УДК 338.45:330.341.1(1-4)

Кукоба Володимир Павлович
доктор економічних наук, професор,
професор кафедри бізнес-економіки і підприємництва
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана
Kukoba Volodymyr
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor at the Department of Business Economics and Entrepreneurship
Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman
ORCID: 0000-0003-3107-6000

Осокін Геннадій Валерійович
магістр бізнес-адміністрування
Науково-навчальний інститут бізнес-освіти імені Анатолія Поручника
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана
Osokin Gennady
Master of Business Administration
Scientific and Educational Institute of
Business Education named after Anatoliy Poruchnyk of
Kyiv National University of Economics named after Vadym Hetman
ORCID: 0009-0006-2670-7524

DOI: 10.25313/2520-2294-2024-7-10109

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ СМАРТ-ВИРОБНИЦТВ У ПРОВІДНИХ ДЕРЖАВАХ СВІТУ

CURRENT PROBLEMS OF THE DEVELOPMENT OF SMART INDUSTRIES IN THE LEADING COUNTRIES OF THE WORLD

Анотація. *Вступ. Сучасний світ характеризується стрімким розвитком цифрових технологій, серед яких смарт-технології займають провідне місце. Смарт-виробництва, які поєднують автоматизацію, Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data), штучний інтелект (AI) та інші цифрові інструменти, стають невід'ємною частиною економічного розвитку провідних держав світу. Вони забезпечують підвищення ефективності виробництва, зниження витрат, покращення якості продукції та більш гнучке реагування на змінювані ринкові умови. Однак, попри значний потенціал смарт-виробництв, існує низка актуальних проблем, які гальмують їх розвиток. Серед них можна виділити: технологічні виклики, що стосуються інтеграції різних систем; кадрові питання, пов'язані із потребою у висококваліфікованих фахівцях; економічні аспекти, викликані високою вартістю створення старт-підприємств; соціальні виклики, що пов'язані із скороченням робочих місць у традиційних секторах економіки; регуляторні та правові бар'єри, що виникають через відсутність єдиних стандартів та норм для смарт-виробництв. Таким чином, дослідження актуальних проблем розвитку смарт-виробництв у провідних державах світу має важливе значення для розуміння шляхів подолання зазначених викликів та розробки ефективних стратегій впровадження інновацій.*

Мета. Розгляд та аналіз поняття «смарт-виробництво» та всебічний аналіз напрямів та проблем розвитку смарт-виробництв у провідних державах світу; порівняння підходів до розвитку смарт-виробництв у різних країнах на прикладі кейсів провідних компаній світу та виявлення перспектив їх подальшого розвитку.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) праці вітчизняних та зарубіжних авторів, що провадять свої науково-практичні дослідження в галузі розвитку цифрових технологій та створення смарт-виробництв, напрямів їх розвитку та отриманих результатів; 2) дослідження консалтингових агенцій та професійних асоціацій, які займаються питаннями інтеграції смарт-виробництв в національні економіки; 3) аналіз даних офіційних сайтів компаній щодо впровадження елементів смарт-виробництва у свою операційну діяльність та отримані результати.

В процесі здійснення дослідження було використано наступні наукові методи: теоретичного узагальнення та групування (для класифікації смарт-виробництв, а також огляду підходів країн-лідерів у впровадженні смарт-технологій; формалізації, аналізу та синтезу (для узагальнення досвіду провідних компаній світу, які активно займаються створенням і впровадженням смарт-виробництв, а також аналізу кейсів впровадження смарт-технологій в українському бізнесі); систематизації та логічного узагальнення результатів (формулювання висновків).

Результати. Досліджено поняття «смарт-виробництво» та типологію сучасних смарт-виробництв; проаналізовано проблеми та перспективи смарт-виробництв у провідних країнах світу, на прикладі Німеччини, США, Китаю, Японії та Південної Кореї. Розглянуто конкретні кейси компаній, таких як Siemens, General Electric, Honeywell щодо впровадження смарт-технологій та побудову смарт-виробництв. Проведено огляд кейсів українських компаній, які запроваджують в своїй діяльності смарт-технології, що відповідають викликам часу та спрямовані на планомірну побудову сучасних смарт-виробництв світового рівня. Узагальнено виклики, з якими стикаються компанії при побудові смарт-виробництв, а саме інтеграція систем, потреба у висококваліфікованих кадрах, високі витрати на стартапи, соціальні проблеми через скорочення робочих місць та відсутність єдиних регуляторних норм. Визначено перспективи розвитку смарт-виробництв в глобальному економічному середовищі.

Перспективи. Подальші дослідження даної теми доцільно спрямовувати на вивчення економічних та соціальних аспектів впровадження смарт-виробництв; аналіз характеру зміни бізнес-моделей та ланцюгів постачань у смарт-виробництвах; порівняння стратегій розвитку смарт-виробництв у різних країнах світу з акцентом на екологічні аспекти впровадження смарт-технологій.

Ключові слова: *смарт-виробництво, цифрові технології, індустрія 4.0, смарт-технології.*

Summary. *Introduction. The modern world is characterized by the rapid development of digital technologies, among which smart technologies occupy a leading place. Smart manufacturing, which combines automation, the Internet of Things (IoT), big data (Big Data), artificial intelligence (AI) and other digital tools, is becoming an integral part of the economic development of the world's leading countries. They provide increased production efficiency, lower costs, improved product quality, and more flexible response to changing market conditions. However, despite the significant potential of smart manufacturing, there are a number of current problems that inhibit their development. Among them, we can highlight: technological challenges related to the integration of various systems; personnel issues related to the need for highly qualified specialists; economic aspects caused by the high cost of creating start-up enterprises; social challenges associated with the reduction of jobs in traditional sectors of the economy; regulatory and legal barriers arising from the lack of uniform standards and norms for smart manufacturing. Thus, the study of the current problems of the development of smart industries in the leading countries of the world is important for understanding the ways to overcome these challenges and to develop effective strategies for the introduction of innovations.*

Purpose. Review and analysis of the concept of "smart production" and a comprehensive analysis of directions and problems of the development of smart production in the leading countries of the world; comparison of approaches to the development of smart manufacturing in different countries using the case studies of the world's leading companies and identification of prospects for their further development.

