

DOI: 10.15276/ETR.06.2024.1
 DOI: 10.5281/zenodo.14549537
 UDC: 338.45:330.341.1
 JEL: O33, L23, M11, D24

ФОРМУВАННЯ СУЧАСНОГО ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА В МЕЖАХ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ «ІНДУСТРІЯ 4.0»

THE FORMATION OF MODERN HIGH-TECH INDUSTRIAL PRODUCTION WITHIN THE "INDUSTRY 4.0" CONCEPT IMPLEMENTATION



Volodymyr I. Dubnitskyi,
 Doctor of Economics, Professor
 Dnipro University n. Alfred Nobel,
 Dnipro, Ukraine
 ORCID: 0000-0002-3007-6116
 Email: dub1945@ukr.net



Vitaly I. Zakharchenko,
 Doctor of Economics, Professor
 Odesa Polytechnic National University,
 Odesa, Ukraine
 ORCID: 0000-0003-2903-2471
 Email: kafedra.info@mzeid.in

Received 05.11.2024

Дубницький В.І., Захарченко В.І. Формування сучасного високотехнологічного промислового виробництва в межах реалізації концепції «Індустрія 4.0». Оглядова стаття.

Запропоновано аналіз ключових технологій цифровізації сучасного високотехнологічного виробництва у межах реалізації концепції «Індустрія 4.0», що пов'язані з його організацією, апаратною і програмною автоматизацією, створенням нових механізмів міжмашинної взаємодії з урахуванням місця і функцій таких технологій у структурі загального науково-технологічного розвитку високотехнологічних підприємств. Розглянуто поняття, сутність та прикладний потенціал базових інструментів – цифрова трансформація як кіберфізична система, цифровий інтернет речей, система управління життєвим циклом продукції, колаборативні роботи, технології аналізу великих даних, штучний інтелект та аддитивні технології 3D-друку. Глибокий взаємозв'язок і взаємовплив таких технологій у високотехнологічному виробництві відбиває системний характер цифрової трансформації промислових структур та комплексного застосування у відповідності за рівнем автоматизації та робототехніки.

Ключові слова: Індустрія 4.0, промисловість, виробництво, система, високі технології, ефективність, цифровізація, штучний інтелект, проектування

Dubnitskyi V.I., Zakharchenko V.I. The Formation of Modern High-Tech Industrial Production Within the "Industry 4.0" Concept Implementation. Review article.

The key technologies analysis of modern high-tech production digitalization within the "Industry 4.0" concept implementation is proposed, related to its organization, hardware and software automation, creation of new mechanisms of inter-machine interaction, taking into account the place and functions of such technologies in the structure of the general scientific and technological development of high-tech enterprises. The concept, essence and application potential of following basic tools are considered - digital transformation as a cyber-physical system, Industrial IoT, product life cycle management system, collaborative work, technological analysis of big data, artificial intelligence and adaptive 3D printing technologies. The deep interconnection and mutual influence of such technologies in high-tech production reflects the systemic nature of the industrial structures transformation and complex application in accordance with the level of automation and robotics.

Keywords: Industry 4.0, industry, production, system, high technologies, efficiency, digitalization, artificial intelligence, designing

Концепція Індустрія 4.0, яку вперше сформулювали у вигляді впровадження кіберфізичних систем у промисловій виробничі процеси (Гонновер, 2011), передбачала, що у межах інформаційно-мережевого простору вони під впливом цифрової трансформації будуть об'єднуватися у єдину мережу та пов'язані одна з одною у режимі реального часу, а також самоналаштуватися і вчитися новим моделям поведінки. Такі утворення зможуть вибудовувати високотехнологічне (ВТ) виробництво з більш меншою кількістю помилок, взаємодіяти як з ВТ продукцією так із її споживачами в цілому, а за необхідністю адаптуватися до зміни потреб замовників. Також передбачалося, що такі процеси будуть відбуватися у повністю автономному/ роботизованому режимі без участі людини. Основу концепції Індустрія 4.0 складають чотири принципи: 1) функціональна сумісність людини і машини, яка виявляє можливість контактувати прямо через Інтернет; 2) прозорість й висока достовірність інформаційно-аналітичного забезпечення та здібність систем створювати віртуальну копію фізичного світу; 3) техніко-технологічна допомога машин виконавцям для об'єднання великих обсягів даних і виконання низки небезпечних для людей задач; 4) здібність систем самостійно і автономно приймати оптимальні рішення.

У Національній економічній стратегії на період до 2030 р. за напрямом 10-промисловість за стратегічною ціллю «Створення виробничих

потужностей через стимулювання інноваційної діяльності підприємств у всіх регіонах країни із використанням конкурентних переваг кожного з них» одним зі шляхів досягнення є «Впровадження Індустрії 4.0». Там визначені наступні завдання: популяризація концепції Індустрія 4.0, інституалізація Індустрія 4.0 – синхронізація стратегії, залучення промислових компаній до запровадження концепції «Індустрія 4.0» за рахунок коштів фондів ЄС, сприяння проведенню просвітницьких заходів щодо перенесення передового досвіду з сектору ІТ до промислових секторів, забезпечення інтеграції інновацій у сфері Індустрія 4.0 в стратегії оборонного комплексу та безпеки країни, формування нових компетенцій персоналу в промисловості з метою впровадження цифрових технологій, повномасштабна діджиталізація ключових секторів промисловості, забезпечення кластеризації у сфері Індустрії 4.0 – на національному та регіональному рівні [13].

Термін «Індустрія 4.0»: формує розуміння змін, що відбуваються в умовах цифрової трансформації економіки; є конкурентом, що створює фундамент для економіко-технологічних та політико-соціальних ініціатив, а, згадуючи сучасне тяжкі часи – також оборонно-промислові ініціативи; спонукає для більш обґрунтованого впровадження заходів, що виробляються та підтримуються державою і бізнесом, для розвитку програм дослідження та розробок, а тому вони є інституціональними за суттю.

Представлене дослідження присвячено аналізу ключових технологій цифровізації сучасного ВТ виробництва, що пов'язані з його організацією, апаратною і програмною автоматизацією, створенням нових механізмів міжмашинної взаємодії з урахуванням місця і функцій таких технологій у структурі загального організаційно-технологічного розвитку ВТ підприємства.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

З моменту виникнення терміну «Індустрія 4.0» змістом цієї концепції зацікавилася велика кількість вчених, серед яких можливо згадати їх праці [18, 19, 22, 25], та які поглибили вивчення і просування у практичну площину аспектів новітньої промисловості. Необхідно підкреслити, що критики концепції вказують на те, що ніякої революції у класичному розумінні не відбувається, що поточні зміни під впливом цифровізації є не більш чим поглиблена автоматизація, а термін «Індустрія 4.0» є трендовою назвою [3].

Засновник і голова ВЕФ Шваб К. називає сучасні зміни в економіці Четвертою промисловою революцією «Індустрія 4.0» та характеризує її місце в економічній історії наступним чином: «Перша промислова революція почалася у другій половині XVIII ст., коли з'явилася можливість за допомоги води і пару здійснити перехід від ручної праці до машинної. Друга характеризувалася розвитком масового конвеєрного виробництва, який був пов'язаний з

опануванням електрики. Ми живемо в епоху ще третьої промислової (або цифрової) революції, що почалася у другій половині минулого століття зі створення цифрових комп'ютерів та подальшої еволюції цифрових технологій. Сьогодні вона поступово трансформується у Четверту промисловою революцію, яка характеризується злиттям технологій та розмиттям меж між фізичним, цифровим і біологічним світами» [27].

