

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-332-77>

УДК 330.34

ВІЛЯНСЬКИЙ Андрій

ПВНЗ «Європейський університет»

<https://orcid.org/0000-0002-9655-7334>

e-mail: avilyanskyj@e-u.edu.ua

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ В КОНТЕКСТІ ІНДУСТРІЇ 4.0

Необхідність швидкого виявлення проблем з одночасним впровадженням необхідних коригуючих дій, що спрямовані на покращення роботи всієї промислової системи, обґрунтовує актуальність дослідження питань ефективності впровадження технологій Індустрії 4.0 у промисловість. У статті проведено огляд аналітичних досліджень поняття «Індустрія 4.0» у зарубіжній науковій літературі, а також проведено порівняльний аналіз основні характерні риси від Індустрії 3.0 до Індустрії 5.0. з метою виявлення характеристик і розмежувань між ними та від суміжних понять, таких як «4-та промислова революція», «кіберфізичні системи», «інтернет речей». Основними ключовими факторами успіху цифровізації виокремлено людей, стратегію, технології, що дозволять розробити інтелектуальні алгоритми для підвищення операційної ефективності; сприятимуть результативному використанню ресурсів, зниженню витрат на якість продукції, впровадженню автоматизації; сприятимуть підвищенню економічності та продуктивності процесів. Представлено основні напрямки впливу технологій Індустрії 4.0 на ефективність промислових підприємств. Зроблено висновок, що застосування цифрових технологій Індустрії 4.0 дає можливість масштабної технологічної трансформації виробництва, і спрямоване на підвищення інноваційного потенціалу розвитку промислових підприємств. Крім цього, виділено особливості конкурентної боротьби за технології, інвестиції, ринки збуту, території розміщення продуктивних сил. Також акцентовано увагу на основних «революційних» трендах у промисловому розвитку, пов'язаних із запуском інноваційно-технологічного циклу, ініційованого Індустрією 4.0.

Ключові слова: Індустрія 4.0, цифрові технології, інновації, промислові підприємства, цифровізація, продуктивність.

VILIANSKYI Andrii

Private Higher Educational Establishment «European University»

GENERAL DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0

The need for rapid identification of problems with simultaneous production of necessary corrective actions, which are aimed at optimizing the performance of the entire production system substantiates the relevance of research into the effectiveness of the introduction of Industry 4.0 technologies in industry. The article reviews analytical studies of the concept of "Industry 4.0" in foreign scientific literature, as well as a comparative analysis of the main characteristics of Industry 3.0 to Industry 5.0. in order to identify the characteristics and distinctions between them and from related concepts such as "4th industrial revolution", "cyber-physical systems", "Internet of Things". The main key success factors of digitalization are identified as people, strategy, technology, which will allow the development of intelligent algorithms to improve operational efficiency; contribute to the efficient use of resources, reduce the cost of product quality, the introduction of automation; contribute to improving the economy and productivity of operations. The main directions of influence of Industry 4.0 technologies on the efficiency of industrial enterprises are presented. It is concluded that the application of digital technologies of Industry 4.0 provides an opportunity for large-scale technological transformation of production, and is aimed at increasing the innovative potential of industrial enterprises. In addition, the features of competition for technology, investments, markets, territories of productive forces location are emphasized. It also emphasizes the main "revolutionary" trends in industrial development associated with the launch of innovation and technology cycle initiated by Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0, digital technologies, innovation, manufacturing enterprises, digitalization, productivity.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Світова фінансова криза 2008-2009 рр. змусила всі розвинені країни світу змінити свої погляди в цілому на роль промисловості (та промислових підприємств зокрема), як основних чинників економічного зростання [1]. Після міжнародному економічному форумі в Давосі в 2016 року потужних обертів почала набувати державна політика цих країн, яка спрямована на розвиток ключових чинників четвертої промислової революції, яка, в свою чергу, змінить звичний уклад життя і трансформує нові виробничі технологічні ланцюжки. Про початок якої було проголошено провідним економістом, незмінним президентом цього форуму – К. Швабом [2, 3]. Пов'язано це з тим, що машини можуть виконувати монотонні, рутинні операції у виробництві значно ефективніше, ніж людина, унаслідок чого виробничі лінійні процеси будуть здебільшого автоматизовані. А працівники, замість того щоб займатися грубою, монотонною, важкою, небезпечною роботою, зможуть виконувати більш творчі завдання, які потребують креативних, інтеграційних та неалгоритмізованих зусиль. Однак, необхідно зазначити, що становлення Індустрії 4.0 – це складний, багатоплановий та затягнений процес, який, у недалекому майбутньому, зітре бар'єри між людиною та машинами, що зумовить кардинальні зміни як у світовій економіці, так і в житті звичайних людей. К. Шваб стверджував, що «майбутні зміни будуть настільки значними, що, в питаннях