Materials and methods. The research materials are: 1) the works of domestic and foreign authors who conduct their scientific and practical research in the field of digital technology development and the creation of smart industries, directions of their development and the results obtained; 2) research of consulting agencies and professional associations dealing with issues of integration of smart industries into national economies; 3) analysis of data from official websites of companies regarding the implementation of elements of smart production in their operational activities and the results obtained.

In the process of carrying out the research, the following scientific methods were used: theoretical generalization and grouping (for the classification of smart industries, as well as a review of the approaches of the leading countries in the implementation of smart technologies; formalization, analysis and synthesis (for the generalization of the experience of the world's leading companies that are actively engaged creation and implementation of smart industries, as well as analysis of cases of implementation of smart technologies in Ukrainian business); systematization and logical generalization of results (formulation of conclusions).

Results. The concept of "smart production" and the typology of modern smart production were studied; analyzed the problems and prospects of smart manufacturing in the leading countries of the world, using the example of Germany, the USA, China, Japan and South Korea. Specific cases of companies such as Siemens, General Electric, Honeywell regarding the introduction of smart technologies and the construction of smart factories are considered. A review of cases of Ukrainian companies that introduce smart technologies in their activities, which meet the challenges of the times and are aimed at the planned construction of modern world-class smart factories, has been reviewed. The challenges that companies face when building smart factories are summarized, namely system integration, the need for highly qualified personnel, high start-up costs, social problems due to the reduction of jobs and the lack of uniform regulatory standards. The prospects for the development of smart industries in the global economic environment are determined.

Discussion. Further research on this topic should be directed to the study of the economic and social aspects of the implementation of smart production; analysis of the nature of changes in business models and supply chains in smart manufacturing; comparison of strategies for the development of smart industries in different countries of the world with an emphasis on the environmental aspects of the implementation of smart technologies.

Key words: *smart production, digital technologies, Industry 4.0, smart technologies.*

Постановка проблеми. Сучасний світ характеризується стрімким розвитком цифрових технологій, серед яких смарт-технології займають провідне місце. Смарт-виробництва, які поєднують автоматизацію, Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data), штучний інтелект (AI) та інші цифрові інструменти, стають невід'ємною частиною економічного розвитку провідних держав світу. Вони забезпечують підвищення ефективності виробництва, зниження витрат, покращення якості продукції та більш гнучке реагування на змінювані ринкові умови. Однак, попри значний потенціал смарт-виробництв, існує низка актуальних проблем, які гальмують їх розвиток. Серед них можна виділити: технологічні виклики, що стосуються інтеграції різних систем; кадрові питання, пов'язані із потребою у висококваліфікованих фахівцях, здатних працювати з новими технологіями; економічні аспекти, викликані високою вартістю створення старт-підприємств особливо для малого та середнього бізнесу; соціальні виклики, що пов'язані із скороченням робочих місць у традиційних секторах економіки; регуляторні та правові бар'єри, що виникають через відсутність єдиних стандартів та регуляторних норм для смарт-виробництв. Таким чином, дослідження актуальних проблем розвитку смарт-виробництв у провідних державах світу має важливе значення для розуміння шляхів подолання зазначених викликів та розробки ефективних стратегій впровадження інновацій. Це дозволить не тільки підвищити конкурентоспроможність національних економік, але й сприятиме сталому розвитку глобальної економіки в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цифрова трансформація бізнесу, яка набуває свого активного розвитку у світі все частіше стає об'єктом наукових досліджень. Процесу переходу до Індустрії 5.0, її взаємозв'язку із попередньою — четвертою промисловою індустрією, та ключовим напрямам такої трансформації приділено увагу у наукових працях за авторством: Європейської Комісії, Остергаарда Е.Х, консалтингових компаній Deloitte, IT-enterprises [1; 2] У 2016 році «Індустрія 4.0» була основною темою Всесвітнього економічного форуму у 2016 році, заснованого К.Швабом, де саме ним було подано концепцію цифрової трансформації бізнесу і світу [3]. Оскільки вона відбувається на даний момент часу і визначає нові тренди розвитку суспільства, обумовлює нові технології управління, у виробничому сегменті економік світу активно розвиваються смарт-виробництва, які фактично змінюють підхід до створення цінності та стають рушійною силою трансформації бізнес-моделей компаній. Так питаннями розвитку смарт-виробництв в контексті цифрову трансформаці промислового сегменту займаються такі науковці як: О. А. Бурбело, Мезенбург, Д. Тапскотт, А.Зубкова, Дергачова Г.М, Колешня Я., К.Шваб П.Крей, А.МакАфі, А.Ману, Д.Ніл. Слід зазначити, що наразі продовжується наукова дискусія стосовно напрямів розвитку смарт-виробництв в провідних економіках світу через призму п'ятої промислової революції як наступного етапу чи всебічного поліпшення Індустрії 4.0. Зокрема, у роботах таких авторів як Трана Т.А., Рупперта Т., Айгнера Г., Абоні Дж. [3; 4; 5]. За результатами аналізу літературних джерел можна дійти висновку про недостатню чіткість поняття смарт-виробництва та необхідність узагальнення проблем та перспектив розвитку смарт-виробництв у різних країнах світу, що є критично важливим у сучасних умовах глобальної конкуренції.

