

УДК 338.45:334.716:330.341:004

DOI: 10.18524/2413-9998.2022.1 (50).270418

О. В. Жмай,

старший викладач,

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
Французький бульвар, 24/26, м. Одеса, 65058, Україна.

e-mail: za@onu.edu.ua

М. Ю. Мозгальова,

студентка 3 курсу спеціальності «Менеджмент»,

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
Французький бульвар 24/26, м. Одеса, 65058, Україна.

e-mail: mashamozgaleva@gmail.com

«РОЗУМНІ ФАБРИКИ»: ПЕРЕДУМОВИ ВИНИКНЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Статтю присвячено теоретичному дослідженню появи та розвитку «розумних фабрик». Досліджується процес появи, становлення та розвитку Четвертої промислової революції. «Розумне виробництво» та «розумна фабрика» визначаються як ключові компоненти Індустрії 4.0. Розкривається сутність та значення кіберфізичних систем, їх роль та значення у виробничих процесах. Описуються ключові етапи розвитку інтелектуального виробництва у світі. Узагальнено підходи до трактування поняття «розумна фабрика». На основі проведеного аналізу названі основні можливості, які надає впровадження та використання смарт-виробництва. Проводиться аналіз технічних, соціально-економічних та інституційних бар'єрів, які виникають на шляху розвитку смарт-промисловості, визначається потенціал розвитку смарт-підприємств, зокрема «розумних фабрик».

Ключові слова: Четверта промислова революція, Індустрія 4.0, кіберфізичні системи, розумне виробництво, розумна фабрика, смарт-підприємство, смарт-промисловість, інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ).

Постановка проблеми у загальному вигляді. В епоху Четвертої промислової революції розвиток країн заходу базується на стрімкому розвитку інновацій та цифрової економіки. Їхнє проникнення в бізнес формує новий формат діяльності організації. Сучасні виробники стикаються з постійно зростаючими вимогами до персоналізації продукції і мінливими потребами ринку. Через це їм доводиться впроваджувати нові технології та виробничі системи, які допоможуть швидко адаптуватися до змін і підвищити якість продукції при одночасній оптимізації використання енергії та ресурсів [1].

Щоб відповідати запитам споживачів в сучасному світі, існує необхідність в розробці та впровадженні більш гнучких виробничих систем, здатних до самооптимізації, самоналаштування та самодіагностики. Усе це узагальнює поняття «Індустрія 4.0», характерними рисами якого є повністю автоматизовані виробництва, де управління всіма процесами здійснюється у режимі реального часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов [2].

Головною рисою Індустрії 4.0 є те, що фірми та підприємства створюють свої власні бізнес-мережі та нові «правила гри» для підключення постачальників, клієнтів та окремих внутрішніх систем, генерують цифрові сигнали для аналізу прийняття ефективних рішень щодо контролю та управління навколишнім ринковим середовищем, транспортними потоками, виробництвом тощо.

Четверта промислова революція, що пов'язана з Індустрією 4.0, ґрунтується на об'єднанні промисловості та цифрових технологій, що сприяє створенню «розумних фабрик», де всі пристрої, машини, продукція і люди взаємодіють між собою за допомогою цифрових технологій та Інтернету.

За останні кілька років міжнародні ініціативи спільно просуvalи ідеї виробництва нового покоління, які можна об'єднати в поняття «розумне виробництво». Цей підхід характеризується автономними виробничими операціями, що реагують на вимогу, з використанням передових технологій моніторингу, обробки даних і прийняття рішень. Аналогічним чином, Індустрія 4.0 прагне розвивати виробництво високоякісних персоналізованих продуктів при низьких витратах. Для цього вона використовує кіберфізичні системи (cyber-physical systems, CPS) у виробничих процесах, що відрізняються передовим інтелектом і гнучкістю.

CPS контролюють фізичні процеси і ухвалюють децентралізовані рішення, а також здатні самостійно налаштуватися та навчатися. Крім того, інтегрована інформація про працездатність різних компонентів дозволяє керівництву компанії запускати необхідне технічне обслуговування just-in-time, щоб забезпечити своєчасне технічне обслуговування і скоротити час простою майже до нуля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фактично, науковці лише розпочали процес накопичення знань щодо смарт-підприємств, що є основою концепції розвитку економіки та суспільства Інду-

стрії 4.0. Так, Штутгартський університет здійснює пошуки методологічних обґрунтувань [3], а прикладні аспекти досліджують провідні міжнародні консалтингові компанії, наприклад, McKinsey [4] та Deloitte Consulting LLP [5]. Е. Філос, координатор ІКТ-проектів у сьомій Рамковій програмі Європейського Союзу з науково-технічного співробітництва, досліджував поняття «фабрика майбутнього» та виокремив основні його типи [6].

Серед вітчизняних вчених, які займаються дослідження питань Індустрії 4.0, смарт-промисловості та «розумних фабрик», можна назвати такі прізвища, як В. П. Вишневський [33], С. І. Князев [4], О. І. Ступницький [30], І. В. Ящишина [29].

