

СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ РОЗУМНОГО ВИРОБНИЦТВА В ІНДУСТРІЇ 4.0: ПЕРЕВАГИ ТА ВИКЛИКИ

DOI: <https://doi.org/10.32620/cher.2023.3.04>

Постановка проблеми. Враховуючи принципи промислового інжинірингу, будь-які спрощення виробничих процесів повинні сприяти досягненню цілей Індустрії 4.0, однак дана гіпотеза потребує підтвердження шляхом наукових досліджень щодо її можливих викликів, можливостей та переваг. *Мета дослідження:* уточнення концептуальних засад, переваг та викликів розумного виробництва в Індустрії 4.0. *Предмет дослідження:* особливості та механізми функціонування розумного виробництва в Індустрії 4.0. *Методи, використані в дослідженні:* метод аналізу та синтезу, історичний метод, діалектичний, системний, логічний. *Гіпотеза дослідження:* зроблено припущення, що упровадження технології Індустрії 4.0 сприятимуть підвищенню ефективності за рахунок зменшення транзакційних витрат та інформаційної асиметрії всередині системи. *Виклад основного матеріалу:* виділено п'ять важливих особливостей Індустрії 4.0; узагальнено сучасні підходи до оптимізації виробництва; доведено, що концепція Індустрії 4.0 повинна охоплювати не лише процес створення вартості як такий, але й організацію праці, бізнес-моделі та інші послуги; виділено переваги та виклики інтеграції традиційних з технологіями Індустрії 4.0. *Оригінальність та практична значимість дослідження* здійснено комплексний, поглиблений аналіз механізмів функціонування стратегії Індустрії 4.0. як субординованої, ієрархічної та динамічно взаємодіючої сукупності зв'язків. *Висновки:* технології Індустрії 4.0 володіють низкою переваг, а отже, мають хороший потенціал для повернення інвестицій. Це стосується систем автоматизації, управління виробництвом та прийняття рішень. Індустрія 4.0, на відміну від попередньої індустриальної епохи, уможлиблює історично безпрецедентну автоматизацію, кастомізацію та прибутковість. *Перспективи подальших досліджень* дослідження можливостей підвищення ефективності виробництва за рахунок взаємодії людини-машина.

Ключові слова:

інтеграція, виробнича стратегія, ризики, технології, планування.

ASSESSMENT OF THE CAPACITY OF COMMUNITIES AND DISTRICTS OF DONETSK AND LUHANSK OBLASTS

Formulation of the problem. Given the principles of industrial engineering, any simplification of production processes should contribute to the achievement of Industry 4.0 goals, but this hypothesis needs to be confirmed through scientific research on its possible challenges, opportunities, and benefits. *The aim of the research* clarifying the conceptual foundations, advantages and challenges of smart manufacturing in Industry 4.0. *The subject of the research* features and mechanisms of smart manufacturing in Industry 4.0. *The methods of the research* method of analysis and synthesis, historical method, dialectical, systemic, logical. *The hypothesis of the research:* it is assumed that the introduction of Industry 4.0 technologies will increase efficiency by reducing transaction costs and information asymmetry within the system. *The statement of basic materials:* identifies five important features of Industry 4.0; summarizes modern approaches to production optimization; proves that the concept of Industry 4.0 should cover not only the value creation process as such, but also labor organization, business models and other services; highlights the advantages and challenges of integrating traditional with Industry 4.0 technologies. *The originality and practical significance of the research:* a comprehensive, in-depth analysis of the mechanisms of functioning of the Industry 4.0 strategy as a subordinate, hierarchical and dynamically interacting set of relations is carried out. *Conclusions and perspectives of further research:* Industry 4.0 technologies have a number of advantages and, therefore, have a good potential for return on investment. This applies to automation, production manage-

¹ Потелещенко Петро Володимирович, канд. техн. наук, здобувач ступеня доктора наук, Воєнна академія імені Євгенія Березняка, м. Київ, Україна.

Poteleshchenko Petro, Ph.D. in Technical Sciences, Applicant at the Doctor Sciences Yevhenii Bereznyak Military Academy, Kyiv, Ukraine.