Метою статті є розгляд та аналіз поняття «смарт-виробництво» та всебічний аналіз напрямів та проблем розвитку смарт-виробництв у провідних державах світу; порівняння підходів до розвитку смарт-виробництв у різних країнах на прикладі кейсів провідних компаній світу та виявлення перспектив їх подальшого розвитку.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) праці вітчизняних та зарубіжних авторів, що провадять свої науково-практичні дослідження в галузі розвитку цифрових технологій та створення смарт-виробництв, напрямів їх розвитку та отриманих результатів; 2) дослідження консалтингових агенцій та професійних асоціацій, які займаються питаннями інтеграції смарт-виробництв в національні економіки; 3) аналіз даних офіційних сайтів компаній щодо впровадження елементів смарт-виробництва у свою операційну діяльність та отримані результати.

В процесі здійснення дослідження було використано наступні наукові методи: теоретичного узагальнення та групування (для класифікації смарт-виробництв, а також огляду підходів країн-лідерів у впровадженні смарт-технологій; формалізації, аналізу та синтезу (для узагальнення досвіду провідних компаній світу, які активно займаються створенням і впровадженням смарт-виробництв, а також аналізу кейсів впровадження смарт-технологій в українському бізнесі); систематизації та логічного узагальнення результатів (формулювання висновків).

Виклад основного матеріалу. Поняття «розумна фабрика» (Smart Factory), «розумне виробництво» (Smart Manufacturing), «фабрика майбутнього» (Factory of the Feature) з'явилися останніми роками і часто нещодавно використовуються як синоніми.

Національний інститут стандартів і технологій США (NIST) визначає термін Smart Manufacturing так: це «повністю інтегровані корпоративні виробничі системи, які здатні в реальному масштабі часу реагувати на мінливі умови виробництва, вимоги мереж поставок і задовольняти потреби клієнтів» [6]. У цьому визначенні головне: «в реальному масштабі часу», тобто максимально оперативно, досягаються названі цілі за рахунок інтенсивного і всеосяжного використання інформаційних технологій і кіберфізичних систем на всіх етапах виробництва продукції та її поставки.

«Розумне виробництво», поряд з Промисловим Інтернетом Речей, лежить в основі Індустрії 4.0 (Industry 4.0). Таку назву отримала програма німецького уряду з розвитку високих технологій. Характерна риса Індустрії 4.0 — повністю автоматизовані виробництва, на яких керівництво всіма процесами здійснюється в реальному масштабі часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов.

Так, згідно підходу консалтингової компанії IT-Enterprise, яка при класифікації смарт-виробництв застосовує підхід Е. Філоса, координатора ІКТ-проектів в сьомий рамковій програмі Європейського Союзу з науково-технічного співробітництва, фабрики майбутнього можна поділити на три основних типи — цифрові (Digital), «розумні» (Smart) і віртуальні (Virtual), особливості яких подано на рис. 1.

За різними оцінками зазначається, що потенціал зростання світового ринку «фабрик майбутнього» величезний. Обсяг ринку цифрових фабрик (PLM-системи, адитивні технології, апаратне і числове програмне забезпечення, верстати тощо) досягне, за різними оцінками, 740 млрд доларів до 2035 року. Обсяг ринку «розумних фабрик» –1,35 трлн доларів. За віртуальним фабрикам експерти очікують зростання в майже 1,5 трлн. [8]. При цьому, за оцінками фахівців McKinsey & Co до 2025 р., технологіями IIoT буде охоплено від 80% до 100% світової обробної промисловості [9], а капіталізація ринку Індустрії 4.0 до 2024 року може сягнути 156,6 млрд дол. при очікуваних середньорічних темпах зростання у 16,9% [10].

Підводячи підсумок, слід зазначити, що перехід вже працюючих підприємств на нові принципи планування, виробництва, поставок і післяпродажного обслуговування продукції буде здійснюватися поступово і з максимальним використанням вже наявних виробничих активів. Послідовність переходу істотно залежить від специфіки роботи підприємства і доступності нових технологій. Наразі у світі існують різні підходи до розбудови смарт-індустрії, які враховують специфіку їх минулого розвитку («path dependence»), особливості геоекономічного позиціювання, розвитку сфери НДДКР, інституційного середовища тощо. Лідери у створенні смарт-виробництв знаходяться переважно серед розвинених країн, які активно впроваджують новітні технології в свої виробничі процеси. Серед таких країн можна виділити:

1. Німеччина. Виступає лідером у сфері Індустрії 4.0, активно впроваджуючи автоматизацію, робототехніку, IoT та штучний інтелект операційних процесах провідних компаній. За даними Німецької асоціації машинобудування та виробничих технологій (VDMA), до 2023 року понад 85% виробничих

