше вироблятимуть хірургічні імпланти із титанового сплаву методом 3D друку. *Економічна Правда*. 2020. URL: <https://epravda.com.ua/news/2020/12/16/669235/>.
11. Власні 3D-технології в Україні: від створення обладнання до виготовлення кінцевого продукту. *Defense express*. 2021. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/vlasni_3d_tehnologiji_v_ukrajini_vid_stvorennja_obladnannja_do_vigotovlennja_kintsevogo_produktu-4636.html.
12. Інститут Патона вперше в Україні створив 3D-принтер для виготовлення комплектуючих до турбін та авіадвигунів. *Defense express*. 2021. URL: https://defence-ua.com/news/institut_patona_vpershe_v_ukrajini_stvoriv_3d_printer_dlja_vigotovlennja_komplektujuchih_do_turbin_ta_aviadviguniv_foto-4270.html.
13. Будівельна компанія «АПІОПІРУП» та Майбутнє 3D-друку в Будівництві. *Anpiopirup*. 2024. URL: <https://apriorigroup.com.ua/2024/08/05/3d-druk-v-budsvnyctvi/>.

References

1. AI-Ecosystema Ukrainy: talanty, kompanii, osvita [AI-Ecosystem of Ukraine: Talent, Companies, Education]. Retrieved from <https://skilky-skilky.info/wp-content/uploads/2024/06/AI-ekosystema-Ukrainy-talanty-kompanii-osvita.pdf> [in Ukrainian].
2. Coase, R. (1937). The Nature of the Firm. *Economica*. Vol. 4. No. 16. pp. 386-405. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x>.
3. Pro skhvalennia Stratehii tsyfrovoi transformatsii sotsialnoi sfery: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 28 zhovtnia 2020 r. № 1353-p [On the approval of the Strategy for the Digital Transformation of the Social Sphere: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 28, 2020 No. 1353-p]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2020-%D1%80#n10> [in Ukrainian].
4. Tsyfrova transformatsiia Brovariv: zatverdzheno kontseptsiu Smart City do 2025 roku [Digital transformation of Brovary: Smart City concept approved by 2025]. (2021). *Ministry of Digital Transformation of Ukraine*. Retrieved from <https://thedigital.gov.ua/news/tsifrova-transformatsiya-brovariv-zatverdzheno-kontseptsiyu-smart-city-do-2025-roku> [in Ukrainian].
5. Internet rechei i N-nadtsat nespodivanykh variantiv yoho zastosuvannia pid chas viiny: keisy «rozumnoho» Kyieva, DTEK ta «Vodafone Ukraina» [Internet of Things and N-Nadtsatsat unsurpassed variants of its use during the war: cases of "reasonable" Kyiv, DTEK and «Vodafone Ukraine»]. (2023). *Mind*. Retrieved from <https://mind.ua/publications/20266478-internet-rechej-i-n-nadcat-nespodivanih-variantiv-jogo-zastosuvannya-pid-chas-vijni-kejsi-rozumnogo> [in Ukrainian].
6. Blokchein u derzhavnomu upravlinni Ukrainy yak lyky vid koruptsii, reiderstva i biurokratii: Dumka ekspertiv [Blockchain in Ukrainian public administration as a cure for corruption, raiding and bureaucracy: Expert opinion]. (2023). *Magazine pay space*. Retrieved from <https://psm7.com/uk/analytics/blokchejn-u-derzhavnomu-upravlinni-ukra%D1%97ni-yak-liki-vid-korupci%D1%97-rejderstva-i-byurokrati%D1%97-dumka-ekspertiv.html> [in Ukrainian].
7. Web3 Institute doslidyv 5 keisiv vykorystannia blokcheinu v derzhavnykh servisakh Ukrainy [Web3 Institute has researched 5 cases of blockchain use in Ukrainian government services]. (2024). *Fintech insider*. Retrieved from <https://fintechinsider.com.ua/web3-institute-doslidyv-5-kejsiv-vykorystannya-blokchejnu-v-derzhavnyh-servisah-ukrayiny> [in Ukrainian].
8. Pro e-hryvniu – tsyfrovi hroshi Natsionalnoho banku [About e-hryvnia – digital money of the National Bank]. *National Bank of Ukraine*. Retrieved from <https://bank.gov.ua/ua/payments/e-hryvnia> [in Ukrainian].

