

Гришко Н.Є.,
канд. екон. наук, доцент, доцент кафедри економіки,
Солодков Д.Є.,
здобувач* третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,
Гришко В.М.,
здобувач** третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗУМНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ПРОМИСЛОВИХ МАЛИХ І СЕРЕДНІХ ПІДПРИЄМСТВАХ: ПЕРЕВАГИ ТА ОБМЕЖЕННЯ

Hryshko N.Ye.,
cand.sc.(econ.), assoc. prof., associate professor
of economics department,
Solodkov D.Ye.,
PhD student,
Hryshko V.M.
PhD student,
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

SPECIFICS OF IMPLEMENTING SMART MANUFACTURING IN INDUSTRIAL SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES: BENEFITS AND LIMITATIONS

Постановка проблеми. Одним із перших етапів промислової автоматизації є автоматизація управління та обробки даних. В результаті цифровізації виробництва об'єм даних, що генеруються підприємствами, суттєво зростає й виникає проблема обмеженості обчислювальних ресурсів, що ускладнює автоматизацію й робить її, як і подальшу цифровізацію, необґрунтовано витратними для підприємств. Цю проблему вирішує, а також створює додаткові, раніше неможливі або надзвичайно витратні у промислових масштабах переваги, комплекс технологій: промисловий інтернет речей, нейронні мережі на базі штучного інтелекту та технологія блокчейну. В сукупності дані технології формують фундамент для так званого розумного виробництва – використання комп'ютерно-інтегрованого виробництва, досягнення високого рівня адаптивності та швидких змін дизайну, використання цифрових інформаційних технологій та більш гнучку технічну підготовку робочої сили.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню розумного виробництва в цілому присвячено багато праць іноземних дослідників. Зокрема, питання комплексного впровадження технології блокчейну, інтернету речей та штучного інтелекту з побудовою відповідної технічної моделі дослідили Абдулла Аюб Хан та Асіф Алі Лагарі [1]. Вплив окремо технології блокчейну на адаптацію індійських малих і середніх підприємств на міжнародному ринку дослідили Сандіп Ракшит та Назрул Іслам [2]. Переваги від впровадження систем розумного виробництва малими і середніми промисловими підприємствами під час активної фази пандемії COVID-19 дослідили Джастіс Акпан і Пол Удо [3]. Позитивні наслідки застосування розумного виробництва на китайських підприємствах у цілому дослідили Жай Пен і Джинша Хе [4]. Дослідженням основної технології розумного виробництва і економічний вплив від її впровадження досліджували Олександр Мюф, Деніал Кіль, Хаді Каземі та інші. Актуальність теми дослідження обумовлюється недостатністю дослідження економічних переваг від комплексного впровадження основних технологій розумного виробництва на малих і середніх підприємствах.

Постановка завдання. Метою статті є визначення механізмів вирішення технологічних і технічних обмежень управління даними при автоматизації виробничого процесу на промислових підприємствах, а також економічних переваг та обмежень, що створює впровадження розумного

* Науковий керівник: Гришко Н.Є. – канд. екон. наук, доцент

** Науковий керівник: Маслак О.І. – д-р. екон. наук, професор

виробництва на малих і середніх промислових підприємствах. Для досягнення мети поставлено наступні завдання: аналіз результатів впровадження відповідних технологій на промислових підприємствах; дослідження вирішених раніше існуючих технологічних і технічних обмежень за допомогою впровадження даних технологій; узагальнення прямих і непрямих економічних переваг від вирішення існуючих технічних і технологічних обмежень на виробництві в контексті обробки даних та отриманих додаткових економічних переваг, що підвищують конкурентоздатність промислових підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розумне виробництво стало окремою великою індустрією технологічних інновацій. Загальний обсяг ринку розумного виробництва на 2022 рік становив близько 226,3 млрд доларів США із прогнозованим середньорічним зростанням в 16 % з 2023 по 2032 роки. Таким чином, вже у 2032 році загальний обсяг даного ринку має становити близько 985,5 млрд доларів США. Лідуючим на глобальному ринку розумного виробництва є Азійсько-тихоокеанський регіон із часткою в 37 % станом на 2022 рік [5] (рис. 1).

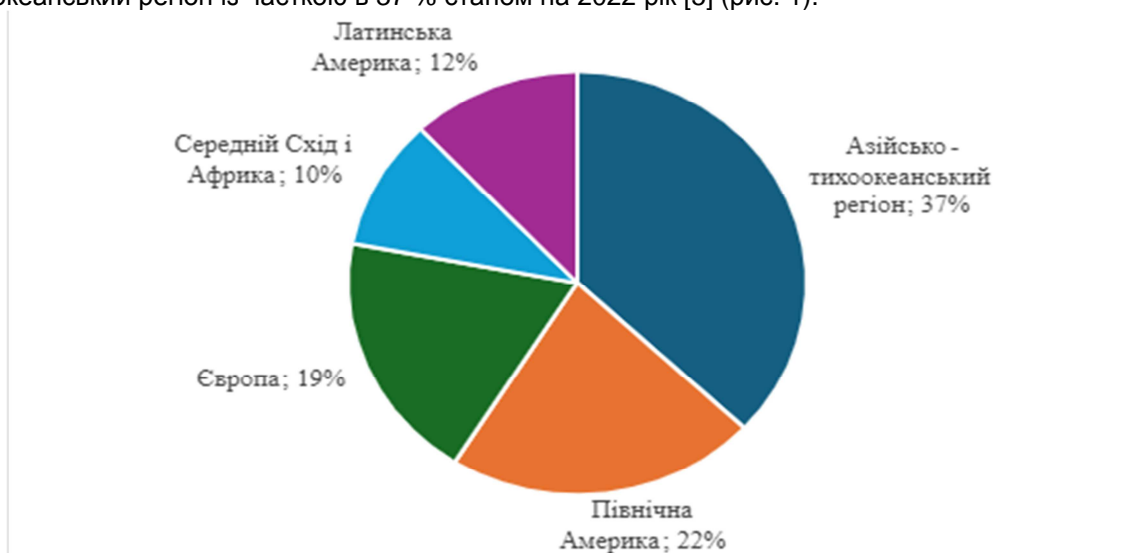


Рис. 1. Розподіл ринку розумного виробництва за регіонами світу

Джерело: [5]