Діба М. та Гернего Ю. у своїй роботі обґрунтовують порядок трансформації та розбудови суспільства у процесі становлення Індустрії 4.0; визначають проблеми, які постають перед міжнародною спільнотою і вітчизняною економікою при переході до Індустрії 4.0, а також шляхи її розв'язання; досліджують можливі напрями використання фінансових ресурсів для розвитку «Індустрії 4.0» в Україні та світі [5].

Меркулов М. і Онешко С. у своїх дослідженнях підходять до формування сучасної інноваційно-інвестиційної політики в Україні на принципах і основах концепції Індустрія 4.0 [15, pp 1.1, 1.2].

Також можливо звернути увагу на створення організаційно-технологічних систем в ОПК України у межах реалізації Індустрія 4.0, які автори обґрунтовують у роботі [10].

Аналіз точок зору різних дослідників буде продовжено вже в основній частині цієї роботи.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Слід зробити наголос на тому, що хоча Індустрія 4.0 є пріоритетною, але не обов'язковою умовою у сучасному ВТ виробництві. Процес впровадження її принципів відбувається доволі повільно та супроводжується достатнім скептицизмом з боку окремої частки топ-менеджерів ВТ підприємств, які ще не оволоділи інструментарієм цього перспективного напрямку розвитку промислового виробництва. Таке становище обумовлюється незнанням всіх можливостей технологій цифрової трансформації, яка вже є глобальним явищем, та слабкою розвиненістю саме її інструментів. Слід також звернути увагу на те, що військово-політична ситуація в Україні загострює таке питання для вітчизняної ВТ сфери та робить необхідним підняття якості її функціонування. Це можливо за рахунок комплексного використання підходів і методів цифровізації ВТ виробництва.

Виклад основного матеріалу дослідження

На сучасному етапі розвитку ВТ галузей промисловості одним з ключових напрямів їх розвитку є комплексна цифровізація за рахунок застосування низки технологій, що поєднуються експертами і вченими у межах концепції Індустрія 4.0, яка за своєю сутністю відбиває перехід промислового виробництва до технологічного укладу Четвертої промислової революції. Динамічний розвиток Індустрії 4.0 обумовлено суттєвим прогресом в області обчислювальних можливостей сучасних комп'ютерів та систем інтелектуальної автоматизації виробництва,

удосконалення алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) та впровадженню механізмів міжмашинної взаємодії на основі реалізації промислового Інтернету речей і низки інших проривних технологій.

Системність і взаємопов'язаність у рамках реальних виробничих систем (наприклад, ОТС [10]) вказані вищі технології дозволяють досягати комплексної цифрової трансформації у існуючих

ВТ підприємств, а завдяки цьому радикальний приріст їх економічної та технологічної ефективності. Це обумовлює впровадження таких технологій як однієї з найважливіших складових конкурентного потенціалу ВТ підприємства.

З методологічної точки зору варто знову повернутися до визначення категорії «Індустрія 4.0» у тому вигляді як це бачать безпосередні дослідники на Заході (табл. 1).

Таблиця 1. Зміст категорії «Індустрія 4.0»

Зміст	Джерело
Взаємозв'язок інформаційно-комунікаційних технологій і ВТ виробничих систем.	Meissner H., Iesena R., Auricha, 2017
Промислова революція що базується на кіберфізичних виробничих системах та завдяки яким відбувається з'єднання фізичного і віртуального світу	Schlaepfer R., Koch M., Merkofen P., 2015
Цифровізація ВТ виробництва, що базується на новітніх технологіях та передбачає з'єднання у єдину систему секторів обладнання/виробів та ІТ систем за ланцюгом створення вартості, як у межах одного суб'єкта господарювання, так й за його кордонами	Gerbert P., Lozenz M., Rubmann M., 2015
Ключовими постулатами Індустрії 4.0 є інтеграція фізичних елементів ВТ виробництва та ІТ систем з ціллю розвитку і використання кіберфізичних систем для виробництва продукції	Herter J., Outcharova J., 2016
Технологічна еволюція яка передбачає перехід від вбудованих систем до кіберфізичних систем. Зміщення парадигми від централізованого виробництва до децентралізованого. Взаємодія реального і віртуального світу. З'єднання вбудованих систем ВТ виробництва і розумних виробничих процесів	Industrie 4.0, 2014
Перехід від повністю автоматизованого цифрового виробництва яке керується інтелектуальними системами у режимі реального часу у постійній взаємодії із зовнішнім інформаційно-мережевим середовищем, яке виходить кордони ВТ підприємства з перспективою об'єднання у глобальну промислову мережу речей і послуг, яка підтримується аналізом великих даних	Bauer H., Pavel M., Veiza J., 2016

Джерело: власна розробка авторів

Підсумовуючи вищенаведені узагальнення, можливо відмітити, що від попередніх революцій Індустрію 4.0 відрізняють наступні обов'язкові ознаки, а саме:

1) цифровізація і вертикальна інтеграція за ланцюгом створення вартості (тобто, Індустрія 4.0 передбачає цифровізацію та інтеграцію процесів по вертикалі у межах цілісного ВТ підприємства, починаючи від розробки нових продуктів і закупівлі необхідних матеріалів та комплектуючих, закінчуючи виробництвом, логістикою і сервісним обслуговуванням);

2) цифровізація і горизонтальна інтеграція деяких ланцюгів створення вартості (горизонтальна інтеграція виходить за межі діяльності одного підприємства та охоплює постачальників, споживачів і всіх ключових партнерів за ланцюгом створення доданої вартості);

3) цифровізація продуктів/послуг (цифровізація у цьому випадку передбачає доповнення наявних продуктів інтелектуальними датчиками або пристроями зв'язку, які сумісні з інструментами аналізу даних завдяки впровадженню нових методів аналітики на ВТ підприємстві; тоді з'являється можливість отримати дані від використання нових продуктів й доробляти ці продукти у відповідності з новими вимогами кінцевих споживачів);

4) цифрові бізнес-моделі та доступ клієнтів за рахунок взаємодії з відомими підприємствами ВТ сфери, що також розширює спектр послуг, так як вони надають революційні цифрові рішення: наприклад, комплексне персоналізоване обслуго-

вування на основі даних та інтегрованих платформ);

5) поява нових цифрових бізнес-моделей (частіше вони спрямовані на отримання додаткової виручки від цифрових рішень, оптимізацію взаємодії з клієнтами в умовах існування оновлених виробничої та інформаційної екосистем, а також промислових кластерів, цифрові продукти/послуги частіше залучаються для обслуговування клієнтів шляхом надання їм комплексних рішень в обособленій цифровій екосистемі);

6) розвиток технологічних платформ (підприємства використовують ВТ обладнання, метрологічні устатки, інформаційно-комунікативні рішення і кіберфізичні системи, які забезпечують процеси цифровізації та інтеграції).

Сукупність технологій, що забезпечують взаємодію між віртуальним і фізичним світом називається кіберфізичною системою. Стосовно промисловості достатньо часто використовуються термін «кіберфізична виробнича система» (КФВС). Корпорація АВМ визначає кіберфізичні системи як «системи, в яких обчислювальні елементи взаємодіють з датчиками, які забезпечують моніторинг кіберфізичних показників, а також виконавчі елементи, які несуть зміни у кіберфізичне середовище» [4]. Необхідно помічати, що частіше КФВС орієнтовані на те, щоб будь-яким чином керувати оточуючим середовищем. КФВС об'єднують інформацію та інтелектуальні датчики, які розпорознені у фізичному середовищі, для кращого зрозуміння

середовища, його мережевої сутності у взаємодії та виконанні більш точних дій. З точки зору Дзанін А., у фізичному контексті виконавчі елементи на основі отриманих даних несуть зміни у середовище користувачів. У віртуальному контексті КФВС застосовуються для накопичення даних про віртуальні дії користувачів [21].