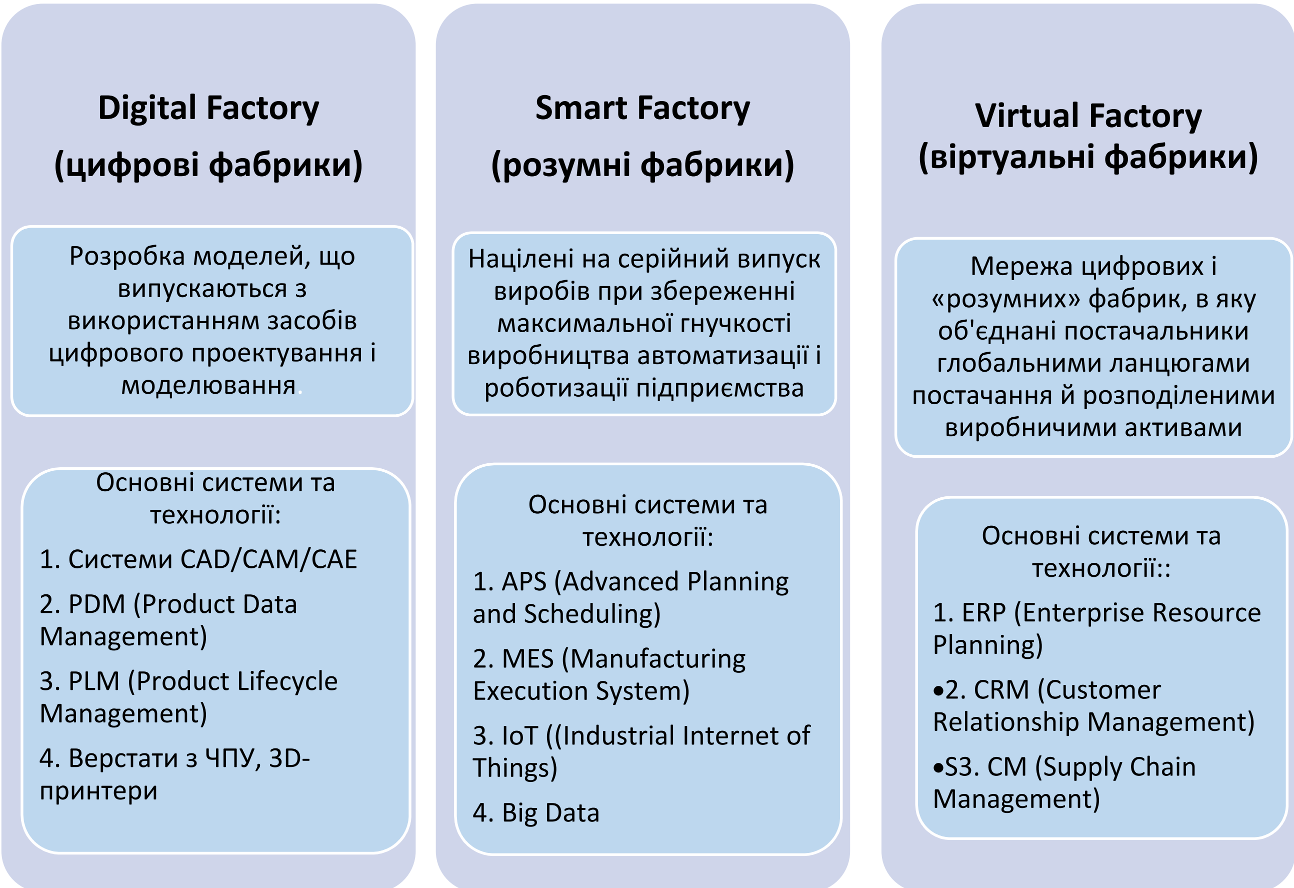

Рис. 1. Типологія сучасних смарт-виробництв
Джерело: розроблено Осокіним Г. В. на основі [2; 4; 5; 6; 7]

підприємств у Німеччині мали впроваджені технології Індустрії 4.0. У 2022 році ринок смарт-виробництв у Німеччині оцінювався у 12 мільярдів євро [11; 12].

2. США. Завдяки потужній базі високотехнологічних компаній та значним інвестиціям у дослідження та розробки, американські виробничі підприємства активно використовують автоматизацію, великі дані, штучний інтелект та Io T. У 2023 році США інвестували понад 100 мільярдів доларів у розвиток смарт-виробництв. За даними Міжнародної федерації робототехніки (IFR), у 2022 році в США було встановлено близько 35 тисяч нових промислових роботів [6].

3. Китай. Активно розвиває смарт-виробництва в рамках своєї стратегії «Made in China 2025», яка спрямована на модернізацію виробничої бази країни. Китайські підприємства активно впроваджують робототехніку, автоматизацію та цифрові технології. У 2022 році Китай встановив понад 140 тисяч промислових роботів, що становить майже 50% від загальносвітового обсягу. За даними China Association for Science and Technology, ринок смарт-виробництв у Китаї у 2023 році оцінювався у 300 мільярдів юанів (близько 46 мільярдів доларів) [13].

4. Японія. Виступає лідером у галузі робототехніки та автоматизації виробничих процесів. У 2022 році в Японії було встановлено понад 55 тисяч нових промислових роботів, що робить її другим за обсягом ринком робототехніки у світі. Японський уряд планує інвестувати понад 2 трильйони єн (близько 18 мільярдів доларів) у розвиток смарт-виробництв до 2025 року [11].

5. Південна Корея. Країна відома своїми інноваціями у галузі електроніки, автомобілебудування та інших високотехнологічних галузях.

У 2022 році Південна Корея встановила близько 30 тисяч нових промислових роботів. За даними Корейської асоціації робототехніки, ринок смарт-виробництв у країні у 2023 році оцінювався у 15 трильйонів корейських вон (близько 13 мільярдів доларів) [14].

Ці країни активно інвестують у розвиток смарт-виробництв та є лідерами у впровадженні передових технологій у виробничі процеси. У категорії країн-лідерів Україна посіла 21-ше місце серед 100 країн світу. А в рейтингу за технологічними компетенціями — 8-ме! Такий результат оприлюднено в щорічному дослідженні Global Skill Report 2022 від Coursera [15; 16]. В цілому в Україні ситуація з формуванням та реалізацією стратегічних підходів щодо розбудови смарт-промисловості поки що складається не найкращим чином. Причина цього полягає у проблемах з інноваціями, пов'язаних з у цілому несприятливим інституційним середовищем і низькими інвестиціями у НДДКР, що суттєво поглиблено станом війни. Наслідком чого є, в тому числі, слабкі позиції держави у світі за індексом розвитку ICT [17; 18].

Цікавим з точки зору досягнення цілей дослідження є аналіз кейсів провідних компаній світу щодо конкретних рішень, які реалізовані в їх бізнес-системах (табл. 1).

Перелік компаній, поданих у табл. 1, є лідерами у впровадженні смарт-технологій у виробничі процеси як у своїх системах, так і пропонуючи смарт-рішення для бізнесів по всьому світові, забезпечуючи ефективність, гнучкість та продуктивність виробництв у глобальному масштабі.