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-4922-793X>

e-mail: petro_pv@ukr.net





ment, and decision-making systems. Industry 4.0, unlike the previous industrial era, enables historically unprecedented automation, customization, and profitability. Prospects for further research include exploring opportunities to improve production efficiency through human-machine interaction.

Key words:

integration, production strategy, risks, technology, planning.

Постановка проблеми. Цілісну Концепцію Четвертої промислової революції офіційно представлено у 2015 році групою вчених, яким було доручено розробити для німецького уряду стратегію розвитку високих технологій. З тих пір вона набула широкого розповсюдження через різні міжнародні форуми, включаючи Всесвітній економічний форум. У Звіті ВЕФ «Глибинна зміна – технологічні переломні моменти та соціальний вплив» зазначалося, що до 2025 року настане ряд переломних моментів, що формуватимуть майбутній цифровий гіперпідключений світ [1].

Хоча термін «Індустрія 4.0» вже використовується майже 10 років, проте на цей час немає єдиного бачення щодо його визначення. Під промисловою революцією прийнято розуміти динамічний процес соціально-економічних трансформацій внаслідок упровадження проривних технологій. Перша промислова революція зумовила перехід суспільства від аграрної до індустріальної моделі розвитку, що стало можливим завдяки розвитку транспорту і механізації виробництва шляхом використання парової енергії. Друга промислова революція значно поглибила першу - використання електричної енергії уможливило масове виробництво транспортних засобів, систем зв'язку, що у свою чергу призвело до розвитку епохи суспільної мобільності. Завдяки новітнім розробкам комп'ютерної техніки, винайденню Інтернету, широкій цифровізації відбувся стрімкий перехід до Третьої промислової революції. Ці винаходи допомогли об'єднати фізичні об'єкти та ланцюжки створення вартості. Поява нового рівня ефективності та автоматизації трансформували цілі сектори, витіснили традиційні корпорації та зруйнували традиційні бізнес-моделі. Сьогодні ми стоїмо на порозі Четвертої промислової революції, яка стала результатом використання великих даних у режимі реального часу, поєднала фізичну і цифрову сфери та призвела до появи так званих «кіберфізичних систем». У майбутньому ці системи відіграватимуть ключову роль у промисловому виробництві, оскільки будуть все більш інтелекту-

альними внаслідок зростаючої конвергенції різних нових технологій.

З економічної точки зору основні технології Індустрії 4.0 сприятимуть значному підвищенню ефективності за рахунок зменшення транзакційних витрат та інформаційної асиметрії всередині системи. У новому конкурентному виробничому середовищі використання цих технологій може стати основою сталого розвитку. Враховуючи принципи промислового інжинірингу, будь-які спрощення виробничих процесів повинні сприяти досягненню цілей Індустрії 4.0, однак дана гіпотеза потребує підтвердження шляхом наукових досліджень щодо можливих її викликів, можливостей та переваг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні основи Індустрії 4.0 було закладено в 2011 році, вони були присвячені інтеграції інформаційно-комунікаційних технологій та промислового виробництва [2, с. 9]. У подальшому В. Роблек визначив п'ять ключових елементів Індустрії 4.0: цифровізація, оптимізація та персоналізація виробництва; автоматизація та адаптація; співпраця людина-машинна; послуги з доданою вартістю та логістика; автоматизований обмін даними та комунікації [3, с. 7].

Д. Ганнінг з DARPA досліджуючи еволюцію одного з базових компонентів Індустрії 4. – Штучного Інтелекту, зазначає, що він пройшов у своєму розвитку три хвили: перша розпочалася у 1950-х роках і стосувалася генерації доказів теорем Principia Mathematica; друга пов'язана з розробками реальних статистичних моделей для навчання; третя - це хвиля пояснювальної або контекстної адаптації для кращого розуміння природи людського інтелекту [4, с. 26].

Ф. Зезулка визначив три взаємопов'язані фактори Індустрії 4.0: цифровізація та мережева інтеграція; оцифрування продуктів і послуг; нові ринкові моделі [5, с. 4].