Сучасні технології знаходяться у сфері цифрової економіки у процесі безперервного розвитку і ВТ підприємства різних галузей віддають перевагу розвитку різноспрямованих технологій. У перелік «сквозних» і проривних технологій можливо віднести: квантові комп'ютери, нанотехнології, композитні матеріали, оптичні технології та інше. Всі вони є важливими драйверами розвитку сучасної промисловості на основі цифрових технологій.

Далі буде розглянуто положення комплексної цифровізації за рахунок низки технологій, що об'єднані у межах реалізації концепції Індустрія 4.0. До технологій Індустрія 4.0, що пов'язані з організацією виробництва, відносяться Інтернет речей (ІТ), кіберфізичні системи і системи управління життєвим циклом виробів. У першу чергу слід розглянути сутність і роль у сучасному цифровому виробництві ІТ (Industrial Internet of Things). У межах організації цифрового виробництва ІТ виконує одну з важливіших функцій, формуючи постійно діючі зв'язки між багатьма одиницями обладнання, метрологічних устрій на ВТ підприємстві у межах загального цифрового середовища. Це дозволяє забезпечити створення стійких механізмів міжмашинної взаємодії, підвищити ефективність використання обладнання та зменшити при цьому загальний час його простоїв. Завдяки використанню технологій ІТ фахівцями ВТ підприємства максимально точно синхронізуються цикли роботи окремого обладнання, внаслідок чого оптимізується графік виробництва і знижується надлишок енергоспоживання. Крім того, міжмашинна взаємодія підвищує рівень самоорганізації обладнання у складі виробничої лінії у процесі сумісного виконання серії послідовних автоматизованих операцій над заготовками і деталями, включаючи необхідність постійного контролю за їх протіканням з боку співробітників підприємства.

Прикладна реалізація ІТ відбувається на основі оснащення обладнання ВТ підприємства виконавчими механізмами, датчиками, сенсорами, метрологічними устрями, які відстежують параметри роботи і технічного стану, інформація про які надсилається у центр обробки даних підприємства за допомогою оптиковолоконного або бездротового зв'язку. Використання технології «цифровий двійник» дозволяє сформулювати на основі таких даних віртуальну модель окремого підрозділу (підсистеми, ОТС) або підприємства вцілому, що буде динамічно відображати роботу діючого обладнання у режимі реального часу.

Цифроструктура ІТ є необхідним технологічним фундаментом для побудови кіберфізичних систем. У найбільш спрощеній трактовці під

терміном «кіберфізична система» розуміється сукупність промислового і метрологічного обладнання, що об'єднуються у межах інфраструктури ІТ у взаємопов'язану виробничу екосистему, яка володіє можливостями самоконтроля і саморегулювання. Кіберфізична система уявляє собою наступний етап комплексної автоматизації виробництва, в якому баланс в управлінні виробничим процесами зміщується з людино-машинних на міжмашинні взаємодії, завдяки чому у значному ступені зростає ефективність саме виробництва, мінімізуються покликані людським фактором затримки та збої. В значному ступені така можливість кіберфізичних систем пов'язана із застосуванням у її структурі алгоритмів ІІ, навчених розробниками для вирішення задач організації та управління виробничими процесами. Людина у такій системі поступово наближається до ролі спостерігача, в той час як високо-автоматизоване обладнання набуває все більше можливостей для міжмашинної кооперації.

Оснащення виробничого обладнання і метрологічних устроїв у межах кіберфізичних систем приводами і виконавчими механізмами дозволяє персоналу ВТ підприємства на відстані як контролювати реалізацію виробничих процесів, так і керувати ними дистанційно за допомогою комп'ютера або робочого графічного планшета. Фактично кіберфізична система уявляє собою важливий крок до втілення ідеї «безлюдного» виробництва за ідеологією концепції Індустрія 5.0, у якій машини вперше набувають здібності та функціональні можливості для самостійної реалізації технологічних циклів різного ступеня складності [20].

У якості комплексних систем управління, як кіберфізичними ВТ системами так і іншими підсистемами ВТ підприємств у межах Індустрії 4.0 з перспективою переходу до Індустрії 5.0, впроваджуються, в основному, в ВТ виробництвах розвинених країн – в системах управління життєвим циклом виробу (Product Lifecycle Management – PLM). Технологія PLM, що розвивається технічно-технологічно і методологічно ще з кінця минулого століття, стала важливою компонентою загального комплексу технологій Четвертої промислової революції, так як саме її філософія з'явилася співзвучною базовим ідеям цифровізації виробництва.

В Україні у той час на окремих ВТ підприємствах («Гопаз», «Іскра», «Салют», «Інтеграл») проводилися дослідження і розробки технології впровадження повного замкнутого циклу CALS-технології (безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу продукту), а саме циклу від розробки до вводу виробу в експлуатацію з використанням обчислювальної техніки. Насамперед, це торкалося автоматизації проектно-конструкторської та технолого-метрологічної документації, а також програм для обладнання з ЧПУ і всієї супутньої планово-економічної інформації.

На відміну від більш консервативних підходів до управління ВТ підприємством, на яких у фокусі уваги менеджменту знаходилося саме виробництво, управління життєвим циклом виробів концентрувалося на зборі, обробці, систематизації та дослідженні інформації про виробництво продуктів та супутніх їх створенню процесів. Аналіз, таким чином, зібраної інформації дозволяє виявити надлишкові витрати, неефективні технологічні процеси, проблеми в області взаємодії окремих підрозділів ВТ підприємства під час виробництва продукції та інше [30].

В умовах реалізації концепції Індустрії 4.0 PLM система подає собою розвинену програмну систему, яка охоплює різні автоматизовані підсистеми ВТ підприємства на всіх етапах розробки, проектування, виробництва і сервісного обслуговування продукту та сприяє більш їх ефективному взаємозв'язку, виявленню і рішенню техніко-технологічних та організаційних проблем за всім життєвим циклом виробу.

Науково-технологічний прогрес у сфері ВТ виробництва, який вже є об'єктивною реальністю в умовах цифрової трансформації у межах Четвертої промислової революції, зачіпає й технології його апаратно-методологічної автоматизації, приводячи до достатньо широкого розповсюдження колаборативних роботів. Активне використання промислових роботів у виробництві бере свій початок у 1960-х р.. Перші прототипи промислових роботів були створені й застосовані у виробництві у 1961 р. у США інженерами Деволом Д. та Енгельборгом Д. у рік отримання патенту на власний винахід. Їм зацікавилася керівництво автомобільної корпорації General Motors, яке замовило для власного виробництва першу партію роботів Unimate. Роботизація виробництва у той час уявлялася дуже перспективним напрямом, як вченим того часу, та й власникам підприємств, так як дозволяла автоматизувати використання складних і трудомісних операцій, а також операцій із заготовками, які оброблялися у шкідливих для людини умовах (наприклад, в умовах високих температур) [6].

У наступне десятиліття ідея створення власних промислових роботів приваблювала багатьох великих ВТ компаній (KUKA, ABB, Fanuc, Rapasonic та ін.), а сама промислова робототехніка стає невід'ємною складовою технологічного ландшафту автоматизованого підприємства [25].

Стрімкий розвиток технологій ВТ виробництва, що супроводжується розповсюдженням досягнень Четвертої промислової революції, відбувається на розвитку промислової робототехніки, у результаті чого в рамках концепції Cobotics (Collaborative Robotics) були створені перші колаборативні роботи. З точки зору науки створення колаборативних роботів є результатом активізації прикладних досліджень на перетині таких областей, як робототехніка, механотроніка, ергономіка, біоніка та ШІ. Ключовою відмінністю такого типу роботів є те, що вони здатні

ефективно і безпечно взаємодіяти з людиною у процесі роботи та можуть виконувати сумісні з людиною фізичні дії та операції. При цьому зростає ефективність виконання таких операцій, у яких колаборативний робот бере на себе найбільш трудомісні функції, а спеціаліст має можливість зосередитися на інтелектуальних і більш складних за просторовою точкою зору операціях.