перспектив розвитку людської історії, ніколи не було ще більш обнадійливих або, навпаки, більш небезпечних часів». [3]. Уже сьогодні можна спостерігати як відбувається злиття цифрового, фізичного та виробничого світів. Під впливом інновацій, що прискорюються, виникають нові типи економік, в межах яких на промислових підприємствах зазнають кардинальних змін моделі як бізнес-процесів, так і технологічних [21].

Четверта промислова революція набирає дедалі потужніших обертів. Зокрема, у виробничому процесі використовуються нові цифрові рішення, такі як штучний інтелект, Інтернет речей, моделювання та симуляція, хмарні обчислення, аналіз великих даних, тощо. Інтегруючи ці складові, підприємства можуть самостійно обирати якими їм бути: «цифровими», «розумними» чи «віртуальними».

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження, присвячені Індустрії 4.0 і цифровізації економіки, є сьогодні одними з найактуальніших і найбільш затребуваних з практичної точки зору в різних галузях знань - від комп'ютерних та інженерних наук до економіки та управління. Дослідженню перспектив і проблем промислових революцій, зокрема третьої та четвертої, присвячено праці багатьох учених: Е. Тоффлера, К. Шваба, Дж. Ріфкіна, Ф. Гатча, Д. Аджемоглу, Дж. Робінсона, П. Друкера, Дж. Гелбрейта, Й. Шумпетера, Г. Арона, С. Ковалю, Д. Белла. Необхідно відзначити науковий внесок у дослідження різних аспектів цього питання вітчизняних науковців. Зокрема, особливу увагу дослідники (Кириченко О. [9], Потравка К. та О. Карташова [6]) приділяють питанням інвестиційно-інноваційного забезпечення промисловості України та її суб'єктів в умовах Четвертої промислової революції, що є особливо актуальним в контексті переходу підприємств на вимоги Індустрії 4.0 (Шатоха В.І., Жаданос О. та інші [4], а також [7, 12, 21]).

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ СТАТТЯ

Не зважаючи на наукову цінність наявних результатів за тематикою даного дослідження, залишається багато невіршених питань, які гальмують інноваційний розвиток підприємств України, особливо в контексті Індустрії 4.0. Потребують подальшого наукового вивчення принципи, загальні та детальні етапи, ключові фактори успіху цифровізації з метою підвищення її ефективності як на рівні суб'єкту господарювання, так і на національному рівні. Важливими аспектами досліджень, яким присвячена дана стаття, є визначення напрямків впливу технологій Індустрії 4.0 на ефективність промислових підприємств, особливостей конкурентної боротьби за технології, інвестиції, ринки збуту, території розміщення продуктивних сил, основних «революційних» трендів у промисловому розвитку, пов'язаних із запуском інноваційно-технологічного циклу.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Мета статті – проведення аналізу особливостей інтеграції Індустрії 4.0 у виробничі та економічні системи, огляд ключових чинників впливу та точок їхнього дотику, окреслення перспектив реалізації промисловими підприємствами стратегії розвитку на основі використання концепції «Індустрія 4.0».

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Концепція Індустрія 4.0 (або, як синонім у літературі використовують термін «четверта промислова революція») почала набирати обертів після появи новітніх передових інформаційно-комунікаційних технологій, які спрямовані на інтелектуалізацію виробничих операцій з автоматизованими технологіями збору даних і моделюванням у режимі реального часу. Це забезпечує можливість миттєвого виявлення фізичних проблем з майже одночасним виробництвом необхідних коригуючих дій, які, як очікується, активізують продуктивність усієї виробничої системи.