В Україні розвиток смарт-виробництв активно набирає обертів, хоча ще не досяг такого масштабу, як у провідних державах світу. Хоча слід зазначити, що вже є певне просування у сприянні розвитку смарт промисловості за ініціативою «знизу». Зокрема, у 2016 р. Асоціацією підприємств промислової автоматизації України (АППАУ) спільно з Асоціацією інноваційного розвитку України засновано рух «Індустрія 4.0 в Україні» [19], до якої увійшло близько 60 компаній, серед яких більшість знаних брендів провідні системних інтеграторів, IT-компаній та близько 10 замовників, зокрема «АрселорМіттал Кривий Ріг», Interpipe, Миронівський Хлібопродукт (МХП). В табл. 2 представлено узагальнений досвід застосування смарт-технологій в діяльності промислових лідерів України.

Наведені в табл. 2 компанії, активно використовують сучасні технології для цифровізації та автоматизації своїх виробничих процесів, що дозволяє їм підвищувати ефективність, знижувати витрати та забезпечувати високу якість продукції. Так, Interpipe В 2020 році Interpipe інвестувала понад 11 мільйонів доларів у модернізацію виробництва, впроваджуючи автоматизовані системи контролю якості та IoT технології для підвищення ефективності виробничих процесів. За інформацією компанії МХП, у розвиток смарт-технологій було інвестовано понад 50 мільйонів доларів у розвиток смарт-фермерства та впровадження автоматизованих систем управління виробництвом, що дозволило підвищити продуктивність на 20% та знизити витрати на 15%. Завдяки впровадженню смарт технологій на «АрселорМіттал Кривий Ріг», енергоспоживання знизилося на 10–15%, продуктивність праці зросла на 20%, а обсяги промислових відходів зменшилися на 25%. Оптимізація логістики дозволила знизити витрати на транспортування на 10%, а частка браку в продукції зменшилася на 30%, покращуючи її якість та конкурентоспроможність.

Поряд із позитивними зрушеннями в структурі промисловості та глобальних ланцюгів постачання, створення смарт-виробництв супроводжується рядом проблем, які є характерними для різних країн світу. Серед основних можна назвати такі:

1. Технологічні проблеми, пов'язані зі складністю інтеграції різних систем та технологій: Впровадження смарт виробництв вимагає інтеграції різноманітних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI), великі дані (Big Data), авто-

Таблиця 1

Топ-10 компаній світу, які активно займаються створенням і впровадженням смарт-виробництв

№	Назва компанії	Країна	Основні пріоритети та напрями розвитку смарт-виробництва
1	Siemens AG	Німеччина	Siemens є глобальним лідером у сфері автоматизації та цифровізації виробничих процесів. Компанія пропонує рішення для Індустрії 4.0, включаючи програмне забезпечення для управління виробництвом, IoT платформи та промислові роботи.
2	General Electric (GE)	США	GE активно впроваджує смарт-виробництва через свою платформу Predix, яка об'єднує інтернет речей (IoT), великі дані та штучний інтелект для підвищення ефективності виробничих процесів
3	Honeywell International Inc.	США	Honeywell розробляє передові технології автоматизації та контролю для смарт-виробництв, включаючи програмне забезпечення для оптимізації виробничих процесів, управління енергією та безпекою.
4	ABB Ltd.	Швейцарія	ABB є одним із провідних постачальників робототехніки та автоматизованих рішень для виробничих підприємств. Компанія пропонує роботизовані системи, програмне забезпечення для управління виробництвом та IoT платформи.
5	Fanuc Corporation	Японія	Fanuc є світовим лідером у галузі робототехніки та автоматизації. Компанія виробляє промислові роботи, ЧПК верстати та програмне забезпечення для автоматизації виробничих процесів.
6	Schneider Electric	Франція	Schneider Electric спеціалізується на енергоменеджменті та автоматизації. Компанія пропонує рішення для смарт-виробництв, включаючи програмне забезпечення для управління енергією, автоматизацію та IoT платформи.
7	Bosch	Німеччина	Bosch активно впроваджує технології Індустрії 4.0, пропонуючи рішення для автоматизації виробничих процесів, робототехніки та Io T. Компанія також розробляє програмне забезпечення для управління виробництвом та аналітики даних.
8	Mitsubishi Electric	Японія	Mitsubishi Electric є провідним постачальником рішень для автоматизації виробничих процесів, включаючи робототехніку, ЧПК верстати та програмне забезпечення для управління виробництвом.
9	Rockwell Automation	США	Rockwell Automation спеціалізується на промисловій автоматизації та інформаційних технологіях. Компанія пропонує рішення для автоматизації виробництва, управління процесами та IoT платформи.
10	Yaskawa Electric Corporation	Японія	Yaskawa є провідним виробником робототехніки та систем автоматизації. Компанія розробляє промислові роботи, програмне забезпечення для управління виробництвом та IoT рішення для смарт-виробництв.

Джерело: систематизовано Осокіним Г. В. на основі [10; 11; 12; 13; 14; 18]

матизація та робототехніка. Це може бути складно через несумісність різних систем та необхідність створення єдиної платформи для управління виробничими процесами. При цьому високий рівень цифровізації збільшує ризики кіберзагроз. Забезпечення безпеки даних та захист від кібератак є критично важливими, але водночас складними завданнями.

2. Економічні проблеми стосуються необхідності високих початкових інвестицій та певної економічної невизначеності щодо майбутньої окупності інвестицій та стабільності бізнес-моделей.

3. Соціальні проблеми пов'язані з можливим опором з боку працівників через страх втратити роботу або через необхідність перенавчання. Автоматизація та роботизація можуть призводити до скорочення робочих місць у традиційних виробництвах, що викликає соціальну напругу.