Технології Індустрії 4.0 дозволяють відстежувати та контролювати обладнання, продукти та послуги, збираючи великі обсяги даних, вбудовуючи їх в інтегровані системи та аналізуючи їх за допомогою побудови

віртуальних моделей, оптимізуючи процеси прийняття рішень [6, с. 291]. Використовуючи Інтернет речей, кіберфізичні системи та хмарні обчислення, серед іншого, компанії можуть досягти раніше недосяжних рівнів операційної ефективності та прибутковості [7, с. 1652].

Аналітичне опрацювання сучасного етапу розвитку соціально-економічної індустріалізації дозволяє констатувати, що процес цифрової трансформації займає ключову позицію концепції Індустрії 4.0 та реалізується шляхом інтенсивного розвитку автоматизації економічних процесів, розробки інноваційних цифрових технологій та їх інтеграції в усі сфери бізнесу [8, с. 141]. Зменшити можливий негативний вплив Індустрії 4.0 можна завдяки формуванню сприятливих умов для забезпечення сталого економічного розвитку, інноваційності, діджиталізації процесу виробництва, пошуку можливих інвестиційних ресурсів для реалізації інноваційних проєктів у промислових хайтек-сегментах [9, с. 6].

Цифрові технології Індустрії 4.0 відкривають нові перспективи розвитку промисловості, вони все більшою мірою визначають конкурентоспроможність промислових підприємств. А оскільки розвиток промисловості впливає практично на усі інші галузі, то технології Індустрії 4.0 сприяють зростанню національних економік у цілому. [10, с. 118]

Таким чином, складність і дискусійність поняття Індустрії 4.0, з одного боку, та динамічна мінливість характеристик глобального економічного середовища з іншого боку, стимулюють поглиблення досліджень у цій царині. Потребують пересмислення проблеми економічного потенціалу та результативності стратегій Індустрії 4.0 умовах загострення та зміни форматів конкуренції на глобальних ринках.

Метою статті є уточнення концептуальних засад, переваг та викликів розумного виробництва в Індустрії 4.0.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одне з визначень Індустрії 4.0 передбачає створення технологічних умов для розвитку розумного виробництва. Національний інститут стандартів і технологій США визначає розумне виробництво в якості повністю інтегрованої виробничої системи, що реагує в режимі реального часу на мінливі вимоги і умови виробничого процесу [11]. Німецьким дослідницьким центром штучного

інтелекту (DFKI) виділено такі фактори, що сприяють розвитку розумного виробництва:

- розумна фабрика – розумні продукти контролюють власний виробничий процес і узгоджують його з розумними машинами;
- розумний планувальник - оптимізує всі виробничі процеси майже в режимі реального часу;
- людина як центральний фактор виробництва;
- інформаційно-комунікаційні технології в якості «розумних операторів», що здійснюють нагляд і контроль за поточною виробничою діяльністю [12, с. 1872].

На початкових стадіях розумні галузі використовуватимуть людей-операторів, однак з часом їх кількість буде зменшуватися, оскільки відбуватиметься заміщення машинами та технологіями, керованими програмним забезпеченням [13, с. 4].

Технології Індустрії 4.0 вже сьогодні дозволяють розробляти та впроваджувати сучасні організаційні стратегії у виробництво. У наведеному аспекті можна виділити п'ять важливих особливостей Індустрії 4.0: новий і повністю автоматизований підхід до управління виробництвом, ланцюжком поставок і життєвим циклом продукції; управління виробництвом базується на використанні інтелектуальних систем, даних в реальному часі та машинному навчанні; поєднання цифрових та фізичних систем з основною автоматизацією; підтримання постійної комунікації між підрозділами виробництва в режимі он-лайн; допомога у визначенні стратегії зростання промислового виробництва. Наведені особливості створюють головний базис для конкурентних переваг виробника.

Разом з цим, у випадку коли майже всі промислові виробники будуть чітко слідувати основним принципам Індустрії 4.0, то хто ж тоді матиме конкурентну перевагу? Тут вже буде йти мова про необхідність упровадження окремими виробниками більш ефективного проєктного менеджменту. Зміна основної парадигми - від випуску високоякісної, але одноманітної продукції до портфеля з високим ступенем розмаїття та орієнтацією на споживача вимагає гнучких рішень щодо організації, планування виробництва, впровадження та реорганізації виробничих процесів. Проєктні та технологічні рішення, які упроваджуватимуться на ранніх етапах планування та організації виробництва матимуть вирішальний вплив на тривалість





виробничих циклів і тому повинні будуть розроблятися в адаптивному режимі.