Найбільшу частку на ринку займає сегмент 3D друку, а в якості індустрії-лідера по впровадженню технологій розумного виробництва у 2022 році постає автомобілебудування. За оцінками, найбільший внесок у подальше зростання індустрії продукують аерокосмічний, оборонний та автомобілебудівний сегменти [5]. Це пояснюється впровадженням автономних транспортних засобів й інших передових систем допомоги водію/пілоту.

Дослідження Оцидента Бонгоміна і Арегаві Ємана, наприклад, вказують на те, що основні технології розумного виробництва, зокрема блокчейн, інтернет речей та штучний інтелект, справили значний вплив на промислові сектори. Одним із способів оцінити цей вплив, який використали деякі дослідники, – виявлення нових термінів в промислових секторах, пов'язаних із технологіями 4.0. В рамках зазначеного дослідження було виявлено 99 нових термінів, пов'язаних з розумним виробництвом в сферах освіти, енергетики, сільського господарства, охорони здоров'я та логістики [6].

Інше дослідження, зокрема, Сандіпа Ракшита і Назрула Іслама, вказує на значимість технології блокчейну для виходу хай-тек малих і середніх підприємств (МСП) на міжнародний ринок. Це реалізується, зокрема, за рахунок автоматизації та покращення аспекту безпеки корпоративної діяльності, зокрема виконання смарт-контрактів в рамках блокчейну та здійснення фінансових транзакцій. При цьому дослідниками підкреслюється, що дана оптимізація є актуальною для будь-яких МСП і, навіть, деяких великих підприємств, що здійснюють зовнішньоекономічну діяльність, B2C чи B2B, на міжнародному ринку незалежно від їх спеціалізації [2].

В дослідженні Ікпе Джастіса, присвяченому особливостям діяльності технологічних МСП під час колдауну внаслідок пандемії вірусу SARS-CoV-2, у країнах, що розвиваються, наголошується, що комплексне впровадження технологій Інтернету речей і дата-аналітики дозволило підприємствам покращити операції і процеси як у виробничому, так і в секторі послуг. Також підкреслюється, що впровадження даних технологій під час локдауну внаслідок пандемії вірусу SARS-CoV-2 призвело до розробки нових бізнес-моделей, скорочення накладних витрат, підвищення конкурентних переваг і суттєво прискорило цифровізацію бізнес-операцій МСП [3].

Інтеграція інформаційних систем і фізичних систем є тенденцією розвитку сучасної промисловості. Розумне виробництво – це нова модель виробництва, заснована на передових виробничих технологіях із спільним використанням людини, машини і матеріалу. Технологія Інтернету речей (IoT) є основною технологією розумного виробництва, а технологія контролю доступу є одним із основних заходів забезпечення безпеки IoT. Оскільки розумне виробництво є продуктом із високим

рівнем інтеграції IoT, великих даних, блокчейну, штучного інтелекту та передових виробничих технологій, воно допомагає реалізувати інтелектуальність усього процесу, від розробки продукту до виробництва, і сприяє безперервній модернізації виробничої галузі. Промислові IoT є важливою частиною розумного виробництва, що надають, завдяки мережевому з'єднанню, спроможність спільної роботи із механічним обладнанням. Саме завдяки цьому підприємства можуть збирати дані з усього процесу генерації для аналізу та обробки в реальному часі, а також для візуалізації процесу. Збір, передача та зберігання великих обсягів даних IoT забезпечує інтелектуальні виробничі можливості, але також створює ризики для безпеки. IoT – це не проста комбінація датчиків, комунікаційних інтерфейсів і комунікаційних пристроїв, а безліч інструментів і пристроїв у різних мережах і сферах, які взаємопов'язані та співпрацюють [4].

Важливу роль в системі розумного виробництва також відіграє технологія блокчейну. Технологія розподіленого реєстру була широко застосована в різних середовищах малих і середніх підприємств, щоб уникнути фальсифікації та підробки даних. Таким чином, впроваджений блокчейн дозволяє МСП захищати свої запущені системи та ієрархію процесів, щоб реалізувати цілісність, прозорість, відстежуваність, походження, надійність і доступ до реєстру через розподілену програму (DApp). З розвитком блокчейну розподілені загальнодоступні мережі, інтегровані з штучним інтелектом, забезпечують легкий механізм аутентифікації, який зменшує вартість обчислювальних ресурсів, а також пропускну здатність мережі та зберігання [1].

Для поєднання роботи нейронних мереж на базі штучного інтелекту і блокчейну МСП інтегрують підхід спільної роботи AI-blockchain, що допомагає захистити ієрархію процесів, підтримувати стратегію орієнтації на клієнта, шифрувати обмін інформацією між клієнтами та екосистемою, захищені розподілені міжвузлові транзакції, взаємодію платформ та незмінність зберігання. Крім того, окрема подія транзакції вузла зберігається перед належною перевіркою та перевіркою за допомогою ланцюжкових кодів (розумні контракти).