Промислові роботи попередніх поколінь, незважаючи на наявність у них базових сенсорів, визнавалися технічно загрозливим обладнанням, а зона їх функціонування завжди була ізольована від персоналу (запобігання отримання виконавцями травм і ушкоджень).

Колаборативні роботи початково проектувалися як безпечні для людини прилади, які оснащені значною кількістю сенсорів і датчиків, у тому числі що фіксують зіткнення з людиною, а також розвиненою системою розпізнавання зразків та розвиненим ШІ. Крім того, сучасні колаборативні роботи володіють меншими масогабаритними розмірами і швидкістю руху маніпуляторів ніж традиційні промислові роботи, що також мінімізує потенціальні ризики отримання травм і ушкоджень для взаємодіючого з ним персоналу.

Слід особливо придивитися до ще одного дуже важливого напрямку розвитку Четвертої промислової революції – з урахуванням впливу цифрової трансформації суттєвий вплив мають інтелектуальні технології та системи управління ВТ виробництва, у число яких входять технології аналізу великих даних і ШІ. Інформація про ВТ підприємства, їх виробничі процеси та конкурентів в умовах Індустрії 4.0 перетворюються у важливий ресурс, який використовується для системного і безперервного підвищення його ефективності, стратегічного планування, максимізацію ефективного тактичного і оперативного управління проектами. У цьому зв'язку все більш актуальним для наукового і професіонального співтовариств є афоризм, що належить британському математику Хамбі К. (2006 р.): «Дані – це нова нафта» [2]. При цьому в системі цифрового виробництва важливим є не стільки дані, скільки технології та інструменти їх автоматизованого збирання, обробки і використання для досягнення стратегічних цілей ВТ підприємства, оскільки дані про різні показники і процеси на ВТ підприємстві збиралися та аналізувалися й у попередній час, до наступу Четвертої промислової революції. Ключовою відмінністю підходів до роботи з даними, що задекларовані у межах Індустрії 4.0, виступає саме приріст кількісних та якісних показників ефективності роботи з цими даними, що досягається на основі застосування принципово нових технологій і алгоритмів, які пов'язані з аналізом великих даних.

Під великими даними у контексті цього дослідження розуміється значний обсяг неструктурованих або слабкоструктурованих даних про

різні напрями діяльності ВТ підприємства, функціонування його підсистем, які, в силу обсягу і внутрішньої розрідженості, перевищують потенціал сучасних реляційних баз даних та можуть бути проаналізовані за допомоги традиційних статистичних підходів і обмежених обчислювальних ресурсів. Методи і технології аналізу даних, що передували Четвертій промисловій революції, як правило, були сильно обмежені інтелектуальними можливостями фахівця, що їх проводив, а також доступністю йому відповідних програмних продуктів. Це призводило до високої вибірковості у формуванні виборок, які як правило, відбивали лише динаміку окремих ключових показників, а їх обсяг відповідав обмеженій такому фахівцю обчислювальної техніки. Значний процес у розвитку комп'ютерів на початку XXI століття дозволив продовжувати аналіз більш масштабних виборок, але зі збереженням умов їх структурованості, що відповідає принципам роботи людської логіки. У той час, обсяги даних, що цілісно описують комплексне функціонування ВТ підприємства – великі дані, – залишаються недоступні для спрощеного людського аналізу. Це обумовило необхідність розробки інтелектуальних алгоритмів аналізу великих даних, які були здібні подолати обмеження людського сприйняття, осмислення та інтерпретації інформації, які стали одним із драйверів розвитку Індустрії 4.0. В число активно розвинених технологій аналізу великих даних входять технології MapReduce, Hadoop, Data Mining, машинне навчання, прогнозна аналітика, генетичні алгоритми, розпізнавання образів, просторовий аналіз, багатомірний аналіз даних (OLAP) та інше. Кожна з вказаних технологій володіє своїми особливостями і потребує серйозної підготовки, у тому числі цифрової, інформаційної, фінансової, маркетингової та комп'ютерної грамотності відповідних спеціалістів ВТ підприємства. Для спрощення завдання організації аналізу великих даних більшість крупних виробників програмного і апаратного забезпечення для автоматизації виробництва пропонують свої готові рішення. У числі таких рішень можливо назвати сумісну платформу IBM Cognos Analytic, Oracle Big Data, Bigunery of Google, SAP, HANA, MicroFocus Vetica Analytics Platform та інші.

Деякі компанії надають замовнику для проведення обчислень власне хмарне середовище у межах моделі «Програмне забезпечення як послуга» (Saas-Software as a Service), визволяючи його, таким чином, від необхідності закупівлі та установки дороговартісного сервісного обладнання.

Однією з опорних технологій Четвертої промислової революції виступає ІІІ, який грає важливу роль в багатьох напрямках цифровізації ВТ підприємств. Різні алгоритми ІІІ використовуються при навчанні колаборативних роботів, аналізі великих даних, організації кіберфізичних систем та PLM-систем. Сьогодні у науковій і

прикладній сферах активно розвиваються різні технології ІІІ: нейронні мережі, нечіткі системи, еволюційні алгоритми, рекурентні мережі, системи на основі м'яких обчислень та інше. Більшість з наявних технологій розуміє необхідність спеціального навчання алгоритмів ІІІ для рішення прикладних задач і виконання визначених функцій у межах ВТ виробництва [14].

З точки зору практичної реалізації систем ІІІ у ВТ підприємства існує вибір: за наявністю у штаті підприємства фахових спеціалістів в сфері ІІІ вони в змозі спробувати спроектувати і навчити схожу систему самостійно, або менеджмент ВТ підприємства прибігає до закупівлі готового рішення. Відмічаємо, що такі готові рішення сьогодні передбачають великі суб'єкти господарювання в межах ринку високоінтелектуальних послуг, які спеціалізуються на створенні програмно-апаратних комплексів для цифрової трансформації (IBM, HP, Microsoft, Oracle, Cisco, SAP, Apple, Nvidia та інші).

Одним з первісних етапів розвитку сучасної науки про ІІІ рахується Дартмундський семінар, який відбувався на протязі двох місяців у 1956 році у Дартмундському коледжі у США. Організаторами цього семінару стало відомі вчені того часу в області інформації, кібернетики та математики – Мінські М., Шеннон К., Маккарті Д., Рочестер Н. У якості основної теми семінару було обговорення питань, що пов'язані з можливостями технологій того часу для створення математичних і програмних моделей людського розуму. Сам термін «штучний інтелект» був вперше запроваджено у межах Дартмундського семінару Маккарті Д. Хоча сам семінар не приніс його учасникам і слухачам моментального відкриття, він створив важливий соціальний імпульс, покликав інтерес до теми ІІІ у достатньо великого числа вчених [17].

У наступні десятиліття розвиток ІІІ періодично зіштовхується зі складнощами, частина яких мала місце у методологічній площині, а частина – у площині технічних обмежень, що були пов'язані з недостатністю швидкоплинності та обчислювальною потужності комп'ютерної техніки того часу. В історії розвитку ІІІ спостерігається згасання зацікавленості наукового співтовариства до цієї теми та зниження дослідницької активності та отримали назву «зима ІІІ». Найбільш тривалі «зими» були зафіксовані у періоди з 1974 р. по 1980 р. та з 1987 р. по 1993 р., що було пов'язано зі зростанням у ті періоди скептицизму наукового світу по відношенню до ІІІ та невдачами окремих проєктів з його реалізації [1].