4. Проблема швидкої адаптації та навчання персоналу. Смарт виробництва вимагають висококваліфікованих працівників зі знаннями в галузі ІТ, автоматизації та управління даними. Швидкий розвиток технологій вимагає постійного оновлення знань та навичок працівників, що потребує часу та ресурсів.

5. Регуляторні та правові проблеми стосуються недосконалого законодавчого регулювання. Розвиток смарт виробництв випереджає розвиток законодавчої бази, що може створювати правові колізії та невизначеність. При цьому законодавче регулювання захисту даних та конфіденційності може бути недостатньо розроблене або відрізнятися в різних країнах, що ускладнює міжнародну співпрацю.

6. Інфраструктурні проблеми пов'язані з недостатньо розвиненою цифровою інфраструктурою, яка необхідна для налагодження надійної та швидкої цифрової комунікації, включаючи доступ до високошвидкісного Інтернету та сучасних дата-центрів. У багатьох регіонах світу така інфраструктура поки що не розвинена належним чином.

Зважаючи на ці проблеми, компанії та уряди повинні співпрацювати для розробки стратегій, які б

Таблиця 2

Досвід застосування смарт-технологій в діяльності промислових лідерів України

Назва компанії та сфера діяльності	Основні елементів смарт-виробництва, реалізовані в компанії
Interpipe Виробництво сталевих труб та залізничних коліс	**Автоматизовані системи управління виробництвом (MES):** забезпечення безперервного моніторингу виробничих ліній та швидкого реагування на будь-які відхилення від стандартних параметрів використовуються для моніторингу та управління виробничими процесами в режимі реального часу; мета — оптимізація виробничого циклу, зменшення часу простоїв та підвищувати продуктивність. **Інтернет речей (IoT):** використовуються збору та аналізу даних з різних виробничих пристроїв та сенсорів; мета — запобігати аваріям та знижувати витрати на ремонт. **Автоматизовані системи контролю якості:** використовує автоматизовані системи ультразвукової дефектоскопії для перевірки якості труб та залізничних коліс; мета — забезпечувати високу точність та швидкість перевірки продукції на відповідність стандартам якості. **Роботизовані виробничі лінії:** використання роботів для виконання рутинних та небезпечних операцій на виробничих лініях дозволяє, наприклад, для автоматичного зварювання, транспортування та упаковки продукції; мета — підвищити продуктивність та зменшити ризик для працівників. **Цифрові двійники (Digital Twins):** віртуальні моделі виробничих процесів і оптимізації налаштувань обладнання перед його запуском; мета — оптимізація процесів та виявленню потенційних проблем на етапі прототипування. **Системи управління даними (Big Data):** збір та аналіз великих обсягів даних з виробничих ліній та оптимізації процесів управління ресурсами; мета — дозволяють виявляти закономірності та тренди у виробничих процесах. **Хмарні технології:** застосування платформ для віддаленого моніторингу та управління виробничими процесами та обслуговування обладнання в реальному часі незалежно від місця перебування керівників та інженерів; мета — дозволяє оперативно реагувати на зміни у виробничих процесах
АрселорМіттал Кривий Ріг Видобуток залізної руди та виробництво сталі, включаючи гарячекатану листову продукцію, арматуру, катанку та інші металовироби	**Інтернет речей (IoT):** встановлено сенсори на доменних печах, прокатних станах для оперативного моніторингу стану обладнання в реальному часі; мета — вчасне виявлення та попередження поломок. **Аналітика даних та штучний інтелект (AI):** використання систем штучного інтелекту для аналізу зібраних даних і прогнозування потреби в технічному обслуговуванні, а також для оптимізації процесів плавки сталі та прокату; мета — зниження кількості простоїв, зменшення енергоспоживання та підвищення якості продукції. **Автоматизація виробничих процесів та роботизація:** застосування роботів для автоматичного обслуговування прокатних станів; впровадження автоматизованих систем управління для контролю процесів в доменних печах і сталеливарних цехах; мета — точність і швидкість виконання операцій, точне регулювання параметрів виробництва, зниження ризику травм серед працівників. **Цифрові двійники (Digital Twins):** створення цифрових моделей процесів, плавки сталі і прокату; відстеження та аналіз продуктивності виробничих ліній у реальному часі; мета — дозволяє тестувати різні сценарії та оптимізувати процеси без втручання в реальне виробництво виявляти та усувати вузькі місця **Хмарні технології:** зберігання великих обсягів даних з виробничих процесів та їх обробки; використання хмарних платформ для спільної роботи; мета — спрощує доступ до інформації, підвищує ефективність комунікацій та координації **Цифрові платформи та програмне забезпечення:** впровадження системи SAP для інтеграції і управління ключовими бізнес-процесами; використання цифрових систем для моніторингу якості продукції на всіх етапах виробничого процесу (QMS); мета — єдина інформаційна база, прорість і контроль над процесами, моніторинг рівня якості в реальному часі.
Миронівський Хлібопродукт (МХП) Спеціалізується на виробництві м'яса птиці, зернових культур та продуктів харчування; займається вирощуванням та переробкою сільськогосподарської продукції, включаючи птахівництво, рослинництво та виробництво готових харчових продуктів	**Автоматизовані системи управління виробництвом:** Автоматизація процесів забою, обробки м'яса та пакування продукції, для контролю та управління всіма етапами виробництва; мета — дозволяє підвищити продуктивність та знизити витрати. **Інтернет речей (IoT):** Використання сенсорів для контролю температури, вологості та інших параметрів у виробничих приміщеннях; мета — попередження виникнення проблем в системі, зниження операційних витрат через попередження дефектів. **Системи управління якістю (QMS):** Моніторинг відповідності продукції стандартам якості та швидке виявлення відхилень на всіх етапах виробництва; мета — моніторинг рівня якості в реальному часі.