Поєднання роботи всіх трьох основних технологій розумного виробництва дозволяє оптимізувати весь процес виробництва та обміну даних як на самому підприємстві, так і при взаємодії підприємства із зовнішніми стейкхолдерами. На базі розробок із впровадження штучного інтелекту, промислового інтернету речей і технології блокчейну на виробничих МСП в рамках їх цифровізації на рис. 2 запропоновано концептуальну модель оптимізації програмно-апаратного забезпечення МСП для обробки даних підприємства.

Модель передбачає оптимізацію швидкості та конфіденційності взаємодії зі стейкхолдерами підприємства та між його виробничими підрозділами в єдиному інформаційно-аналітичному середовищі. Результатом впровадження вищезгаданих технологій є зниження споживання обчислювальних ресурсів та витрат часу на автоматизацію обробки та аналізу даних, а, зокрема, завдяки комплексному впровадженню промислового інтернету речей і блокчейну – більш ефективно забезпечення конфіденційності та безпеки даних під час здійснення транзакцій між вузлами в системі промислового інтернету речей. В основі вирішення існуючих технологічних проблем – запропонована [1] стандартна ієрархія процесів для управління відносинами з клієнтами на безпечному рівні. Це досягається за рахунок розподіленої структури за підтримкою блокчейну та штучного інтелекту.

Дана концептуальна модель ілюструє як впровадження базових технологій розумного виробництва у їх поєднанні (нейронних мереж на базі штучного інтелекту, технології блокчейн та інтернету речей) вирішує існуючі проблеми, пов'язані з обробкою зростаючих масивів даних. Зростання споживання обчислювальних ресурсів внаслідок зростання чисельності стейкхолдерів і, відповідно, кількості транзакцій, призводить до основного обмеження – перенавантаження централізованої серверної інфраструктури.

Проблема вирішується оптимізацією швидкості обліку і обробки транзакцій за рахунок впровадження штучних нейронних мереж в рамках нової архітектури серверної інфраструктури.

Раніше існуючі проблеми аутентифікації стейкхолдерів та сумісності платформ, які тільки посилювали внаслідок збільшення кількості транзакцій, та які також призводять до перенавантаження існуючої серверної інфраструктури, вирішуються використанням технології відкритого блокчейну, що дозволяє спростити реєстрацію учасників та їх транзакцій, а також суттєво оптимізувати та автоматизувати аналіз та виконання транзакцій за рахунок смарт-контрактів. В результаті такої програмно-апаратної оптимізації серверної інфраструктури також забезпечуються більш ефективно конфіденційність та безпека партнерських обмінів даних. Це своєю чергою надає підприємству таку нематеріальну економічну перевагу, як довіра зовнішніх стейкхолдерів, та посилює імідж бренду.

Штучний інтелект, промисловий інтернет речей і технологія блокчейну стали важливим комплексом технологічних інновацій на промислових підприємствах. Дані технології дозволяють МСП залишатися конкурентоспроможними на ринку за рахунок забезпечення їх гнучкості. Гнучкість, зокрема, досягається у вирішенні одразу двох центральних питань економіки – що виробляти і для кого виробляти. Оскільки в сучасних ринкових умовах спостерігається надлишок продукції, споживач надає перевагу кастомізованим (індивідуальним) товарам, але при цьому не бажає за них суттєво переплачувати. Вирішення цієї проблеми за рахунок впровадження вищезгаданих технологій зображено на рис. 3.