Впритул до початку XXI с. ІІІ розвивався переважно у якості напрямку, відокремленого від реальної промисловості. Зростання зацікавленості до його застосування у промисловому виробництві був покликаний одночасно кількома факторами:

- 1) стрімкий розвиток комп'ютерної техніки;

2) створення перспективних моделей ШІ включно багатопарові нейронні мережі;

3) потреба ВТ підприємств у підвищенні інтелектуального потенціалу автоматизованих систем;

4) загальний розвиток цифрової інфраструктури.

При цьому найбільший прогрес у розвитку і впровадженні ШІ на виробництві був пов'язаний з початком Четвертої промислової революції, у межах якої ШІ набув статус пов'язуючої сили, яка у здатності об'єднувати сотні приладів та машин завдяки інфраструктурі. ШІ створив з них гнучку керовану систему, в якій людський і машинний інтелект доповнюють один одного у намаганні до загальної цілі – підвищенню ефективності ВТ виробництва.

Розвиток ШІ було покладено в основу нового покоління технологій комплексної автоматизації виробництва – інтелектуальної автоматизації, у якій ШІ забезпечує виконання низки раніше недоступних машинам функцій: аналізу, контролю, регулювання режимів роботи виробничого обладнання, створюючи таким чином додатковий контур управління виробничими процесами на ВТ підприємствах [16].

В заключну категорію класифікації технологій цифрової трансформації ВТ промисловості входять технології аддитивного виробництва: 3D-друк із застосуванням пластика й композитів, технології селективного лазерного спекання на основі металевих порошків та технології електронно-променевого плавлення. Поняття активності передбачає відмову від традиційного засобу отримання деталі: замість різних операцій з виділення зайвих прошарків матеріалу шляхом механічної обробки заготовки у випадку аддитивної виробництва відбувається пошарове відтворення деталі на основі наплавлення або спекання прошарків визначеного матеріалу (термопластики, гіпси, рідинні фотополімери, композити, металеві порошки) у відповідності із заздалегідь підготовленого за допомогою систем автоматизованого проектування еталонної 3D-моделі. Зростання затребуваності технологій аддитивного виробництва в умовах Четвертої промислової революції із урахуванням впливу цифрової трансформації пов'язана, насамперед, з можливістю суттєвого спрощення і скорочення числа технологічних процесів виробництва окремих деталей і вузлів ВТ продукції при збереженні та, у деяких випадках, підвищенні рівня якості та надійності отриманих результатів. Крім того, впровадження подібних технологій дозволяє досягати кастомізованого виробництва, що також активно розвивається у межах Індустрія 4.0, передбачаючи можливість замовника самостійно визначати зовнішній вигляд і окремі параметри ВТ продукта до початку його виготовлення. Це сприяє збільшенню цінності споживчого попиту, коли людина має можливість індустріалізувати продукт, який придбається,

надаючи йому унікальні риси та, у деяких випадках, роблячи неповторним.

Найбільш відомою з технологій аддитивного виробництва, яка використовується як на великих ВТ підприємствах, так і на маленьких є 3D-друк методом плавлення (Fused Deposition Modeling – FDM). Така технологія дозволяє виготовляти вироби за складною геометрією шляхом наплавлення у принтері пластикової нитки (у низці приладів із можливістю армування, створення конструкції паралельно із композитною ниткою), виготовлення яких традиційними методами потребувало би проведення значно більшого числа операцій. В той же час міцність отриманих виробів значно нижче, ніж їх металеві аналоги, що звужує область застосування технологій FDM у виробництві елементів продукції ВТ підприємства, не припускаючи застосування до них великих перевантажень. Як правило, технологія FDM у сучасних умовах використовується для створення дослідницьких прототипів деталей, а також для виготовлення дрібних партій ВТ продукції на невеликих підприємствах. Її перевагою у цьому контексті виступає порівняльно невисока ціна на обладнання для 3D-друку, що дозволяє придбати його навіть окремим підприємцям-винахідникам, які вперше опанують технології аддитивного виробництва [12].

Друга технологія аддитивного виробництва, що активно розвивається, – технологія лазерного спікання (Selective Laser Melting – SLM), яка у якості робочого матеріалу використовує металеві порошки. Така технологія, на відміну від попередньої, затребувана багатьма ВТ підприємствами у якості повноцінної альтернативи виготовлення металевих деталей і конструкцій традиційними методами обробки. Високий потенціал SLM-технологія демонструє у автомобілебудуванні, енергетичній, авіаційній та аерокосмічній промисловостях, а також в інших ВТ галузях. Насамперед, це пов'язано з високою точністю виготовлення деталей, їх міцністю та значним скороченням часу на їх створення. Разом з тим застосування технології селективного лазерного спікання дозволяє отримати значний економічний ефект, оскільки один SLM-принтер у взмоє зробити заміну декільком верстатам з ЧПУ та обробним центрам, використання яких було б необхідним для проведення послідовності операцій з обробки заготовки, яку він один у змоє надрукувати протягом декількох годин. Така технологія широко застосовується у розвинених країнах. Наприклад, SLM сьогодні знаходиться у фокусі уваги крупних ВТ компаній, у число яких входять General Electric, Boeing, Rolls-Royce, BMW, Airbus, Tesla, Tomson, Siemens та інші [8].

На відміну від розглянутих вище, технологія лазерної стереолітографії (Stereolithography Apparatus – SLA) у якості сировини використовує не тверді матеріали, а рідину фотополімерної смоли, тверді заготовки з якої з'являються під впливом лазерного проміння, яке цілеспрямовано

висвітлює ті ділянки спеціальної вани, що містить смолу, які відповідають окремим блокам первісної 3D моделі. Така технологія широко використовується для створення прототипів і трьохмірних моделей перспективних виробів, а також застосовується у медичинській сфері та в архітектурі. Її базовою перевагою є те, що саме процес виготовлення прототипу займає у середньому менше часу, ніж із використанням інших технологій аддитивного виробництва при збереженні аналогічної точності, а обладнання є більш компактним і дешевим, на відміну від SLM-принтерів. Основний недолік технології SLM полягає у більш слабких характеристиках міцності моделі, що виготовляється, що ускладнює її використання для друку деталей і конструкцій, що підлягають систематичному навантаженню і зносу. Відповідно, у більшості випадків технологія SLA застосовується для створення демонстраційних прототипів майбутніх виробів [28].

Як було наведено вище, одним з ключових якостей економіки цифрової трансформації у межах інформаційно-мережевого суспільства є розвиток екосистемної взаємодії між різними учасниками інноваційно-інвестиційної діяльності при розробці та виробництві інновацій. До найбільш перспективних форм такої кооперації у сучасній інноваційній економіці відносять, насамперед за все, кластерні та екосистемні структури які є опорними точками національної програми цифрової трансформації України, яка ґрунтується на базових принципах кластерної та екосистемної взаємодії між суб'єктами бізнесу і цивільного суспільства [9, 23].

Індустрія 4.0, таким чином (якщо вже переходити до узагальнень), ґрунтується на

дев'яти базових технологіях: сучасна робото-техніка; великі дані та аналітика; хмарні обчислювання; промислова ітерація у взаємодії Інтернет-маркетингу з горизонтальною та вертикальною системною інтеграцією, моделювання у сфері ІТ і технології ШІ; доповнена реальність; адитивне виробництво і кібербезпека. ВТ підприємства розкривають цілісний потенціал Індустрії 4.0, координують впровадження цих, наприклад, шляхом розміщення датчиків для збирання даних у безпечному хмарному середовищі та застосовуючи розширену аналітику для отримання необхідної інформації [7].