Продовження табл. 1

	ERP-системи (Enterprise Resource Planning): Інтеграція всіх бізнес-процесів у єдину інформаційну систему для ефективного управління ресурсами. Впроваджено систему прогнозування попиту, що допомагає точно визначати обсяги виробництва та зменшувати ризики перевиробництва або дефіциту продукції; мета — оптимізації процесів закупівлі, виробництва та дистрибуції, інтеграція всіх даних в єдиній системі. **Системи управління ланцюгом постачань (SCM):** Управління взаємодією з постачальниками та клієнтами для забезпечення ефективного постачання продукції Мета — оптимізація процесів закупівлі, виробництва та дистрибуції через цифрові системи. **Системи електронного документообігу (EDMS):** Використовує ефективне управління документообігом в електронному вигляді; мета — зменшення паперової роботи та підвищення прозорості процесів; швидке та зручне управління контрактами, рахунками. **Біометричні системи:** Використовуються для контролю доступу до виробничих приміщень та моніторингу робочого часу працівників; мета — дозволяє точно відстежувати присутність працівників та забезпечувати безпеку на підприємстві.

Джерело: систематизовано Осокіним Г.В. основі [20; 21; 22]

сприяли подоланню цих викликів та підтримували розвиток смарт виробництв.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Підводячи підсумок, слід зазначити, що перспективи розвитку смарт виробництва в світі є досить обіцяючими і включають кілька ключових аспектів: 1) зростання попиту на високотехнологічні виробничі процеси, що дозволяють підприємствам підвищувати продуктивність, зменшувати витрати і забезпечувати більшу гнучкість; 2) використання штучного інтелекту (AI) та аналітики даних дозволяє підприємствам здійснювати прогнозування, управляти ризиками, оптимізувати виробничі процеси та покращувати якість продукції; 3) Впровадження IoT у виробничі процеси дозволяє збирати в реальному часі інформації про робоче обладнання, що полегшує моніторинг, планування та підтримку; 4) Цифрова трансформація та гнучкість виробничих процесів дозволяє підприємствам швидко адаптуватися до змін у ринкових умовах, що є критичним у глобальному конкурентному середовищі; 5) Застосування смарт технологій може сприяти сталому розвитку через ефективніше використанню ресурсів, зменшенню відходів та екологічного впливу на довкілля. Загалом, перспективи досліджень проблем розвитку смарт виробництва визначаються не лише технологічними досягненнями, але і готовністю підприємств і країн до інтеграції новітніх рішень у виробничі процеси та вирішення супутніх економічних, соціальних та правових викликів, які потребують додаткового аналізу та впорядкування. Отже, подальші дослідження даної теми, на нашу думку, мають спрямовуватись на вивчення економічних та соціальних аспектів впровадження смарт-виробництв; аналіз характеру зміни бізнес-моделей та ланцюгів постачань у смарт-виробництвах; порівняння стратегій розвитку смарт-виробництв у різних країнах світу з акцентом на екологічні аспекти впровадження смарт-технологій.

Література

1. Industry 5.0, a transformative vision for Europe: Governing systemic transformations towards a sustainable industry. Directorate-General for Research and Innovation. *European Commission*. 2021. URL: https://op.europa.eu/en/web/eu-law-and-publications/publication-detail/-/publication/38a2fa08-728e-11ec-9136-01aa75ed71a1 (дата звернення: 15.07.2024).

2. *IT-Enterprise: офіційний вебсайт.* URL: https://www.it.ua/ (дата звернення: 18.07.2024)

3. Шваб К. Четверта промислова революція. Формуючи четверту промислову революцію. Київ : «Книжковий клуб «Клуб сімейного дозвілля», 2019. 194 с.

4. Дергачова Г.М, Колешня Я.О. Цифрова трансформація бізнесу: сутність, ознаки, вимоги та технології. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. 2020. № 17. С. 280–290. URL: https://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216367/216461 (дата звернення: 17.07.2024).

5. Зубкова А., Майгурова Д., Місюня Р. Управління проєктами цифрової трансформації міжнародних підприємств: ключові відмінності індустрії 4.0 та 5.0. *Modeling the development of the economic systems*. 2023. (2). С. 120–130. doi: https://doi.org/10.31891/mdes/2023-8-16 12.07.2024.

6. *Національний інститут стандартів і технологій США (NIST): офіційний вебсайт.* URL: https://www.nist.gov/ (дата звернення: 19.07.2024).

7. *Gartner: офіційний вебсайт.* URL: https://www.gartner.com/en (дата звернення: 18.07.2024).

8. Smart Factory. *IT-Enterprise.* URL: https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/smart-factory (дата звернення: 19.07.2024).

9. McKinsey Global Institute. The internet of things: mapping the value beyond the hype. McKinsey&Company, 2015. 131 p.

10. Industry 4.0 Market. Size, Share, system and Industry Analysis and Market Forecast to 2024. *Marketsandmarkets.com.* URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industry-4-market-102536746.html (дата звернення: 18.07.2024).

11. Князєв С. І. Смарт-промисловість: формування базису нового етапу економічного зростання у світі. *Бізнес Інформ*. 2020. № 4. С. 150–162. doi: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-4-150-162.

12. Industry 5.0. *European Commission.* URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en (дата звернення: 18.07.2024).

13. *China Association for Science and Technology: офіційний вебсайт. URL:* http://english.cast.org.cn/ (дата звернення: 19.07.2024)

14. *Korean Robotics Association: офіційний вебсайт.* URL: https://www.korearobot.or.kr/eng/?ckattempt=1 (дата звернення: 19.07.2024)

15. Україна увійшла у топ-10 країн світу в рейтингу технологічних навичок. *Черкаська обласна державна адміністрація: офіційний портал.* 2022. URL: https://ck-oda.gov.ua/novyny-cherkaskoyi-oblasti/ukrayina-uvijshla-u-top-10-krayin-svitu-v-rejtingu-texnologichnix-navichok/ (дата звернення: 18.07.2024).