Ріст конкуренції та зростаючі очікування клієнтів в Індустрії 4.0 зумовлюють розвиток персоналізації виробництва, яка досягається за допомогою повністю автоматизованих і роботизованих виробничих процесів, контролю, регулювання та виконання операцій. Роботизація та автоматизація виключають безпосередню участь працівників у виробничому процесі та зводять їх роль до загального спостереження. Результатом цих змін у виробництві мають стати: зниження виробничих витрат (підприємства спочатку інвестують в нові рішення (інновації), щоб потім знизити виробничі витрати), підвищення надійності виробничих систем, ефективне використання ресурсів та зменшення відсотку бракованої продукції [14, с. 121].

Сучасні підходи до оптимізації виробництва можна поділити на декілька категорій, які характеризуються різними рівнями деталізації виробництва та різняться за підходами у досягненні його стратегічних цілей. Більшість сучасних стратегій виробництва зосереджені на власне самій організації, тобто досягненні оптимального розподілу автоматизованих процесів. В їх основу покладено фіксовані виробничі плани і, зазвичай вони не зазнають суттєвих змін протягом всього виробничого процесу. Широке розповсюдження цієї стратегії обумовлене дискретністю, метою якої є безперервно-потокове виробництво [15, с.125]. Така організація, на відміну від серійного, в першу чергу орієнтована на виробництво «точно в установленний термін». Основні вимоги щодо цієї стратегії вдосконалення пов'язані з максимальною інтеграцією всіх елементів виробничої системи. Безперервно-потоківі виробничі ділянки націлені, насамперед на оптимально збалансоване виробництво і володіють такими характеристиками: мінімізація відходів як головна мета виробничого процесу (стосується не лише матеріальних ресурсів, але й непродуктивних втрат часу та людських ресурсів); оптимізація всіх можливих параметрів виробничих процесів та інвестицій; бездефектне виробництво.

Наведені стратегії оптимізації виробництва вже протягом багатьох років використовуються топ менеджментом більшості провідних компаній, оскільки їх управлінські рішення виходять з довготермінових про-

гнозних оцінок. Як стверджують ряд дослідників [16, с. 1612] вони не зазнають особливих змін у зв'язку з упровадженням базових технологій Індустрії 4.0. Поєднання підприємницьких цілей з виробничими стратегіями підприємства вважається оптимальним шляхом досягнення цілей. Така інтеграція має упроваджуватися в п'ять етапів:

- визначення цілей підприємства щодо загальних ключових показників розвитку. Формування цих цілей здійснюється з урахуванням загального горизонту планування;

- другий етап пов'язаний з реалізацією ринкової стратегії, яка передбачає вивчення цільових ринків, споживачів та обсягів продажів;

- третій етап - визначення товарної політики, що безпосередньо впливає на конкурентні фактори ринкової стратегії (цільові показники ціноутворення, дизайн продукту, його якість тощо);

- четвертий етап - на основі обраної стратегії конкурентної політики здійснюється технічна реалізація та виробниче планування;

- на останньому етапі вибудовується виробнича інфраструктура з точки зору розподілу ресурсів, життєвого циклу управління якістю та людськими ресурсами [17, с. 28].

Наведені етапи можна розглядати в якості загального життєвого циклу виробництва. Останні два можуть змінюватися внаслідок еволюції асортименту чи сортаменту продукції. Незважаючи на те, що ця класифікація не втрачає своєї актуальності з точки зору управління виведенням нової продукції на ринок, її життєвий цикл має стійку тенденцію до суттєвого зменшення.