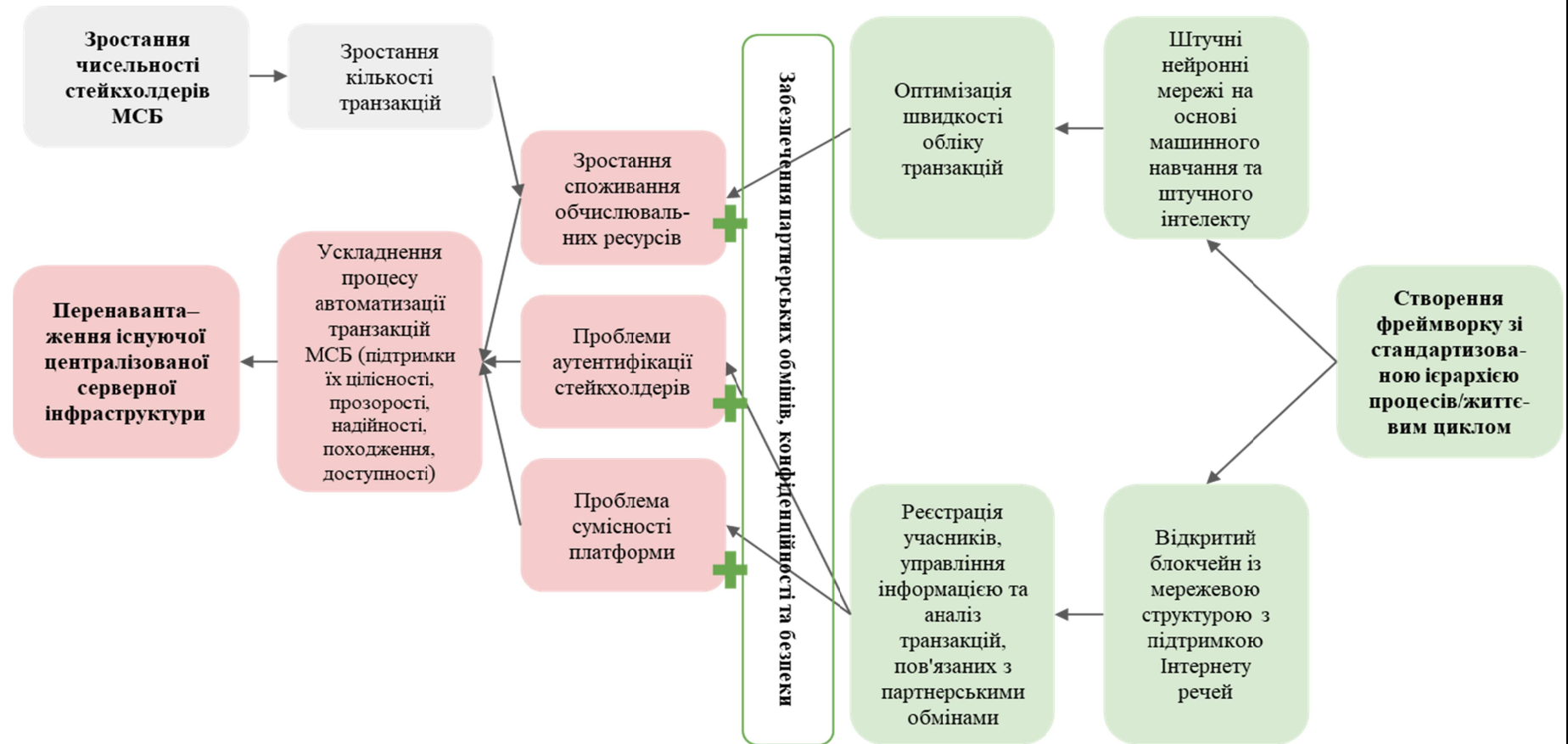


Рис. 2. Концептуальна модель оптимізації програмно-апаратного забезпечення МСП для обробки даних підприємств
Джерело: авторська розробка на основі [1]

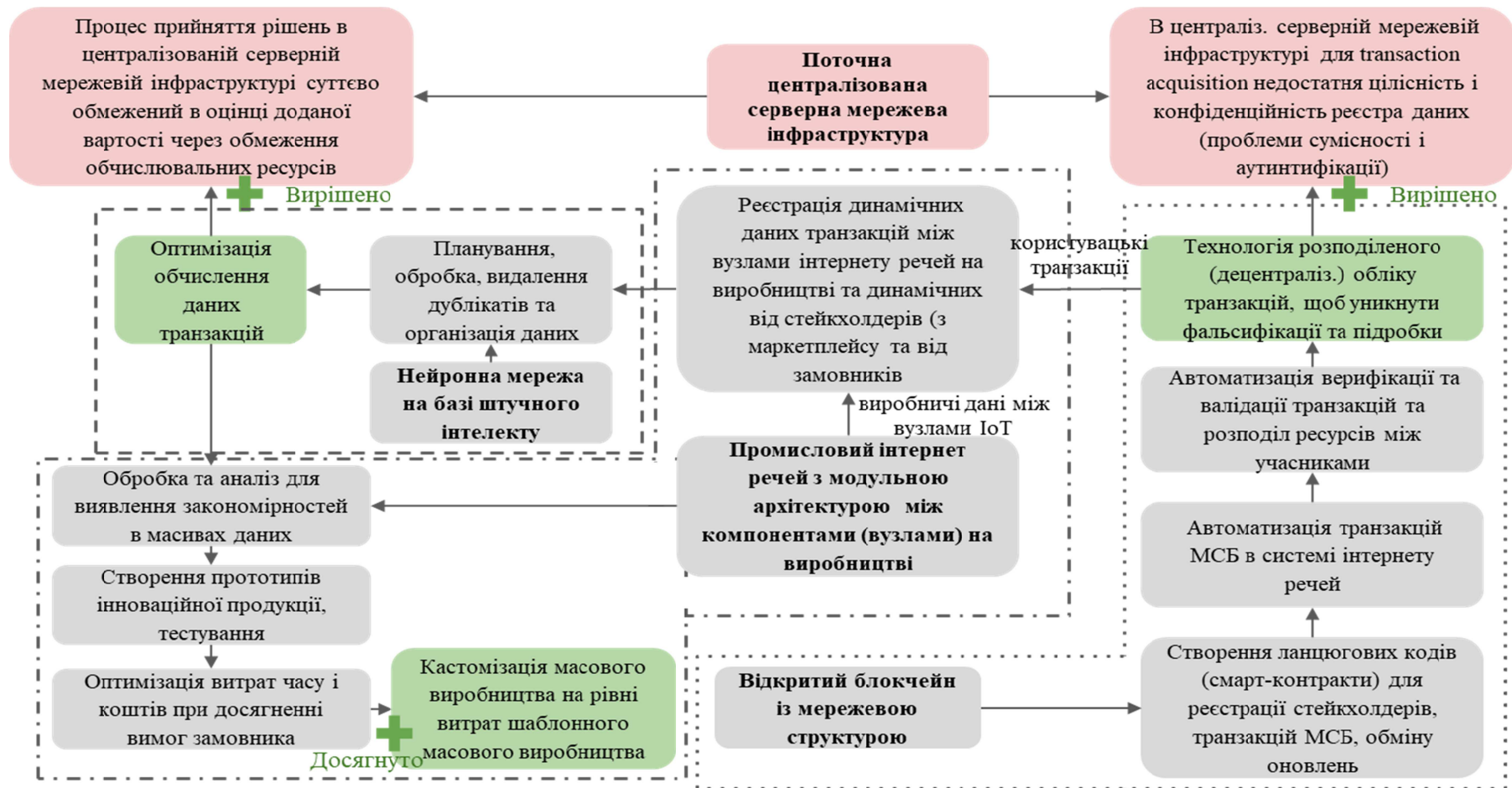


Рис. 3. Схема оптимізації виробництва у напрямку кастомізації продукції та вирішення існуючих технологічних проблем за рахунок впровадження комплексу технологій промислового інтернету речей, блокчейну і нейронних мереж на базі штучного інтелекту