Розвиток виробництва і суспільної системи відбувається поетапно. Кожна сходинка має характерні риси та проблеми становлення, формування та розвитку. Наприклад, становлення індустрії 1.0 у вісімнадцятому столітті відбулося на основі витіснення ручної праці механізованим машинним виробництвом і перетворенням виробничих процесів. Оновлення до індустрії 2.0 відбулося з кінця дев'ятого століття/початку двадцятого століття на основі впровадження електрики у виробничі та суспільні процеси, що спричинило підвищення продуктивності праці та водночас зростання безробіття. Процеси автоматизації та інформатизації Індустрії 3.0 у 70-х роках двадцятого століття засновані на використанні електроніки, інтегральних мікросхем, з перспективою впровадження комп'ютерів і мережі інтернет (Таблиця 1).

Технології індустрії 4.0 є складним інтегрованим процесом об'єднання фізичних виробничих робіт та інформаційно-цифрових технологій, інтернету речей, хмарних обчислень, штучного інтелекту. Розумні заводи (Smart Factory), тобто елементи розумних виробництв - це приклади того, як мережа промислових і дослідницьких організацій у реальному часі співпрацюють, що дозволяє подолати сучасні проблеми (глобальна конкуренція, нестабільність ринків, зростаюча кастомізація продукції та послуг,

скорочення життєвих циклів продукції) і виробляти високоякісну персоналізовану продукцію з масовою ефективністю.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики Індустрії 3.0-4.0-5.0

Критерій	Індустрія 3.0	Індустрія 4.0	Індустрія 5.0
Основні риси	Автоматизація на основі комп'ютерних технологій	Інтеграція IoT, штучного інтелекту, робототехніки, хмарних технологій	Колаборація людини і робота, сталий розвиток
Мета	Заміна ручної праці, автоматизація окремих процесів	Оптимізація всього виробничого процесу, з'єднання даних і технологій	Підвищення інклюзивності, гнучкість, сталий розвиток
Технології	ЧПК, робототехніка, комп'ютеризовані системи	IoT, AI, великі дані, хмарні обчислення, кіберфізичні системи	Cobots, персоналізація, біоінженерія, нанотехнології
Роль людини	Мінімізація втручання людини, автоматизація рутинних завдань	Людина залишається в процесі, але задіяні інтелектуальні технології	Людина працює поруч із роботами, додавання творчості і стратегічного мислення
Гнучкість виробництва	Стандартні автоматизовані лінії, але з меншими можливостями для налаштування	Висока гнучкість завдяки адаптивним системам і даним	Можливість персоналізованого виробництва та творчих рішень
Екологічні та соціальні аспекти	Мало уваги до екології та соціальних аспектів	Зменшення витрат і підвищення ефективності, але обмежена увага до екології	Високий фокус на сталому розвитку та етичних питаннях

Джерело: складено автором

Однак технології індустрії 4.0 на практиці демонструють значну невизначеність та різні результати продуктивності в різних галузях або контекстах. З одного боку, потенціал індустрії 4.0 охоплює зниження матеріальних і фізичних витрат, підвищення продуктивності і гнучкості виробництва, а також поліпшення можливостей промислових підприємств. З іншого боку, скорочення викидів CO₂ за допомогою аналізу великих даних вуглецевого сліду завдяки поновлюваним джерелам енергії не знижує споживання енергії загалом. А також проблеми повторного використання або переробки відходів. Ще одним аспектом є соціальна стійкість, зокрема рівень зайнятості, проблеми інформаційної безпеки.

З 2017 року в різних наукових публікаціях [14, 15, 20] почали з'являтися дослідження щодо Індустрії 5.0, яку розглядають як поступову трансформацію технологічних здобутків Індустрії 4.0 у досягненні суспільних цілей за трьома вимірами сталого розвитку - економічний, екологічний та соціальний [20]. При цьому залишається технологічний аспект упровадження хмарних даних, цифрових двійників, адитивного виробництва, колаборативних роботів, промислового інтернету речей, доповненої реальності, блокчейн-мережі 6G по всьому ланцюжку створення вартості та життєвого циклу продукції та послуг. Індустрія 5.0 розширює наявну концепцію Індустрії 4.0, використовуючи технології та інновації для інтеграції екологічних та соціальних пріоритетів і зміщує акцент з окремих технологій на системний підхід. В основі Індустрії 5.0 лежать принцип 6-Re: переосмислення (Rethink); усвідомленість (Refuse); ремонт (Repair); зменшення споживання (Reduce); повторне використання (Reuse) та переробка (Recycle). Але найважливішими нормами стають три взаємопов'язані основні цінності: орієнтація на людину, стійкість/збереження в довгостроковій перспективі та стійкість/відновлення в короткостроковому періоді.