Впровадження концепції Індустрії 4.0 має на меті ефективно використання наявного технологічного і ринкового потенціалу, його задіяння в інноваційному процесі, а також їх поєднання з кваліфікаціями та знаннями працівників. При цьому необхідно врахувати: вертикальну та горизонтальну інтеграцію процесів на всіх ланцюжках створення нової вартості; наскрізний цифровий інформаційний потік через всі ланцюжки створення вартості. Слід зазначити, що упровадження всеосяжного обміну даними вздовж всього ланцюжка створення нової вартості виглядає не зовсім однозначним. Мова йде про необхідність захисту та безпеки даних. Зрештою, перевага гнучкості виробництва може ніве-

люватися ризиками руйнування зв'язків між постачальником і клієнтом, а також не-санкціонованим доступом до службової інформації (широкий обмін даними, який супроводжує Індустрію 4.0 перетворює користувачів у привабливу ціль для кібератак). Це означає, що концепція Індустрії 4.0 повинна охоплювати не лише процес створення вартості як такий, але й організацію праці, бізнес-моделі та інші послуги. Цього можна досягти упровадженням новітніх інформаційних технологій, які об'єднують виробництво, маркетинг і логістику. З технічного боку, концепція базується на інтеграції кіберфізичних систем та виробництва і логістики, а також на наскрізному впровадженні Інтернету речей та послуг до базових технологічних процесів.

Окремі технології, що є складовими Індустрії 4.0 існують вже досить давно і їх інтеграція з технологіями Індустрії 4.0 зумовлює як нові переваги, так виклики:

- виклики великих даних - Індустрія 4.0 базується виключно на величезних масивах даних та їх обробці, вона генерує та аналізує їх відповідно до заведених алгоритмів. У виробничому середовищі такі дані є досить різномірними, оскільки збираються з різних джерел (дані з датчиків машин, дані щодо продукції, якості, інфраструктури, логістики тощо). Вони вимагають різних методів обробки та технологій зберігання, обробки та управління. Для подолання цих викликів необхідні нові алгоритми, продукти та моделі. Примітивне програмне забезпечення, що використовується на виробництві, може бути несумісним зі стандартами даних майбутнього покоління, внаслідок чого ці дані можуть бути втраченими;

- обмін даними з партнерами – компанії часто передають частину своїх функцій на аутсорсинг, внаслідок чого частина даних стає доступними партнерам. Це означає, що багатьом компаніям доведеться ділитися своїми інноваційними розробками та продуктами з фірмами-підрядниками;

- навчання та розвиток навичок - Індустрія 4.0 вимагає наявності освіченого та різнопрофільного персоналу, що є серйозним викликом. Більшість людей, які раніше працювали на виробництві, виходять на пенсію, не передаючи своїх виробничих знань молоді. Іншою важливою проблемою є те, що молоді працівники вимагають більше пільг, швидкого кар'єрного зростання та

частішої зміни характеру діяльності. Оскільки значна частина співробітників працює вже багато років в рутинному режимі, вони не дуже прагнуть вивчати нові технології. Це є надзвичайно серйозною проблемою, оскільки Індустрія 4.0 базується на необхідності упровадження кардинальних виробничих змін;

- гнучкість процесів - наразі технології, що сьогодні використовуються на виробництві, є недостатньо ефективними для її досягнення. Традиційно системи, що використовуються на виробництві є модульними та ізольованими одна від одної. Внесення змін в усталені процеси часто відбувається у вигляді ознайомлення персоналу з роздруківками чи електронними листами. Зазвичай такі зміни впроваджуються без дотримання будь-яких стандартів, що робить систему складнішою та більш затратною. Тому існує нагальна потреба в стандартизації та синхронізації усіх модулів виробничого підприємства;

- безпека - виступає одним з головних компонентів у стандартах Індустрії 4.0. Організація повинна забезпечити захист людей, продукції та виробничого середовища від загроз. Використання смарт-пристроїв значно полегшує проблеми комунікації, однак породжує підвищені ризики для безпеки. Всі розумні пристрої на виробництві необхідно контролювати за допомогою апаратного та програмного забезпечення, однак ця вимога часто ігнорується. Пристрої Інтернету речей мають невелику обчислювальну потужність, тому потрібен новий набір інструментів для їх надійного захисту. Будь-які пристрої, що використовують хмарні сховища є досить вразливими до злому. Простий вірус може потрапити з будь-якого смарт-пристрою до виробничого середовища та негативно вплинути на весь виробничий процес.