Джерело: авторська розробка на основі [1]

Оскільки дані та ефективність їх обробки відіграють ключову роль у прийнятті своєчасних рішень, зокрема, на виробництві, стає очевидною позитивна роль даного комплексу технологій у розумному виробничому процесі. При цьому також відображається вирішення технологічних обмежень з обробки даних, що існували при централізованій серверній мережевій інфраструктурі.

Дана модель дозволяє побачити як впровадження основних технологій розумного виробництва вирішує існуючі проблеми та створює нові можливості. Зокрема, вирішуються вже раніше згадані проблеми обмеженості обчислювальних ресурсів, а також проблеми сумісності і аутентифікації, пов'язані із застарілою централізованою серверною мережевою інфраструктурою.

Основною перевагою, тобто новою економічною можливістю, є можливість кастомізувати продукцію під запити окремих замовників. Це досягається за рахунок автоматизації збору та аналізу транзакцій (в даному випадку, замовлень), дані яких надходять до виробничих засобів в рамках промислового інтернету речей. Обмін вже виробничими, «технічними» транзакціями між останніми дозволяє автоматизувати сам процес виготовлення продукції. Потрібно зазначити, що в залежності від спеціалізації підприємства, даний автоматизований процес виробництва може вимагати додаткових засобів виробництва. Частіше за всього таким засобом виступає зокрема 3D принтер.

Кастомізація виробництва визначається як перша і основна економічна перевага розумного виробництва. Прикладом масової кастомізації, як наслідку впровадження розумного виробництва, є швейна промисловість, де швейні фірми використовують машини з комп'ютерним керуванням для розкрою тканини, яка відповідає індивідуальним параметрам замовника [7].

Іншим, більш технологічним прикладом, є компанія Dell. Компанія комп'ютерних технологій Dell підтримує тісні стосунки зі своїми клієнтами та постачальниками. Підприємство збирає інформацію про персоналізацію від клієнтів через Інтернет і дозволяє їм вибрати бажані конфігурації онлайн. Компанія також швидко налаштовує та збирає деталі. Завдяки своїй модульності та веб-функціям обробки замовлень Dell успішно виконує made-to-order замовлення [8]. Суттєвий крок вперед в цьому напрямку зробило німецьке бізнес-ком'юніті. Наприклад, у рамках технологічної ініціативи SmartFactoryKL розроблено інноваційну виробничу лінію, яка повністю модульна та дозволяє здійснювати самонастроювану інтеграцію нових виробничих модулів. Окрім того, взаємодія між великою кількістю окремих «розумних» компонент розумного виробництва дозволить напрацювати рішення, які наразі є неможливими за звичайної автоматизації виробництва [9].

Як було зазначено раніше, збір, передача та зберігання великих обсягів даних IoT також створює ризики для безпеки даних. Тому важливо приділити увагу аспекту регулювання розумного виробництва. По-перше, необхідно виділити ключові елементи управління інформацією, що є базою для розумного виробництва – це технічні стандарти, кібербезпека, конфіденційність даних, цифрова торгівля і штучний інтелект [10]. Відповідно, основні нормативно-правові акти, що регулюють розумне виробництво, першочергово стосуються регулювання обміну даних. Наприклад, Загальний регламент захисту даних (GDPR) Європейського союзу (ЄС), який набув чинності 25 травня 2018 року, впливає далеко за рамки впливу його держав-членів і викликає зміни у практиці світових виробників.

Інший важливий аспект обміну даних – цифрова торгівля. Цифрова торгівля – це широке поняття, яке охоплює потоки даних у глобальних ланцюгах створення вартості, послуги, що забезпечують розумне виробництво, а також інші платформи та програми. У міру того, як країни створюють політику на користь своїх внутрішніх галузей промисловості, міжнародні суперечки щодо цифрової торгівлі ставатимуть все більш частими та значними. Положення, що регулюють цифрову торгівлю, можна побачити в нових торгових угодах, таких як Всеосяжна та прогресивна угода про транстихоокеанське партнерство, угода про вільну торгівлю між 11 країнами Азіатсько-Тихоокеанського регіону [10].

При цьому нормативно-правові акти і закони окремих країн виконують функції не лише обмежувальних, але й стимулюючих розвитку власного національного розумного виробництва (табл. 1). Дослідження трьох провідних країн-виробників виявляє дуже різні підходи до інтелектуального виробництва та управління інформацією. Відображаючи роль уряду щодо свого виробничого сектору, можна виділити керований підхід (Китай), скоординований підхід (Німеччина) і ринковий підхід (США).