Якщо порівнювати обидва підходи, то крім їх переваг існує низка поточних проблем, які перешкоджають становленню як Індустрії 4.0, так і Індустрії 5.0. Серед них, питання інформаційної безпеки, конфіденційності, фінансових витрат на проведення масштабних цифрових трансформацій підприємств тощо. Наприклад, недостатній/відсутній рівень знань, навичок та компетенцій працівників на таких підприємствах ускладнює процес впровадження IoT, AI, великих даних, хмарних обчислень. Необхідні не лише нові технічні навички, а й навички спільної роботи зі складними «розумними» технологіями. Крім того, потрібно багато часу і зусиль, щоб налаштувати робочий процес колаборативної робототехніки, штучного інтелекту та інтернету речей в режимі реального часу. З іншого боку, потрібні великі фінансові витрати не тільки на модернізацію виробництв, а і на підвищення продуктивності та ефективності за рахунок висококваліфікованих, і відповідно, високооплачуваних фахівців. Також важливим питанням постає – як створити, із суворими вимогами, необхідний (новий) рівень кібербезпеки, мова йде про аутентифікацію для взаємодії з різними пристроями промислового інтернету речей.

Підсумовуючи все це, в сучасних умовах Індустрія 5.0 не є хронологічним продовженням або альтернативою існуючій парадигмі Індустрії 4.0, вона доповнює та розширює визначальні риси Індустрії 4.0. Концепція теорії індустрії 5.0 передбачає розвиток системної політики для співіснування нових моделей промисловості та суспільних потреб. Майбутні складові промисловості 5.0 - когнітивні обчислення, взаємодія людини і машини, та квантові обчислення – можуть реалізуватися лише за наявності діючої ціннісно-орієнтованої системи, яка стимулює технологічну трансформацію (а це є основна мета Індустрії 4.0).

На рис.1 наведено результати опитування, яке проводилось серед 2800 підприємств світу компанією McKinsey. Ці дані, показують, що так, 91% промислових підприємств починають або продовжують

впроваджувати цифрові технології, але з них, лише 6% опитаних вважають своє виробництво повністю оцифрованим [10].

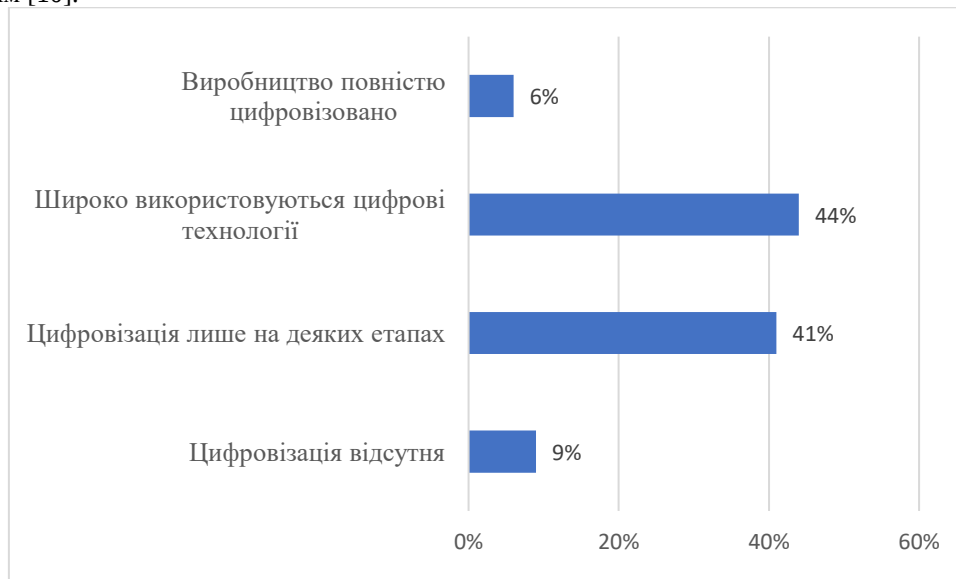


Рис.1. Підсумки опитування компанією McKinsey керівників підприємств з питання цифровізації та впровадження цифрових технологій у виробництво