Висновки дослідження та перспективи подальших досліджень. Переваги Індустрії 4.0 передбачають збільшення прибутковості, підвищення гнучкості та маневреності, а також покращання якості і ефективності виробництва. Технології Індустрії 4.0 володіють низкою переваг, а отже, мають хороший потенціал для повернення інвестицій. Це стосується систем автоматизації, управління виробництвом та прийняття рішень. Індустрія 4.0, на відміну від попередньої індустріальної епохи, уможливує історично безпрецедентну автоматизацію, кастомізацію та прибутковість. Крім того, значна кількість





розробок, що проводяться зараз в ряді секторів, включаючи матеріалознавство, мікробіологію, паливні елементи, фізику елементарних частинок, 3D-нанотехнології, системи накопичення і зберігання інформації володіють широкими можливостями до прогресу. По суті, Індустрія 4.0 описує четвертий етап промислового розвитку, коли інтелектуальні системи об'єднуються у все більш тісно інтегровані ланцюги доданої вартості. Таким чином, виробниче підприємство, що відповідає вимогам Індустрії 4.0 можна вважати повністю інтегрованим інтелектуальним середовищем.

Незважаючи на багатообіцяючі переваги, що пов'язані з Індустрією 4.0, вона також створює низку технічних, правових, економічних та організаційних викликів для компаній у ланцюжку створення вартості. Найбільш серйозні з них полягають у необхідності використання великих даних у режимі реального часу, постійній потребі повного завантаження виробничих потужностей, а також складності організації виробництва та забезпечення безпеки даних. Наведене може призвести до того, що для багатьох підприємств загальна економія виявиться незначною. Навіть існує небезпека, що економічна ефективність може знизитися, принаймні в короткостроковій перспективі. Оскільки компанії, які обирають Індустрію 4.0, спочатку повинні зробити значні інвестиції (наприклад, у консалтинг, програмне забезпечення, обладнання, навчання та фундаментальну реорганізацію), буде досить не просто провести обґрунтовану емпіричну оцінку впровадження технологій Індустрії 4.0 у виробництво.

Перспективи подальших розвідок у цьому напрямі вбачаються у висвітленні питання, яким чином технології, що лежать в основі Індустрії 4.0 можуть допомогти взаємодії людини і машини, а також підвищити ефективність виробництва.

Література

1. The Fourth Industrial Revolution, by Klaus Schwab. URL: <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab> (дата звернення: 9 серпня 2023)
2. Buhr D. Social innovation policy for industry 4.0. *Good Society – Social Democracy*. 2015. No. 17. P. 1–24.
3. Roblek V., Meško M., Krapež A. A complex view of industry 4.0. *SAGE Open*. 264 p.
4. Gunning D. *Artificial Intelligence and Machine Learning to Accelerate Translational Research*. New York : National Academic Press, 2018. 317 p.
5. Zzulka F., Marcon P. Industry 4.0 – An Introduction in the phenomenon. *IFAC - Papers On Line*. 2016. No. 49(25). P. 8–12.
6. Tortorella G., Vergara C. Organizational learning paths based upon industry 4.0 adoption: An empirical study with Brazilian manufacturers. *International Journal of Production Economics*. 2020. No. 219. P. 284–294.
7. Rosin F., Forget P., Lamour S. Impacts of Industry 4.0 technologies on lean principles. *International Journal of Production Research*. 2020. No. 58(6). P. 1644–1661.
8. Сосновська О. О., Вакофян В. Г. Індустрія 4.0: сутність і тенденції розвитку. *Бізнес Інформ*. 2022. Т. 14, № 30. С. 137–144.
9. Крючкова Н. М., Гацька Л. П., Лукьяненко Н. Е., Єжелей Ю. О. Український економічний вимір: четверта промислова революція. *Академічні візії*. 2023. Вип. 18. С. 1–8.
10. Ілляшенко С. Перспективи і проблеми інноваційного розвитку в умовах четвертої промислової революції. Київ : Аграр Медіа Груп, 2021. 127 с.
11. Smart Manufacturing. URL: <https://www.nist.gov/smart-manufacturing>. (дата звернення: 9 серпня 2023)
12. Kolberg D., Zühlke D. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC Papers On Line*. 2015. No. 48(3). P. 1870–1875.
13. Hecklau F., Galeitzke M. Holistic approach for human resource management in Industry 4.0. *Procedia CIRP*. 2016. No. 54. P. 1–6.
14. Ліпич Л., Хілуха О., Кушнір М. Вплив Індустрії Четвертої Промислової Революції на зміну бізнес-моделі підприємства. *Економічний форум*. 2023. № 1(3). С. 119–127.
15. Srivastava M., Rathee S. Additive manufacturing: fundamentals and advancements. CRC Press, 2019. 258 p.
16. Chenic A., Moroianu N. The Impact of Digitalization on Macroeconomic Indicators in the New Industrial Age. *Electronics*. 2022. No. 12(7). P. 1593–1612.