Таблиця 1

Порівняння підходів найбільших країн-виробників до управління та стимулювання розвитку розумного виробництва

Країна	Мотивація	Підхід	Характеристика	Акти та закони	Основні недоліки
1	2	3	4	5	6
Сполучені Штати	Боротьба з ерозією «Промислового суспільства»	Ринковий	Перевага лідерству приватного сектора Небажання нав'язувати обмеження	Manufacturing USA cybersecurity framework revised NAFTA	Як наслідок – поступка лідерства у глобальній політиці іншим країнам

продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
Німеччина	Втримати історично лідируючі позиції у промисловості	Скоординований	Активна роль держави Значний внесок від всіх стейкхолдерів	Industrie 4.0 General Data Protection Regulation Network Information Security Directive	Хай-тек сектор Німеччини не може конкурувати зі США та Китаєм
Китай	Запобігти потраплянню в пастку середнього доходу	Керований	Затверджені цілі з виробництва Заходи для стимулювання китайських підприємств Індивідуальні права, підпорядковані національним цілям	Made in China 2025 Cybersecurity law AI plan	Залежність від іноземних технологій та інвестицій
Україна	Оновлення виробничої інфраструктури, побудованої за радянських часів	Відсутній розроблений підхід, де-факто ринковий	Ініціатива знаходиться повністю на стороні приватного сектору Сфера залишається нерегульованою	Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» [11] Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні» [12]	Закони містять лише загальні норми, що стосуються ІТ галузі в цілому, але є недостатніми для реулювання систем розумного виробництва Нестача інвестицій для впровадження систем

Джерело: систематизовано та доповнено за [10; 11; 12]

В Україні відсутні спеціальні заходи чи закони для стимулювання та регулювання розумного виробництва. Але важливість інноваційної діяльності в цілому для України, куди підпадає і концепція розумного виробництва, підкреслюється численними програмами підтримки інноваційних підприємств, як від українського уряду, так і від Європейського Союзу. Найбільшим проектом, до якого мали можливість долучитися українські організації, був «Horizon 2020», що діяв протягом 2014–2020 рр.; 50,8 % коштів (16,18 млн євро), виділених для України, були отримані середніми і малими підприємствами інноваційної діяльності [13]. При цьому в червні 2022 року Україною була ратифікована угода про участь у програмі «Horizon 2021–2027» із загальним бюджетом в 95,5 млрд євро [14; 15].

Висновки з проведеного дослідження. Підсумовуючи переваги впровадження систем розумного виробництва, можна зазначити, що, по-перше, таке впровадження є доцільним для більш високотехнологічних підприємств, наведених у прикладах, оскільки в такому випадку витрати на впровадження виправдані науко- та трудомісткістю продукції.

По-друге, вирішення зазначених технологічних обмежень (обмеженості обчислювальних ресурсів, а також проблеми сумісності і аутентифікації) та досягнення можливості кастомізації продукції при зберіганні тих самих витрат на собівартість вже стало не додатковою перевагою виробника, а умовою конкурентоздатності підприємства, принаймні МСП, які конкурують з технологічними гігантами на розвинутих ринках.

Тим не менш, подальші технологічні впровадження мають бути зосереджені на вирішенні проблеми складності інтеграції таких систем з існуючими на підприємствах системами, що часто є стримуючим для впровадженням фактором. З боку держави, зокрема в Україні, необхідно є розробка більш ефективних механізмів захисту даних і правил використання технології блокчейну.

Література

1. The collaborative role of blockchain, artificial intelligence, and industrial internet of things in digitalization of small and medium-size enterprises / A.A. Khan, A.A. Laghari, P. Li, M.A. Dootio, S. Karim. *Sci Rep* 13. 2023. 1656. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28707-9>

2. Rakshit S., Islam N. Influence of blockchain technology in SME internationalization: Evidence from high-tech SMEs in India. *ScienceDirect*. 2022. Vol. 115. 102518. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497222000657?via=ihub>. (дата звернення: 01.02.2024).
3. Justice Akpan I., Paul Udoh E. A., Adebisi B. Small business awareness and adoption of state-of-the-art technologies in emerging and developing markets, and lessons from the COVID-19 pandemic. *Journal of Small Business & Entrepreneurship*. 2022. Vol. 34, no. 2. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08276331.2020.1820185?scroll=top&needAccess=true>. (дата звернення: 03.02.2024).
4. Zhai Peng, Jingsha He, Nafei Zhu. Blockchain-Based Internet of Things Access Control Technology in Intelligent Manufacturing. *Applied Sciences*. 2022. Volume: 12, no. 7: 3692. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12073692>
5. Smart Manufacturing Market 2023-2032. Precedence Research: web site. URL: <https://www.precedenceresearch.com/smart-manufacturing-market>. (дата звернення: 11.02.2024).
6. Industry 4.0 Disruption and Its Neologisms in Major Industrial Sectors: A State of the Art / Ocident Bongomin, Aregawi Yemane, Brendah Kembabazi, Clement Malanda, Mwewa Chikonkolo Mwape, Nonsikelelo Sheron Mpfu, Dan Tigelana. *Journal of Engineering*. Volume 2020. Article ID 8090521. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8090521>
7. Mass Customization: The use of standardization and scale economies to deliver wide-market goods and services tailored to suit specific customer's requirements. Corporate Finance Institute: web site. URL: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/management/mass-customization/> (дата звернення: 04.02.2024).
8. What Is Mass Customization? Wall Street Mojo: web site. URL: <https://www.wallstreetmojo.com/mass-customization/>. (дата звернення: 04.02.2024).
9. Скіцько В. І. Індустрія 4.0 як промислове виробництво майбутнього. *Інвестиції: практика та досвід*. 2016. № 5. С. 33-40. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ipd_2016_5_8. (дата звернення: 06.02.2024).
10. Who Will Set the Rules for Smart Factories? Issues in Science and Technology: web site. URL: <https://issues.org/who-will-set-the-rules-for-smart-factories/>. (дата звернення: 12.02.2024).
11. Про основні засади забезпечення кібербезпеки України : Закон України від 05.10.2017 р. № 2163-VIII. *Відомості Верховної Ради*. 2017. № 45. Стаття 403.
12. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 02.12.2020 р. № 1556-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text> (дата звернення: 12.02.2024).
13. Горизонт 2020. Міністерство освіти і науки України: веб сайт. URL: <https://mon.gov.ua/ua/ nauka/yevrointegraciya/ramkovi-programi-z-doslidzhen-ta-innovacij-gorizont-2020-ta-gorizont-yevropa-ta-iniciativi-yevropejskoji-komisiyi-yevropejskij-zelenij-kurs/gorizont-2020> (дата звернення: 19.02.2024).
14. Програма ЄС «Горизонт Європа» 2021-2027. Дія.Бізнес: веб сайт. URL: <https://business.diaa.gov.ua/horizon-europe> (дата звернення: 12.02.2024).
15. Ukraine's association agreement to Horizon Europe and Euratom Research and Training Programmes enters into force. Research and innovation: web site. URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/ukraines-association-agreement-horizon-europe-and-euratom-research-and-training-programmes-enters-2022-06-09_en (дата звернення: 12.02.2024).