Джерело: складено автором за даними [10]

Згідно цього опитування, ключовими факторами успішної цифровізації промислових підприємств є люди, стратегія та технології виробництва [4]. Кадри повинні відповідати новим реаліям, мати відповідні компетенції, які дадуть змогу розробити інтелектуальні алгоритми для підвищення операційної ефективності. Підприємства очікують підвищення ефективності загалом на 12% протягом п'яти років з урахуванням комплексного планування, більш ефективного використання ресурсів, зниження витрат на якість продукції, впровадження сучасних цифрових рішень.

Створення інтегрованої внутрішньої та зовнішньої системи управління виробництвом (MES) є першим і обов'язковим етапом цифровізації у контексті Індустрії 4.0. Ці системи здатні планувати та контролювати виробничі процеси в режимі реального часу, підвищуючи ефективність, гнучкість виробництва. З метою цифровізації не тільки внутрішніх процесів, а й усього ланцюжка поставок, системи управління виробництвом, MES-системи мають бути інтегровані з існуючою інфраструктурою ERP. Такі цифрові технології, як доповнена реальність або цифрові близнюки сприяють підвищенню економічності та продуктивності операцій.

Всесвітня організація інтелектуальної власності (WIPO) публікує щорічні статистичні дані щодо Глобального індексу інновацій (Global Innovation Index). Якщо проаналізувати рейтинги ГІІ за кілька останніх років (рис. 2) та аналітику, яку в свої доповідях надає ООН щодо цифровізації економіки та суспільства, то виявляється, що практично одні і ті ж країни потрапляють до двадцятки лідерів. Якщо розглянути дві країни з цього списку, наприклад, США та Китай, то можна прослідкувати певні закономірності. Одним з найважливіших елементів поширення Індустрії 4.0 є високотехнологічне виробництво та науково-дослідний потенціал. Китай і Сполучені Штати Америки домінують за кількістю публікацій і патентів: на них припадає приблизно 26-41 % відповідних публікацій і 45-63 % патентів у всьому світі [16]. Обидві країни є лідерами за інвестиціями та потенціалом у галузі створення цифрових технологій Індустрії 4.0, зокрема, є країнами походження найбільших цифрових платформ. На них припадає 90% ринкової капіталізації, а також половина світових гіпермасштабованих центрів обробки великих даних, а також, для них характерні найвищі темпи впровадження мереж п'ятого покоління (понад 45 %). Також на ці дві країни припадає 94 % усього фінансування стартапів у сфері штучного інтелекту за останні п'ять років, де працює 70% провідних учених у сфері штучного інтелекту у світі. Однак незрозуміло, чи поширять Китай і США свої переваги в галузі цифрових платформ на технології Індустрії 4.0 у виробництві.

Найважливішою технологією Індустрії 4.0 є Інтернет речей. Компанії країн Західної Європи вклали значні кошти в цю технологію, і на них, поряд із Китаєм і США, припадає близько третей усіх витрат, пов'язаних з Інтернетом речей. Згідно класифікації у доповідях ООН, за такими напрямками країни можна поділити на чотири основні категорії, а саме: 1) лідери, 2) ті, які йдуть за лідерами, 3) ті, що приєдналися пізніше, і 4) ті, що відстають [16]. Лідерами є 10 країн зі 100, які: мають найбільшу частку патентів за технологіями Індустрії 4.0 (91 % від усіх патентів), експорту (майже 70 %) та 46 % імпорту, причому саме ці країни створюють, продають і купують продукцію, засновану на таких цифрових технологіях. До таких країн відносяться: Китай, Франція, Німеччина, Японія, Нідерланди, Корея, Швейцарія, Великобританія, США та Тайвань.