Слід відмітити, що Індустрія 4.0 є пріоритетною, але не обов'язковою умовою. Опитування і результати дослідження BCG Focus у 2017 р. і в 2022 р. довели, що в цілому до 74% респондентів (топ-менеджмент не тільки 12 великих компаній США, так й середніх та малих фірм) відповідали, що прийняття і реалізація технологій Індустрії 4.0 є базовим для них пріоритетом. При цьому респонденти великих компаній (General Electric, IBM, Tesla та ін.), тобто різних галузей, які чутливі до витрат (як напівпровідники та мікрочипи), електроніка, авіа/авто/судно-будування, хімічна та фармацевтична промисловість, більш за всіх прямують вперед. За підсумками опитування і систематизації результатів було доведено, що ці компанії очікують найбільшу вигоду за рахунок зниження виробничих витрат – 47%, покращення якості та параметрів надійності (термін експлуатації) – 43% швидкості операцій – 13% [7]. Вплив технологій Індустрії 4.0 на фінансово-економічні показники ВТ підприємств може бути різним. Спробуємо узагальнити ситуацію (табл. 2).

Таблиця 2. Вплив технологій Індустрія 4.0 на фінансово-економічні показники ВТ підприємств

Показники	↑ - позитивні зміни; ↓ - негативні зміни		
	Великі ВТ підприємства	Середні ВТ підприємства	Малі ВТ підприємства
Виручка	↑ Підвищення швидкості просування ВТ продукції на ринок за рахунок прискорення виробничого циклу завдяки новій технології	↑ Зростання кастомізації ВТ товарів/послуг за рахунок більш точної ідентифікації та задоволення персональних потреб клієнтів	↑ Зростання якості надання ВТ товарів послуг за рахунок зниження відсотку браку, економія від масштабу, часу доставки
Собівартість	↑ Зниження витрат на ремонтно-експлуатаційні роботи за рахунок продуктивної аналітики на основі сучасного інформаційно-аналітичного забезпечення	↑ Зниження витрат на оплату праці за рахунок заміщення людської праці роботами, використання безлюдних технологій на основі ШІ	↑ Зниження витрат на запуск в т виробничого обладнання за рахунок адитивних технологій виготовлення окремих деталей методом 3D друку
	↑ Зниження витрат на електроенергію за рахунок «розумного» управління розподілом електроенергії та впровадження технологій «зеленої» енергетики	↑ Зниження витрат на виправлення продукції з дефектами за рахунок підвищення технологічного рівня ВТ виробництва, подальшої уніфікації та стандартизації нових виробів	↑ Зниження витрат на внутрішню складську логістику за рахунок роботизації та RED-методу
Управлінські витрати	↓ Зростання витрат на послуги консалтингу з впровадження нових технологій та організаційно-цифрову трансформацію	↓ Зростання інвестицій у нематеріальні активи програмне забезпечення ліцензії патенти бренд юридичне забезпечення	↑ Зростання інвестицій у розвиток гнучкого виробництва методологічне забезпечення формування цифрової логістики на основі ШІ удосконалення маркетингу
Позаборотні активи	↑ Зростання інвестицій в основні засоби: промислові роботи, 3D-принтери, сервісне обладнання	↑ Зростання інвестицій у нематеріальні активи, програмне забезпечення, ліцензії, патенти, юридична підтримка	↑ Зростання інвестицій у систему, орієнтованої на розвиток промислового виробництва на основі впровадження ОТС

Джерело: власна розробка авторів

Впровадження технологій Індустрії 4.0 у різних видах економічної діяльності відбувається нерівномірно. Так респонденти дослідження BCG Focus у 2016 р. і 2022 р. зробили наголос на різний ступінь впровадження технологій у переліку Індустрії 4.0: самі високі рівні реалізації таких технологій у 2022 році були у сфері кібербезпеки (65%), великих даних і аналітики (54%), хмарних обчислень (53%); низький рівень впровадження технологій відмічали: для аддитивного виробництва (34%), новітньої робототехніки (32%), доповненої реальності (28%), 3D-друку (23%). Перешкоди очевидні. Респонденти цього опитування визначали формування стратегії з промислового Інтернету, використання горизонтальної та вертикальної систем інтеграції, впровадження технологій аддитивного виробництва найсильнішими проблемами з прийняття/адаптації інструментарію Індустрії 4.0, а також переосмислення організації технологічних процесів [7].

За даними дослідження BCG Focus і компанії Gartner-2022, що приєдналася, стосовно впровадження інструментів Індустрії 4.0, в цілому 44% ВТ компанії вказали на зміни у корпоративній культурі та у русі процесу трансформації системи мотивації персоналу саме великою проблемою [7]. Більшість респондентів рахують, що знайти хороший талант з високою цифровою інформаційною, фінансовою, маркетинговою грамотністю та яка у в змозі швидко і якісно використовувати професійно компетентність, є серйозною задачею. Дійсно, незалежно від розміру ВТ підприємства респонденти (82%) називали найм/навчання талантів й набуття нових можливостей у якості найбільш важливого фактору, який сприяє впровадженню технологій та ідеології Індустрії 4.0. В опитувальній анкеті керівник середньої промислової ВТ компанії у сфері інжинірингу відмічав: «У нашій компанії відсутня можливість та ми рахуємо, що їх буде важко знайти...» [7].

В цілому результати досліджень компанії BCG Focus показують, що найбільшість американських виробників рухаються занадто повільно у прийнятті ідеології Індустрії 4.0. При цьому невелика кількість ВТ компаній США впровадили повний набір технологій Індустрії 4.0 (38%), а деякі все ще обговорюють ступінь впливу, які технології Індустрії 4.0 можуть вплинути на їх бізнес та в цілому на реалізацію цифрової трансформації. Достатньо очевидно, що промислові компанії розвинених країн підтримуючи основні зусилля з цифрового перетворення та підтверджуючи конкурентні переваги такого перетворення, відмічають його цінність. Можливо також відмітити тенденцію, що саме Індустрія 4.0 та перспективи Індустрії 5.0 у період глобальної економічної кризи у межах інформаційно-мережевого суспільства можуть слугувати засобом отримання значного приросту продуктивності. Маємо достатньо прикладів у ВТ компаніях розвинених країн демонстрації великого різно-

маніття засобів, за якими виробники використовують технології та ідеологію Індустрії 4.0 для створення додаткових цінностей і споживчої вартості [29].

В оцінках окремих експертів і аналітиків відмічається, що ВТ компанії повинні розглядати трансформацію Індустрії 4.0 на шляху переходу до Індустрії 5.0, як з точки зору технологій так і з точки зору організації бізнесу. Вони повинні запобігати спроб зробити все зразу. Найкращим підходом є створення міжфункціональної інноваційної команди та надання їй можливості в проведенні сміливих і достатньо радикальних заходів, швидко виконувати ітерації та розширювати масштаб нових рішень у рамках ВТ підприємства, як тільки вони будуть протестовані та перевірені [11, 24, 26].

Подання практичного досвіду вкрай важливо для розуміння топ-менеджментом ВТ підприємств стану справ в умовах реалізації концепції Індустрія 4.0, а також застосовувати інноваційні заходи використання її технологій. В цілому ВТ підприємства повинні визначити стратегічний план і створити базовий алгоритм для керівництва. Але, при цьому починати з малого – з ініціативи і формування мотивації використання наявного потенціалу. В умовах конкретного ВТ підприємства слід застосовувати перевірені у його бізнесі методи управління програмами, щоб підтримати масштабні зусилля в потрібному напрямі з мінімізацією ризиків. При визначенні плану (алгоритму) цифрового перетворення необхідно розуміння, що прийняття концепції Індустрія 4.0 у рамках конкретного бізнесу – це тільки одна частина більш широких зусиль із цифрових змін. Щоб розпочати цифрову трансформацію ВТ підприємству необхідно визначити бачення, зрозуміти власну готовність, виходячи з рівня цифрової зрілості та рівнів фінансової, маркетингової, інформаційної грамотності, ступеня дієвості інфраструктури як самого суб'єкта господарювання так і галузі в цілому.