References

1. Khan, A.A., Laghari, A.A., Li, P., Dootio, M.A. and Karim, S. (2023), "The collaborative role of blockchain, artificial intelligence, and industrial internet of things in digitalization of small and medium-size enterprises", *Sci Rep* 13, 1656, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28707-9>
2. Rakshit, S. and Islam, N. (2022), "Influence of blockchain technology in SME internationalization: Evidence from high-tech SMEs in India", *ScienceDirect*, Vol. 115. 102518, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497222000657?via=ihub> (access date February 1, 2024).
3. Justice, Akpan I., Paul, Udoh E.A. and Adebisi, B. (2022), "Small business awareness and adoption of state-of-the-art technologies in emerging and developing markets, and lessons from the COVID-19 pandemic", *Journal of Small Business & Entrepreneurship*, Vol. 34, no. 2, available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08276331.2020.1820185?scroll=top&needAccess=true>. (access date February 1, 2024).
4. Zhai, Peng, Jingsha, He, and Nafei, Zhu (2022), "Blockchain-Based Internet of Things Access Control Technology in Intelligent Manufacturing", *Applied Sciences*, Volume 12, no. 7: 3692. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12073692>
5. Smart Manufacturing Market 2023-2032. Precedence Research: web site. available at: <https://www.precedenceresearch.com/smart-manufacturing-market>. (access date February 11, 2024).

6. Ocident, Bongomin, Aregawi, Yemane, Brendah, Kembabazi, Clement, Malanda, Mwewa Chikonkolo Mwape, Nonsikelelo Sheron Mpfu and Dan Tigalana (2020), "Industry 4.0 Disruption and Its Neologisms in Major Industrial Sectors: A State of the Art", *Journal of Engineering*, Vol. 2020, Article ID 8090521, DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8090521>

7. Corporate Finance Institute (2024), "Mass Customization: The use of standardization and scale economies to deliver wide-market goods and services tailored to suit specific customer's requirements", available at: URL: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/management/mass-customization/>. (access date February 4, 2024).

8. Wall Street Mojo (2024), "What Is Mass Customization?", available at: <https://www.wallstreetmojo.com/mass-customization/> (access date February 4, 2024).

9. Skitsko, V.I. (2016), "Industry 4.0 as an Industrial Production of the Future", *Investytsii: praktyka ta dosvid*, no 5, pp. 33-40, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ipd_2016_5_8. (access date February 6, 2024).

10. Issues in Science and Technology (2024), "Who Will Set the Rules for Smart Factories?", available at: <https://issues.org/who-will-set-the-rules-for-smart-factories/> (access date February 12, 2024).

11. The Verkhovna Rada of Ukraine (2017), The Law of Ukraine on the basic principles of ensuring cyber security of Ukraine № 2163-VIII, *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, no. 45, Article 403.

12. Cabinet of Ministers of Ukraine (2020), Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On the Approval of the Concept of the Development of Artificial Intelligence in Ukraine" dated 02.12.2020 No. 1556-p., available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text> (access date February 12, 2024).

13. Ministry of Education and Science of Ukraine (2020), Horizon 2020, available at: <https://mon.gov.ua/ua/nauka/yevrointegraciya/ramkovi-programi-z-doslidzhen-ta-innovacij-gorizont-2020-ta-gorizont-yevropa-ta-iniciativi-yevropejskoyi-komisiyi-yevropejskij-zelenij-kurs/gorizont-2020> (access date February 19, 2024).

14. Diia.Business (2020), "EU program "Horizon Europe" 2021-2027", available at: <https://business.diia.gov.ua/horizon-europe> (access date February 12, 2024).

15. Research and innovation (2022), "Ukraine's association agreement to Horizon Europe and Euratom Research and Training Programmes enters into force", available at: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/ukraines-association-agreement-horizon-europe-and-euratom-research-and-training-programmes-enters-2022-06-09_en (access date February 12, 2024).

Гришко Н.Є., Солодков Д.Є., Гришко В.М.

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗУМНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ПРОМИСЛОВИХ МАЛИХ І СЕРЕДНІХ ПІДПРИЄМСТВАХ: ПЕРЕВАГИ ТА ОБМЕЖЕННЯ

Мета. Визначення механізмів вирішення технологічних і технічних обмежень управління даними при автоматизації виробничого процесу на промислових підприємствах, а також економічних переваг та обмежень, що створює впровадження розумного виробництва на малих і середніх промислових підприємствах.