GII rank	Economy	Score	Income group rank	Region rank	GII rank	Economy	Score	Income group rank	Region rank
1	Switzerland	64.6	1	1	1	Switzerland	67.6	1	1
2	United States	61.8	2	1	2	Sweden	64.2	2	2
3	Sweden	61.6	3	2	3	United States	63.5	3	1
4	United Kingdom	59.7	4	3	4	United Kingdom	62.4	4	3
5	Netherlands	58.0	5	4	5	Singapore	61.5	5	1
6	Republic of Korea	57.8	6	1	6	Finland	61.2	6	4
7	Singapore	57.3	7	2	7	Netherlands (Kingdom of the)	60.4	7	5
8	Germany	57.2	8	5	8	Germany	58.8	8	6
9	Finland	56.9	9	6	9	Denmark	58.7	9	7
10	Denmark	55.9	10	7	10	Republic of Korea	58.6	10	2
11	China	55.3	11	3	11	France	56.0	11	8
12	France	55.0	12	8	12	China	55.3	1	3
13	Japan	53.6	13	4	13	Japan	54.6	12	4
14	Hong Kong, China	51.8	14	5	14	Israel	54.3	13	1
15	Canada	50.8	15	2	15	Canada	53.8	14	2
16	Israel	50.2	16	1	16	Estonia	53.4	15	9
17	Austria	50.2	17	9	17	Hong Kong, China	53.3	16	5
18	Estonia	50.2	18	10	18	Austria	53.2	17	10
19	Luxembourg	49.8	19	11	19	Norway	50.7	18	11
20	Iceland	49.5	20	12	20	Iceland	50.7	19	12
21	Malta	49.2	21	13	21	Luxembourg	50.6	20	13
22	Norway	48.8	22	14					

2022 рік

2023 рік

Рис. 2. Рейтинг Глобальний індекс інновацій за 2022-2023 р.р

Джерело: [18]

Країни другої групи - це країни, які впроваджують такі технології, але частка патентів та торгівлі є меншою. У сукупності до перших двох груп входять 50 країн, які активно впроваджують технології Індустрії 4.0. Інші країни демонструють низький або нульовий рівень активності в патентуванні або торгівлі такими технологіями. Крім того, навіть серед 50 країн-лідерів і країн, що йдуть за ними, технології Індустрії 4.0 було впроваджено лише в кількох секторах, при цьому лише деякі компанії впровадили «розумне» виробництво. У країнах третьої та четвертої групи, промислові підприємства здебільшого використовують аналогові технології і все ще перебувають на етапі впровадження цифрових технологій [16].

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Індустрія 4.0 це вже сьогоднішня, і лише підприємства, які здатні повноцінно приєднатися до неї, мають шанс на майбутню успішну діяльність. Крім того, цифровізація та перехід на четвертий етап промислової революції у світу та ЄС, ставить вітчизняні підприємства перед фактом необхідності зміни загальної стратегії підприємств, із врахуванням всіх цих чинників. Здатність до переходу до Індустрії 4.0 для будь-якого підприємства, не є одноденною дією, а вимагає усвідомлення, планування, запровадження, контролю та реалізації стратегії цифровізації, кінцевим результатом якої є здатність підприємства адаптуватися до сучасних вимог та бути стійким до нових викликів. Запропоновані нами принципи, загальні та детальні етапи цифровізації дозволяють, на їхній основі, не лише планувати та створювати ефективні управлінські стратегії із цифровізації підприємства, але й проводити ефективну цифровізацію як на рівні суб'єкту господарювання, так і на національному рівні, рівні держави.

Література

1. Frank A.G., Dalenogare L.S., Ayala N.F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*. 2019. V.210, p. 15–26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
2. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. What it means and how to respond. *Foreign Affairs*. 2015 URL: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>
3. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. 2016. 172 p. URL: https://law.unimelb.edu.au/data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf
4. Шатоха В.І., Жаданос О.В., Потап О.Ю., Чернова Н.С. Індустрія 4.0: європейські практики у вищій освіті та на виробництві: Монографія. Дніпро, 2023. 89 с. URL: <https://crust.ust.edu.ua/handle/123456789/17257>
5. Kumar, K., Zindani, D., Paulo Davim, J. Industry 4.0: Developments towards the Fourth Industrial Revolution. Singapore: Springer, 2019. 59 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8165-2>
6. Тимошенко О. В. Виклики та загрози четвертої промислової революції: наслідки для України. *Бізнес Інформ*. 2019. № 2. с. 21-29
7. Скіцько В. І. Індустрія 4.0 як промислове виробництво майбутнього. *Інвестиції: практика та досвід*. 2016. № 5. С. 33-40.