Висновки

Об'єднуючи всі компоненти Індустрія 4.0 можливо досягти високого рівня розвитку в умовах процесів реалізації цифрової економіки. ВТ підприємства, які будуть ґрунтовно використовувати більшість її складових, об'єднуючи цифрові технології з реальним виробництвом, стають без сумніву конкурентоздатними.

Впровадження більшості засобів автоматизації/роботизації, у т.ч. технології Індустрії 4.0, виправдано, якщо це дає економічний ефект у порівнянні з прийнятими формами ВТ виробництва та його бізнес-процесів. Практика низки відомих ВТ компаній показує, що комплекс інструментів Четвертої промислової революції дозволяє досягати економічно значимих результатів.

Промислова великомасштабна аналітика даних в умовах Індустрії 4.0 буде відігравати ключову роль у забезпеченні інтелектуального профілак-

тичного обслуговування, але не єдиною можливістю використання великих даних у промисловості.

Слід відмітити, що у межах цифрової трансформації ВТ підприємств їх організаційно-технологічні системи набувають різноманітних форм прояву цього процесу. У розвинених країнах більшість ВТ підприємств вже зараз мають достатньо великий ступінь автоматизації/роботизації власних виробничих процесів. Виходячи з цього будуються дата-центри, впроваджуються технології цифровізації.

У даному дослідженні розглянуті теоретичні аспекти застосування ВТ підприємствами технологій та інструментарію цифровізації: кіберфізичної системи, ІТ, системи управління життєвим циклом ВТ виробів, колаборативні роботи, методологія аналізу великих даних, ІІІ, 3D-друк. Глибокий взаємозв'язок таких технологій у рамках реального ВТ виробництва відбиває характер процесів цифрової трансформації

сучасних промислових структур, передбачаючи важливість їх гармонічного комплексного застосування у відповідності з рівнем автоматизації/роботизації ВТ підприємства.

Світовий досвід та практика показують, що такі галузі, як точне машинобудування, електротехніка електронна промисловість, виробництво інформаційно-комунікаційного обладнання, виробництва засобів зв'язку, виробництва науково-технічного обладнання, розробка програмного забезпечення, авіакосмічна галузь, автомобілебудування, фармацевтична промисловість – є серцевинною Індустрії 4.0, а в подальшому Індустрії 5.0.

В цілому фундамент сучасної цифрової економіки у країн-лідерів економічної глобалізації складають ВТ інтелектуальне, на основі технології ІІІ та квантової комп'ютеризації, виробництва в інтеграції з, безперервно на принципах конвергенції, фундаментальною наукою і освітою.

Abstract

The key technologies analysis of modern high-tech production digitalization within the "Industry 4.0" concept implementation is proposed, related to its organization, hardware and software automation, creation of new mechanisms of inter-machine interaction, taking into account the place and functions of such technologies in the structure of the general scientific and technological development of high-tech enterprises.

The concept, essence and application potential of following basic tools are considered - digital transformation as a cyber-physical system, Industrial IoT, product life cycle management system, collaborative work, technological analysis of big data, artificial intelligence and adaptive 3D printing technologies. The deep interconnection and mutual influence of such technologies in high-tech production reflects the systemic nature of the industrial structures digital transformation and complex application in accordance with the level of automation and robotics. A high-tech enterprise that maximally combines digital technologies with real production becomes more competitive and automated. The foundation of the modern digital economy of the leading countries is high-tech intelligent production in integration with science and education. Industry 4.0 is the beginning of the transition to the concept of Industry 5.0. in the conditions of digital transformation, it is largely accepted as the ideology of "smart" factories, ecosystems and clusters. At the same time, they can have features of both digital and virtual enterprises, combining into a single system physical and technological assets with digital and virtual components. As a result, a cyber-physical ecosystem is being formed that uses information network technologies. physical and technological assets with digital and virtual components. As a result, a cyber-physical ecosystem is being formed that uses information network technologies.

Список літератури:

1. Бостром Н. Штучний інтелект: етапи, загрози, стратегії. 2016. 316 с.
2. Брюховецька Н.Е., Богущька С.А. Інтелектуалізація підприємств: підходи, сутність, структури. Економічний вісник Донбасу, 2020. № 1. С. 92-100.
3. Вайл П., Ворнер С. Цифрова трансформація бізнесу: зміна бізнес - моделі для організації нового покоління. Перекл. з англ. 2019. 257 с.
4. Голдовський А. Цифрове виробництво – ключ до успіху. Раціональне управління підприємством, 2009. № 4. С. 54-56.
5. Диба М.І., Черного Ю.О. Виклики Індустрії 4.0 у контексті її становлення на глобальному і національному рівнях. Економіка України, 2020. № 6. С. 43-59.
6. Доерті П., Уілсон Дж. Людина + машина. Нові принципи роботи в епоху штучного інтелекту. 2019. 304 с.
7. Дослідження компанії VCG Focus. 2015. 84 с.; 2022. 118 с.
8. Дубницький В.І., Мішустіна Т.С., Овчаренко О.В., Науменко Н.Ю. Трансформація споживання в умовах адаптації технологій в інформаційно-мережевій економіці. Економічний вісник Донбасу, 2022. № 3. С. 98-107.
9. Закон України «Про стимулювання розвитку цифрової економіки в Україні». Відомості ВР України, 2023. № 6-7, ст. 18.

10. Захарченко В.І., Єрмак С.О., Онешко С.В. Теорія створення і функціонування організаційно-технологічних систем у високотехнологічному виробництві: монографія. Одеса: Фенікс, 2022. 324 с.
11. Ілляшенко С.М., Шипуліна Ю.С., Ілляшенко Н.С. Управління інвестиційним розвитком в умовах технологічних трансформацій: монографія. Суми: Триторія, 2023. 228 с.
12. Леонардо Г. Технології проти людини. АСТ, 2018. 260 с.
13. Національна економічна стратегія на період до 2030 року. Затверджено постановою КМ України 179 від 03.03.2021. Урядовий кур'єр, 2021. № 45. С. 8-36.
14. Омельченко В.А. Міжнародний трансфер високих технологій та національна безпека: тенденції, виклики, перспективи: монографія. Суми: Триторія, 2017. 248 с.
15. Соціально-економічні та науково-технологічні аспекти безпекоорієнтованого розвитку прикордонного регіону: колективна монографія. За ред. М.М. Меркулова і В.І. Захарченко. Одеса: Фенікс, 2022. 210 с.
16. Уніблад Е. Покоління технологій: минуле як (розділ 5). Технології та суспільство 2050 року у прогнозах вчених і письменників. Бомбора, 2018. 400 с.
17. Хант Е. Штучний інтелект. Перекл. з англ. 2008. 560 с.
18. Bauernhanse T., Ten Hompel M., Vogel-Heuser A. Die Verte Industriell Revolution - Der Wedin einwertschaffendes Production Sparadigma. In Industrie 4.0 in Production. Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. P. 5-35.
19. Bucher E., Fieseler C., Lutz C. Mattering digital labor Journal of Managerial Psychology, 2019. Vol. 34. № 4. P. 307-324.
20. Dess G., Mc Namara G., Einer A., Lee S-H. Strategic management: creating competitive advantages. New York: McGraw-Hill Education, 2019. 360 p.
21. Dubnytskyi V., Michustina T., Ovchorenko O. The challenge of practical application of artificial Intelligence Technology in the context of Digital Transformation / monograph "AI-Driven Transformation: Mapping the Course for Future Business Landspes". Tallinn: Teadmus Oii, 2024. P. 166-181.
22. Grives M. Product Lifecycle Management: the new paradigm for enterprises. Iuf. Product Development, 2005. № 2, P. 71-84.
23. Jacobides M., Cennamo C., Gawer A. Towards a Theory of Ecosystems. Strategic Management Journal, 2019. Vol. 39. № 8. P. 2255-2276.
24. Ketonon-Oksi S., Valkokari K. Innovation Ecosystems as structure as Structures for Value Co-Creaton Technology Innovation Management Review, 2019. № 9. P. 25-34.
25. Nordic E. Smart factory for Industry 4.0. International Journal of Modern Manufacturing Technologies, 2016. № 1. P. 129-132.
26. Oklander M. Marketing in the era of the digital economy / Digital Transformation Challenges and Benefits for the Economy and Society: monograph. Katowice, 2023. P. 204-211.
27. Schwab K. The Fourth Industrial Revaluation Geneva: WEF, 2016. 171 p.
28. Senyo P.K., Liu K., Effah J. Digital business: Literature review and framework for future research International Journal of Information Management, 2019. Vol. 47. P. 52-64.
29. Trabskaja J., Mets T. Ecosystem as the Source of Eut premurial Opportunities. Foresight and SII Governance, 2019. Vol.13. № 4. P. 10-22.
30. Zakharchenko V. and other. Global economic transformation. Asia Life Sciences. 2020. Vol. 22, Issue 2. P. 725-738.