Методика дослідження. Теоретичною і методологічною основою дослідження є наукові праці провідних вчених та підприємців-практиків щодо особливостей та технології впровадження розумного виробництва на промислових підприємствах. У процесі дослідження використано такі загальнонаукові методи: порівняння – для дослідження підходів найбільших країн-виробників до управління та стимулювання розвитку розумного виробництва; аналізу – для аналізу стану впровадження розумного виробництва на малих і середніх промислових підприємствах; абстрактно-логічний – для висловлювань власних припущень та формулювання висновків, графічний – для наочного ілюстрування концептуальної моделі оптимізації програмно-апаратного забезпечення МСП для обробки даних підприємств.

Результати дослідження. Встановлено, що провідні технології, що формують систему розумного виробництва – промисловий Інтернет речей, нейронні мережі на базі штучного інтелекту та технологія блокчейну – вирішують наступні технологічні обмеження, що існували за централізованої серверної інфраструктури: перенавантаження інфраструктури внаслідок зростання споживання обчислювальних ресурсів (вирішено в результаті оптимізації швидкості обліку транзакцій за рахунок впровадження штучних нейронних мереж на основі штучного інтелекту); проблеми аутентифікації стейкхолдерів та сумісності платформ (вирішено в результаті автоматизації реєстрації учасників, транзакцій та в результаті автоматизації виконання транзакцій за рахунок смарт-контрактів в рамках технології відкритого блокчейну); недостатня цілісність і конфіденційність реєстра даних як наслідок проблеми сумісності і аутентифікації (вирішено за рахунок технології розподіленого обліку транзакцій (блокчейн), що дозволяє уникнути фальсифікації та підробки даних). З'ясовано, що основною економічною перевагою в результаті впровадження зазначених технологій в рамках системи розумного виробництва є можливість масової кастомізації виробництва на рівні або майже на рівні

витрат шаблонного масового виробництва. Уточнено, що дані технології є доцільними для впровадження високотехнологічними промисловими підприємствами, що виробляють продукцію з високою доданою вартістю.

Наукова новизна результатів дослідження. Набули подальшого розвитку теоретичні аспекти встановлення прямих та непрямих економічних переваг від впровадження системи розумного виробництва на промислових малих і середніх підприємствах, підходи до оптимізації виробництва у напрямку кастомізації продукції.

Практична значущість результатів дослідження. Сформульовані підходи та рекомендації щодо вирішення проблем, пов'язаних із обробкою даних при автоматизації процесу виробництва - як комплексу технологічних обмежень, а також підхід щодо вирішення технологічних обмежень виготовлення кастомізованої продукції можуть бути використані на інноваційноорієнтованих промислових підприємствах, зокрема, середніх та малих.

Ключові слова: розумне виробництво, малі та середні підприємства, промисловий інтернет речей, штучний інтелект, технологія блокчейну, автоматизація, виробництво, обробка даних.

Hryshko N.Ye, Solodkov D.Ye, Hryshko V.M.

SPECIFICS OF IMPLEMENTING SMART MANUFACTURING IN INDUSTRIAL SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES: BENEFITS AND LIMITATIONS

Purpose. The aim of the article is to determine the mechanisms for solving the technological and technical limitations of data management during the automation of the production process at industrial enterprises, as well as the economic advantages and limitations created by the introduction of smart production at small and medium-sized industrial enterprises.

Methodology of research. The theoretical and methodological basis of the research is the scientific works of leading scientists and practicing entrepreneurs regarding the features and technology of implementing smart production at industrial enterprises. The following general scientific methods were used in the research process: comparison – to study the approaches of the largest producing countries to the management and stimulation of the development of smart production; analysis and synthesis – to analyse the state of implementation of smart production at small and medium-sized industrial enterprises; abstract and logical – for expressing own assumptions and formulating conclusions, graphic – for visual illustration of the conceptual model of optimization of software and hardware of SMEs for data processing of enterprises.

Findings. It has been established that the leading technologies forming the system of smart production - the industrial Internet of Things, neural networks based on artificial intelligence and blockchain technology – solve the following technological limitations that existed under the centralized server infrastructure: infrastructure overload due to the increase in the consumption of computing resources (solved as a result of optimization the speed of transaction accounting due to the introduction of artificial neural networks based on artificial intelligence); problems of stakeholder authentication and platform compatibility (solved as a result of automating registration of participants, transactions and as a result of automating the execution of transactions due to smart contracts within the framework of open blockchain technology); insufficient integrity and confidentiality of the data register as a result of compatibility and authentication problems (solved due to the technology of distributed accounting of transactions (blockchain), which allows to avoid falsification of data). It was found that the main economic advantage as a result of the implementation of the mentioned technologies within the framework of the smart production system is the possibility of mass customization of production at the level or almost at the level of the costs of standard mass production. It is specified that these technologies are appropriate for implementation by high-tech industrial enterprises producing products with high added value.

Originality. The theoretical aspects of establishing direct and indirect economic benefits from the implementation of a smart production system at industrial small and medium-sized enterprises, approaches to optimizing production in the direction of product customization have gained further development.

Practical value. Formulated approaches and recommendations for solving problems related to data processing during the automation of the production process - as a set of technological limitations, as well as an approach for solving technological limitations for the manufacture of customized products can be used at innovation-oriented industrial enterprises, in particular, medium and small ones.

Key words: smart production, small and medium enterprises, industrial Internet of things, artificial intelligence, blockchain technology, automation, production, data processing.