8. Xu, L. D., Xu, E. L., Li, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*. 2018, V. 56, No. 8. – Pp. 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
8. Чайкіна А. О. Індустрія 4.0: особливості цифрової трансформації України. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. 2021. Том 32 (71). No 3. С. 24–31.
9. Кириченко О.С. Інвестиційно-інноваційне забезпечення промисловості України в умовах Четвертої промислової революції: монографія. Київ: Університет економіки та права КРОК, 2021. 368 с. URL: <https://dspace.krok.edu.ua/handle/123456789/44>
10. McKinsey. Technology tipping point and transformed business forever. 2024. URL: https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/the-next-big-arenas-of-competition?fbclid=IwY2xjawGPFZ5leHRuA2FlbQlXMAABHW5AEXg0xtkSU99MRCONfhKLtWeRie4D4jt-e3dg1uu4gdjYMkhREKA5RA_aem_zuxQr_XvqQLQuLvtJc9Rf
11. Ardolino M., Saccani N., Adrodegari F., Perona M. A Business Model Framework to Characterize Digital Multisided Platforms. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2020. 6 (1): 10. URL: [doi:10.3390/joitmc6010010](https://doi.org/10.3390/joitmc6010010)
12. Потравка Л. О., Карташова О. Г. Теоретичні засади трансформації соціально-економічної системи України в умовах Четвертої промислової революції. *Економіка та суспільство*. 2018. №14. С.213–217
13. Plattform Industrie 4.0. <https://www.plattform-i40.de>
14. Breque M, De Nul L, Petridis A. Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Luxembourg, LU: European Commission, Directorate-General for Research and Innovation; 2021.
15. Lu Y, Adrados JS, Chand SS, Wang L. Humans are not machines—anthropocentric human–machine symbiosis for ultra-flexible smart manufacturing. *Engineering*. 2021. №7, pp.734–7. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2020.09.018>
16. Доповідь Організації Об'єднаних Націй «Про цифрову економіку за 2021 рік». URL: <https://unctad.org/topic/ecommerce-and-digital-economy/digital-economy-report>
17. Індустрія 4.0 - Стратегія розвитку. Асоціація «Підприємств промислової автоматизації України». URL: <https://mautic.appau.org.ua/asset/42:strategia-rozvitku-4-0-v3.pdf>
18. Глобальний індекс інновацій 2023. URL: <https://www.wipo.int/web/global-innovation-index/2023/index>
19. Shohin A., Xu X., Lu Y., Aristizabal M., Velásquez J.P., Joa B., Valencia Y. IoT-Enabled Smart Appliances Under Industry 4.0: A Case Study. *Advanced Engineering Informatics*. 2020. V.43: 101043. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101043>
20. Xu, Xun, et al. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of manufacturing systems* 2021, V 61: 530–535.
21. Гук П.В., Склярєнко О.В. Економічна доцільність модернізації підприємств з використанням автоматизованих систем. *Економіка і управління*. 2022. №2. С 103–112.