Мета статті. Метою статті є визначення сутності, характеристик та особливостей смарт-підприємств, що дозволяють виокремити їх в окрему групу. Для цього необхідно буде вирішити наступні задачі: 1) дослідити різні підходи до визначення поняття «розумна фабрика»; 2) проаналізувати потенціал розвитку «розумних фабрик», а також основні бар'єри, які виникають на шляху розвитку смарт-промисловості.

Виклад основного матеріалу. Ідея Четвертої промислової революції полягає в інтеграції виробництва з новітніми інформаційними та комунікаційними технологіями. Це дозволяє виготовляти продукцію відповідно до індивідуальних вимог замовника і випускати її партіями за ціною серійного виробництва. Технічну основу складають інтелектуальні та цифрові мережеві системи і виробничі процеси. Крім того, Індустрія 4.0 визначає весь етап життєвого циклу продукту: ідею, розробку, виробництво, використання і обслуговування, аж до переробки продукту. Всі чотири рівні революції мають одну спільну рису: вони впливають на економічне і соціальне життя, а також підвищують продуктивність і вносять зміни в робочі процеси й умови праці. Для промислових працівників це означає більш високі вимоги до кваліфікації.

Індустрія 4.0 базується на ідеях Інтернету речей (Internet of things, IoT) та кіберфізичних систем. Мова йде про перетворення компонентів виробничої системи в активних користувачів Інтернет. Вже сьогодні багато «розумних» систем можуть виходити в мережу без участі людини. Наприклад, «розумний будинок», сучасні автомобілі, інтелектуальні парковки, системи екомоніторингу, енергозабезпечення. Можливість різних компонентів «спілкуватися» через мережу надає багато можли-

ностей [7].

У квітні 2011 року на щорічному промисловому Ганноверському ярмарку в Німеччині були представлені основні положення нової концепції розвитку промисловості «Індустрія 4.0». Цим терміном також називається і державна програма Німеччини з розвитку економіки шляхом створення автоматизованих (які спілкуються із зовнішнім середовищем) та персоналізованих цифрових виробництв. На сьогодні саме Німеччина лідирує в темпах розвитку Індустрії 4.0. Проте схожі програми реалізуються й у інших країнах, наприклад, в Китаї «зроблено в Китаї 2025», в Японії – «Connected Factories» (підключення фабрик до мережі), в США — Industrial Internet і т. д. Дані програми різко підвищують конкурентоспроможність виробників даних країн, через що вони стануть лідерами ринку [8].

Цифра «4» характеризує четверту стадію індустріалізації. Зазвичай вважається, що перша промислова революція (перший ступінь індустріалізації) знаменувала собою механізацію виробництва, друга – електрифікацію і масове виробництво, третя – його автоматизацію і комп'ютеризацію [9].

У свою чергу, Четверта промислова революція передбачає перехід до орієнтованого на споживача виробництва на основі кіберфізичних систем (рис. 1).

Коли комп'ютери були представлені в промисловості 3.0, вони були революційними завдяки додаванню абсолютно нової технології. Сьогодні та в майбутньому, з розвитком промисловості 4.0 комп'ютери з'єднуються і взаємодіють один з одним, щоб в кінцевому підсумку приймати рішення без участі людини. В результаті підтримки «розумних» машин, які стають розумнішими в міру отримання доступу до більшого обсягу даних, фабрики стануть більш ефективними і продуктивними і менш марнотратними. Саме мережа цих машин, з'єднана між собою в цифровому вигляді, створює інформацією та обмінюється нею, що призводить до справжньої могутності Четвертої промислової революції [11].

Взагалі Індустрія 4.0 є відповіддю на вимоги часу, що стосуються розбудови нової світової економіки після глобальної фінансової кризи 2008 – 2009 років. Ця криза виникла, зокрема, через скорочення частки реального сектору економіки (обробної промисловості) і збільшення частки послуг.

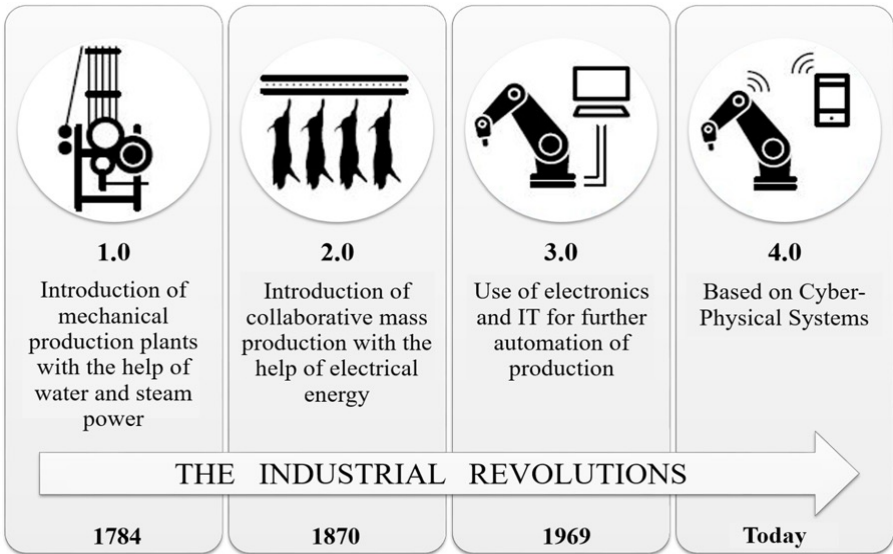


Рис. 1. Особливості чотирьох промислових революцій

Джерело: [10]