17. Metz D. The Concept of a Real-Time Enterprise in Manufacturing. Fachmedien Wiesbaden : Springer, 2014. 158 p.

References

1. The Fourth Industrial Revolution, by Klaus Schwab. Retrieved from: <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab>. (application date: August 9, 2023)

2. Buhr, D. (2015). *Social innovation policy for Industry 4.0*. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung, Division for Social and Economic Policies.

3. Roblek, V., Meško, M. and Krapež, A. (2016). A complex view of industry 4.0. *Sage open*, 6(2), 2158244016653987.

4. Gunning, D. (2018). *Artificial Intelligence and Machine Learning to Accelerate Translational Research*. New York : National Academic Press.

5. Zezulka, F., Marcon, P., Vesely, I. and Sajdl, O. (2016). Industry 4.0—An Introduction in the phenomenon. *IFAC-PapersOnLine*, 49(25), 8-12.

6. Tortorella, G. L., Vergara, A. M. C., Garza-Reyes, J. A. and Sawhney, R. (2020). Organizational learning paths based upon industry 4.0 adoption: An empirical study with Brazilian manufacturers. *International Journal of Production Economics*, 219, 284-294.

7. Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S. and Pellerin, R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1644-1661.

8. Sosnovska, O., Vakofian, V. (2022). Industry 4.0: The Essence and Development Trends. *Business Inform*, 14(30), 137-144

9. Kryuchkova, N., Gatska, L., Lukyanenko, N. and Yezheliy, Y. (2023). Ukrainian economic dimension: Fourth industrial revolution. *Academic visions*, 18.1-8.

10. Ilyashenko, S. (2021). *Prospects and problems of innovative development in the context of the fourth industrial revolution*. Kyiv. Agrarian Media Group. 127 p.

11. Smart Manufacturing. Retrieved from: <https://www.nist.gov/smart-manufacturing>. (application date: August 9, 2023)

12. Kolberg, D., Zühlke, D. (2015). Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1870-1875.

13. Hecklau, F., Galeitzke, M., Flachs, S., & Kohl, H. (2016). Holistic approach for human resource management in Industry 4.0. *Procedia Cirp*, 54, 1-6.

14. Lipych L., Khilukha O. and Kushnir M. (2023). Changing the business model of the enterprise under the influence of industry 4.0. *Economic Forum*, 1(3), 119-127.

15. Srivastava, M., Rathee, S., Maheshwari, S., & Kundra, T. K. (2019). *Additive manufacturing: fundamentals and advancements*. CRC Press.

16. Chenic, A. Ș., Burlacu, A., Dobrea, R. C., Tescan, L., Crețu, A. I., Stanef-Puica, M. R. and Moroianu, N. (2023). The Impact of Digitalization on Macroeconomic Indicators in the New Industrial Age. *Electronics*, 12(7), 1612.

17. Metz, D. (2013). *The Concept of a Real-time Enterprise in Manufacturing: Design and Implementation of a Framework Based on EDA and CEP*. Springer Science & Business Media.

Стаття надійшла

до редакції : 20.08.2023 р.

Стаття прийнята

до друку: 29.09.2023 р.

Бібліографічний опис для цитування :

Потелещенко П. В. Стратегії розвитку розумного виробництва в індустрії 4.0: переваги та виклики. *Часопис економічних реформ*. 2023. № 3 (51). С. 27–33.