9. DTEK vyvchaie mozhlyvist vykorystannia blokcheinu v enerhetytsi [DTEK is studying the possibility of using blockchain in the energy sector]. (2023). *Fintech insider*. Retrieved from <https://fintechinsider.com.ua/dtek-vyvchaye-mozhlyvist-vykorystannya-blokcheinu-v-energetytsi> [in Ukrainian].

10. V Ukraini vpershe vyrobliatymut khirurhichni implanty iz tytanovoho splavu metodom 3D druku [For the first time in Ukraine, surgical implants made of titanium alloy will be produced using 3D printing]. (2020). *Ekonomichna pravda*. Retrieved from <https://pravda.com.ua/news/2020/12/16/669235/> [in Ukrainian].

11. Vlasni 3D-tekhnologii v Ukraini: vid stvorennia obladnannia do vyhotovlennia kintsevoho produktu [Own 3D technologies in Ukraine: from creating equipment to manufacturing the final product]. (2021). *Defense express*. Retrieved from https://defence-ua.com/weapon_and_tech/vlasni_3d_tehnologiji_v_ukrajini_vid_stvorennja_obladnannja_do_vygotovlennja_kintsevoho_produktu-4636.html [in Ukrainian].

12. Instytut Patona vpershe v Ukraini stvoriv 3D-prynter dlja vyhotovlennia komplektuiuchykh do turbin ta aviadvihuniv [The Paton Institute created the first 3D printer in Ukraine for the production of components for turbines and aircraft engines]. (2021). *Defense express*. Retrieved from https://defence-ua.com/news/institut_patona_vpershe_v_ukrajini_stvoriv_3d_printer_dlja_vygotovlennja_komplektujuchih_do_turbin_ta_aviadviguniv_foto-4270.html [in Ukrainian].

13. Budivelna kompaniia «APRIORHRUP» ta Maibutnie 3D-druku v Budivnytstvi [Construction company «APRIORIGROUP» and the Future of 3D Printing in Construction]. (2024). *Apriorihrup*. Retrieved from <https://apriorigroup.com.ua/2024/08/05/3d-druk-v-budsvnyctvi/> [in Ukrainian].

Сердюк О. С. Стимулювання розвитку моделей виробництва Індустрії 4.0

Аналіз досвіду впровадження технологій Індустрії 4.0 в Україні свідчить про фрагментарний, але перспективний розвиток у виробничій сфері, фінансових послугах та державному управлінні. Зокрема, блокчейн-технології вже застосовуються для реєстрації цифрових активів, підвищення прозорості державних закупівель і боротьби з корупцією.

Для стимулювання широкомасштабного впровадження технологій Індустрії 4.0 запропоновано концепцію крауд-інвестингової платформи. Вона передбачає використання Інтернету речей для збору виробничо-фінансових даних на смарт-підприємствах, їхню подальшу обробку за допомогою штучного інтелекту та збереження в блокчейні. Це забезпечить потенційним інвесторам оперативний і прозорий доступ до інформації про виробничі процеси, що підвищить рівень довіри та сприятиме залученню інвестицій у реальний сектор економіки.

Ключові слова: Індустрія 4.0, штучний інтелект, Інтернет речей, 3D-друк, блокчейн.

Serdiuk O. Stimulating the Development of Industry 4.0 Production Models

Analysis of the experience of implementing Industry 4.0 technologies in Ukraine indicates fragmented but promising development in the manufacturing sector, financial services and public administration. In particular, blockchain technologies are already being used to register digital assets, increase transparency in public procurement and fight corruption.

To stimulate the large-scale implementation of Industry 4.0 technologies, a concept of a crowdinvesting platform has been proposed. It involves using the Internet of Things to collect production and financial data at smart enterprises, their further processing using artificial intelligence and storage in the blockchain. This will provide potential investors with prompt and transparent access to information about production processes, which will increase the level of trust and help attract investments in the real sector of the economy.

Keywords: Industry 4.0, artificial intelligence, Internet of Things, 3D printing, blockchain.

Стаття надійшла до редакції 26.02.2025
Рецензовано: 12.03.2025