16. Глобальний звіт про навички. *Coursera.* URL: https://bit.ly/3NWy111 (дата звернення: 18.07.2024)

17. Про Індустрію 5.0 — чому це стає актуальним для України. *Industry4ukraine.* 2022. URL: https://www.industry4ukraine.net/publications/pro-industriyu-5–0-chomu-cze-staye-aktualnym-dlya-ukrayiny/ (дата звернення: 18.07.2024)

18. European Commission. Peer Review of the Ukrainian Research and Innovation System. Horizon 2020 Policy Support Facility / Directorate-General for Research and Innovation. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016. 76 p.

19. АППАУ (2020). *Індустрія 4.0 в Україні.* URL: https://industry4-0-ukraine.com.ua/ (дата звернення: 19.07.2024)

20. *Interpipe: офіційний вебсайт.* URL: https://interpipe.biz (дата звернення: 18.07.2024).

21. *АрселорМіттал Кривий Ріг: офіційний вебсайт.* URL: https://ukraine.arcelormittal.com/about/nasha-istoriia (дата звернення: 18.07.2024).

22. *Миронівський Хлібопродукт (МХП): офіційний вебсайт.* URL: https://mhp.com.ua/uk/glorytoUkraine (дата звернення: 18.07.2024).

References

1. Industry 5.0, a transformative vision for Europe: Governing systemic transformations towards a sustainable industry. Directorate-General for Research and Innovation. *European Commission.* 2021. URL: https://op.europa.eu/en/web/eu-law-and-publications/publication-detail/-/publication/38a2fa08–728e-11ec-9136–01aa75ed71a1 (accessed 15.07.2024).

2. *IT-Enterprise: ofitsiinyi vebsait.* URL: https://www.it.ua/ (accessed 18.07.2024)

3. Shvab K. Chetverta promyslova revoliutsiia. Formuiuchy chetvertu promyslovu revoliutsiiu. Kyiv: "Knyzhkovyi klub "Klub simeinoho dozvillia", 2019. 194 s.

4. Derhachova H. M, Koleshnia Ya. O. Tsyfrova transformatsiia biznesu: sutnist, oznaky, vymohy ta tekhnolohii. *Ekonomichnyi visnyk NTUU "KPI".* 2020. № 17. S. 280–290. URL: https://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216367/216461 (accessed 17.07.2024).

5. Zubkova A., Maihurova D., Misiunia R. Upravlinnia proiektamy tsyfrovoi transformatsii mizhnarodnykh pidpryiemstv: kliuchovi vidminnosti industrii 4.0 ta 5.0. *Modeling the development of the economic systems.* 2023. (2). S. 120–130. doi: https://doi.org/10.31891/mdes/2023-8-16 12.07.2024.

6. *Natsionalnyi instytut standartiv i tekhnolohii SShA (NIST): ofitsiinyi vebsait.* URL: https://www.nist.gov/ (accessed 19.07.2024).

7. *Gartner: ofitsiinyi vebsait.* URL: https://www.gartner.com/en (accessed 18.07.2024).

8. Smart Factory. *IT-Enterprise.* URL: https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/smart-factory (accessed 19.07.2024).

9. McKinsey Global Institute. The internet of things: mapping the value beyond the hype. McKinsey&Company, 2015. 131 p.

10. Industry 4.0 Market. Size, Share, system and Industry Analysis and Market Forecast to 2024. Marketsandmarkets.com. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industry-4-market-102536746.html (accessed 18.07.2024).

11. Kniaziev S. I. Smart-promyslovist: formuvannia bazysu novoho etapu ekonomichnoho zrostannia u sviti. *Biznes Inform.* 2020. № 4. C. 150–162. doi: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-4-150-162.

12. Industry 5.0. *European Commission.* URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en (accessed 18.07.2024).

13. *China Association for Science and Technology: ofitsiinyi vebsait.* URL: http://english.cast.org.cn/ (accessed 19.07.2024)

14. *Korean Robotics Association: ofitsiinyi vebsait.* URL: https://www.korearobot.or.kr/eng/?ckattempt=1 (accessed 19.07.2024)

15. Ukraina uviishla u top-10 krain svitu v reitynhu tekhnolohichnykh navychok. *Cherkaska oblasna derzhavna administratsiia: ofitsiinyi portal.* 2022. URL: https://ck-oda.gov.ua/novyny-cherkaskoyi-oblasti/ukrayina-uvijshla-u-top-10-krayin-svitu-v-rejtingu-texnologichnix-navichok/ (accessed 18.07.2024).

16. Hlobalnyi zvit pro navychky. *Coursera.* URL: https://bit.ly/3NWy111 (accessed 18.07.2024)

17. Pro Industriiu 5.0 — chomu tse staie aktualnym dlia Ukrainy. *Industry4ukraine.* 2022. URL: https://www.industry4ukraine.net/publications/pro-industriyu-5-0-chomu-cze-staye-aktualnym-dlya-ukrayiny/ (accessed 18.07.2024)

18. European Commission. Peer Review of the Ukrainian Research and Innovation System. Horizon 2020 Policy Support Facility / Directorate-General for Research and Innovation. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016. 76 p.

19. APPAU (2020). *Industriia 4.0 v Ukraini.* URL: https://industry4-0-ukraine.com.ua/ (accessed 19.07.2024)

20. *Interpipe: ofitsiinyi vebsait.* URL: https://interpipe.biz (accessed 18.07.2024).

21. *ArselorMittal Kryvyi Rih: ofitsiinyi vebsait.* URL: https://ukraine.arcelormittal.com/about/nasha-istoriia (accessed 18.07.2024).

22. *Myronivskyi Khliboprodukt (MKhP): ofitsiinyi vebsait.* URL: https://mhp.com.ua/uk/glorytoUkraine (accessed 18.07.2024).