References:

1. Bostrom, N. (2016). Artificial intelligence: Stages, threats, strategies. 316 p. [in Ukrainian].
2. Briukhovetska, N.E., & Bohutska, S.A. (2020). Enterprise intellectualization: Approaches, essence, structures. Economic Herald of the Donbas, 1, 92-100 [in Ukrainian].
3. Weill, P., & Warner, S. (2019). Digital transformation of business: Changing business model for new generation organization. (Ukrainian ed.). 257 p. [in Ukrainian].
4. Holdovskyi, A. (2009). Digital production – key to success. Rational Enterprise Management, 4, 54-56 [in Ukrainian].
5. Dyba, M.I., & Cherneho, Yu.O. (2020). Challenges of Industry 4.0 in the context of its formation at global and national levels. Economy of Ukraine, 6, 43-59 [in Ukrainian].
6. Daugherty, P., & Wilson, J. (2019). Human + machine: New principles of work in the age of artificial intelligence. 304 p. [in English].
7. BCG Focus Research Company. (2015, 2022). Research reports. 84 p., 118 p. [in Ukrainian].
8. Dubnytskyi, V.I., Mishustina, T.S., Ovcharenko, O.V., & Naumenko, N.Yu. (2022). Transformation of consumption in conditions of technology adaptation in information-network economy. Economic Herald of the Donbas, 3, 98-107 [in Ukrainian].

9. Law of Ukraine "On Stimulating the Development of Digital Economy in Ukraine". (2023). Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine, 6-7, article 18 [in Ukrainian].
10. Zakharchenko, V.I., Yermak, S.O., & Oneshko, S.V. (2022). Theory of creation and functioning of organizational and technological systems in high-tech production: Monograph. Odesa: Feniks. 324 p. [in Ukrainian].
11. Illiashenko, S.M., Shypulina, Yu.S., & Illiashenko, N.S. (2023). Management of investment development in conditions of technological transformations: Monograph. Sumy: Trytoriia. 228 p. [in Ukrainian].
12. Leonardo, G. (2018). Technologies against humans. AST. 260 p. [in Ukrainian].
13. National Economic Strategy for the period until 2030. (2021). Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 179 dated March 3, 2021. Government Courier, 45, 8-36 [in Ukrainian].
14. Omelchenko, V.A. (2017). International transfer of high technologies and national security: Trends, challenges, prospects: Monograph. Sumy: Trytoriia. 248 p. [in Ukrainian].
15. Merkulov, M.M., & Zakharchenko, V.I. (Eds.). (2022). Socio-economic and scientific-technological aspects of security-oriented development of the border region: Collective monograph. Odesa: Feniks. 210 p. [in Ukrainian].
16. Uniblad, E. (2018). Generation of technologies: The past as [Chapter 5]. In Technologies and society of 2050 in forecasts of scientists and writers. Bombora. 400 p. [in Ukrainian].
17. Hunt, E. (2008). Artificial intelligence. (Trans. from English). 560 p. [in Ukrainian].
18. Bauernhanser, T., Ten Hompel, M., & Vogel-Heuser, A. (2014). Die Vierte Industrielle Revolution - Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik (pp. 5-35). Springer Fachmedien Wiesbaden [in English].
19. Bucher, E., Fieseler, C., & Lutz, C. (2019). Mattering digital labor. Journal of Managerial Psychology, 34(4), 307-324 [in English].
20. Dess, G., McNamara, G., Einer, A., & Lee, S-H. (2019). Strategic management: Creating competitive advantages. McGraw-Hill Education [in English].
21. Dubnytskyi, V., Michustina, T., & Ovchorenko, O. (2024). The challenge of practical application of artificial intelligence technology in the context of Digital Transformation. In AI-Driven Transformation: Mapping the Course for Future Business Landscapes (pp. 166-181). Teadmus Oii [in English].
22. Grives, M. (2005). Product Lifecycle Management: The new paradigm for enterprises. Information Product Development, 2, 71-84 [in English].
23. Jacobides, M., Cennamo, C., & Gawer, A. (2019). Towards a theory of ecosystems. Strategic Management Journal, 39(8), 2255-2276 [in English].
24. Ketonon-Oksi, S., & Valkokari, K. (2019). Innovation ecosystems as structures for value co-creation. Technology Innovation Management Review, 9, 25-34 [in English].
25. Nordic, E. (2016). Smart factory for Industry 4.0. International Journal of Modern Manufacturing Technologies, 1, 129-132 [in English].
26. Oklander, M. (2023). Marketing in the era of the digital economy. In Digital Transformation Challenges and Benefits for the Economy and Society (pp. 204-211). Katowice [in English].
27. Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum [in English].
28. Senyo, P.K., Liu, K., & Effah, J. (2019). Digital business: Literature review and framework for future research. International Journal of Information Management, 47, 52-64 [in English].
29. Trabskaja, J., & Mets, T. (2019). Ecosystem as the source of entrepreneurial opportunities. Foresight and STI Governance, 13(4), 10-22 [in English].
30. Zakharchenko, V., et al. (2020). Global economic transformation. Asia Life Sciences, 22(2), 725-738 [in English].

Посилання на статтю:

Дубницький В.І. Формування сучасного високотехнологічного промислового виробництва в межах реалізації концепції «Індустрія 4.0». / В.І. Дубницький, В.І. Захарченко // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. – 2024. – № 6 (76). – С. 5-16. – Режим доступу до журн.: <https://economics.net.ua/files/archive/2024/No6/5.pdf>.
DOI: 10.15276/ETR.06.2024.1. DOI: 10.5281/zenodo.14549537.

Reference a Journal Article:

Dubnytskyi V.I. The Formation of Modern High-Tech Industrial Production Within the "Industry 4.0" Concept Implementation / V.I. Dubnytskyi, V.I. Zakharchenko // Economics: time realities. Scientific journal. – 2024. – № 6 (76). – P. 5-16. – Retrieved from <https://economics.net.ua/files/archive/2024/No6/5.pdf>.
DOI: 10.15276/ETR.06.2024.1. DOI: 10.5281/zenodo.14549537.