References

1. Frank A.G., Dalenogare L.S., Ayala N.F. (2019) Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*. V. 210, p. 15–26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
2. Schwab K. (2015) The Fourth Industrial Revolution. What it means and how to respond. *Foreign Affairs*. 2015 URL: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>
3. Schwab K. (2016) The Fourth Industrial Revolution. 2016. 172 p. URL: https://law.unimelb.edu.au/_data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf
4. Shatokha V.I., Zhadanos O.V., Potap O.Yu., Chernova N.S. (2023) *Industriia 4.0: yevropeiskii praktiki u vyshchii osviti ta na vyrobnytsvi: Monohrafiia*. [Industry 4.0: European practices in higher education and at work: A monograph] Dnipro, 2023. 89 s. URL: <https://crust.ust.edu.ua/handle/123456789/17257>
5. Kumar, K., Zindani, D., Paulo Davim, J. (2019) Industry 4.0: Developments towards the Fourth Industrial Revolution. Singapore: Springer. 59 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8165-2>
6. Tymoshenko O. V. (2019) Vyklyky ta zahrozy chetvertoi promyslovoi revoliutsii: naslidky dlia Ukrainy. [Challenges and Threats of the Fourth Industrial Revolution: Implications for Ukraine] *Biznes Inform*. № 2. pp. 21–29
7. Skitsko V. I. (2016) Industriia 4.0 yak promyslove vyrobnytstvo maibutnoho. [Industry 4.0 as the industrial production of the future] *Investysii: praktyka ta dosvid*. 2016. № 5. pp. 33–40.
8. Xu, L. D., Xu, E. L., Li, L. (2018) Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*. V. 56, No. 8. – Pp. 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
8. Chaikina A. O. (2021) Industriia 4.0: osoblyvosti tsyfrovoi transformatsii Ukrainy. [Industry 4.0: peculiarities of Ukraine's digital transformation] *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Ekonomika i upravlinnia*. 32 (71). No 3. pp. 24–31.
9. Kyrychenko O.S. (2021) *Investysiiino-innovatsiine zabezpechennia promyslovosti Ukrainy v umovakh Chetvertoi promyslovoi revoliutsii: monohrafiia*. [Investment and Innovation Support of the Ukrainian Industry in the Context of the Fourth Industrial Revolution: A Monograph] Kyiv: Universytet ekonomiky ta prava KROK, 2021. 368 s. URL: <https://dspace.krok.edu.ua/handle/123456789/44>
10. McKinsey. (2024) Technology tipping point and transformed business forever. URL: https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/the-next-big-arenas-of-competition?fbclid=IwY2xjawGPFZ5leHRuA2FlbQlXMAABHW5AEXg0xtkSU99MRCONfhKLtWeRie4D4jt-e3dg1uu4gdjYMkhREKA5RA_aem_zuxQr_XvqQLQuLvtJc9Rf
11. Ardolino M., Saccani N., Adrodegari F., Perona M. A (2020) Business Model Framework to Characterize Digital Multisided Platforms. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. No 6 (1): 10. URL: [doi:10.3390/joitmc6010010](https://doi.org/10.3390/joitmc6010010)

-
12. Potravka L. O., Kartashova O. H. Teoretychni zasady transformatsii sotsialno-ekonomichnoi systemy Ukrainy v umovakh Chetvertoi promyslovoi revoliutsii. [Theoretical Foundations of Transformation of the Socio-Economic System of Ukraine in the Context of the Fourth Industrial Revolution] *Ekonomika ta suspilstvo*. 2018. №14. pp.213-217
 13. Plattform Industrie 4.0. <https://www.plattform-i40.de>
 14. Breque M, De Nul L, Petridis A. (2021) Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Luxembourg, LU: European Commission, Directorate-General for Research and Innovation.
 15. Lu Y, Adrados JS, Chand SS, Wang L. (2021) Humans are not machines—anthropocentric human–machine symbiosis for ultra-flexible smart manufacturing. *Engineering*. No 7, pp.734–7. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2020.09.018>
 16. Report of the United Nations «Digital economy report 2021». URL: <https://unctad.org/topic/ecommerce-and-digital-economy/digital-economy-report>
 17. Industry 4.0 - Development strategy. Association of Industrial Automation Enterprises of Ukraine. URL: <https://mautic.appau.org.ua/asset/42:strategia-rozvitku-4-0-v3.pdf>
 18. Global Innovation Index 2023. URL: <https://www.wipo.int/web/global-innovation-index/2023/index>
 19. Shohin A., Xu X., Lu Y., Aristizabal M., Velásquez J.P., Joa B., Valencia Y. (2020) IoT-Enabled Smart Appliances Under Industry 4.0: A Case Study. *Advanced Engineering Informatics*. V.43: 101043. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101043>
 20. Xu, Xun, et al. (2021) Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of manufacturing systems*. No 61: 530-535.
 21. Huk, P. V., Skliarenko, O. V. (2022). Economic feasibility of modernizing enterprises using automated systems. *Economics and Management*. European University Publisher. Vol. 2, pp.103–112.