Підхід, запропонований в концепції «Індустрія 4.0», передбачає підвищення конкурентоспроможності промислового виробництва за рахунок інтеграції принципів кіберфізичних систем у виробничий процес підприємств за допомогою інтернет-з'єднання виробничого обладнання, машин, конструкцій і складів [12, с. 6].

Ключовий термін «cyber-physical systems» вперше з'явився в США у 2006 році. Системам присвоюється суфікс «кібер», якщо вони використовуються для дискретної обробки інформації і для зв'язку. Крім того, реальні системи називаються «фізичними». Це означає, що CPS автономні й можуть самостійно конфігуруватися та розширюватися [13; 14].

Ще однією ключовою особливістю CPS є те, що вони можуть підключатися через відкриті та глобальні інформаційні мережі, такі як Інтернет. Це дозволяє системам довільно змінювати, переривати і перебудовувати свої з'єднання під час роботи. У такий спосіб можна надавати й використовувати доступні дані, інформацію та послуги в будь-якому місці CPS. Це можуть бути об'єкти, продукти, пристрої, будівлі,

виробничі об'єкти або компоненти логістики, які містять вбудовані системи, тобто мікропроцесори або невеликі комп'ютери [15].

Таким чином, кіберфізичні системи – це сукупність технологій, що забезпечують взаємодію між віртуальним і фізичним світом. Вони включають інтелектуальні машини, системи зберігання та виробничі потужності, здатні автономно обмінюватися інформацією, ініціювати дії та самостійно здійснювати процес контролю. Це сприяє фундаментальним поліпшенням виробничих процесів, пов'язаних з виробництвом, проектуванням, використанням матеріалів, ланцюжком поставок і управлінням життєвим циклом [16].

Такі мережі зможуть вибудовувати виробництво з меншою кількістю помилок, взаємодіяти з виробленими товарами і при необхідності адаптуватися під нові потреби споживачів.

Стосовно до промисловості використовується термін «кіберфізичні виробничі системи». Компанія IBM визначає кіберфізичні системи як системи, в яких обчислювальні елементи взаємодіють з датчиками, які забезпечують моніторинг кіберфізичних показників, і з виконавчими елементами, які вносять зміни в кіберфізичне середовище [17].

Отже, можна виділити такі особливості сучасної Індустрії 4.0:

а) повністю автоматизовані виробництва, на яких управління всіма процесами здійснюється в режимі реального часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов;

б) кіберфізичні системи, які створюють віртуальні копії об'єктів фізичного світу, контролюють фізичні процеси і ухвалюють децентралізовані рішення;

в) єдині мережі, здатні взаємодіяти у режимі реального часу, самоналаштовуватися і самонавчатися;

г) інтернет-технології, що забезпечують комунікації між персоналом і машинами, підприємством і вимогливим індивідуалізованим замовником, що оптимізує собівартість виробництва [18].

В основі Індустрії 4.0 лежить поняття «розумне виробництво» («Smart Manufacturing»), яке було вперше використано в 2006 році на симпозіумі Національного наукового фонду з кіберінфраструктури (National Science Foundation, NSF). Термін «кіберінфраструктура» застосовувався в контексті впровадження нових додатків, які поєднували можливості обміну даними через мережі, що об'єднували інформацію про різні об'єкти і місця розташування з досягненнями в області моде-

лювання даних і обчислювальної потужності [19].

На симпозіумі NSF були викладені стратегії масштабного динамічного моделювання, великомасштабної оптимізації, сенсорних мереж, взаємодії даних, інформаційної безпеки, і саме тоді було введено термін «розумне підприємство» («Smart Plant»). Було визначено, що «розумне підприємство» працює у відповідності з більш жорсткими специфікаціями та припускає набагато більш глибоке розуміння процесів, більшу автоматизацію і підтримку прийняття рішень, розширене використання автоматизації, даних і інтерпретації даних, а також робочу силу нового покоління, яка навчена і орієнтована на обмін знаннями та інформацією [19].

Водночас Німеччина працювала над аналогічною, повністю незалежною, програмою під назвою «Smart Factory», і через декілька років після цього вони впровадили термін «Індустрія 4.0». «Smart Factory» та Індустрія 4.0 розвивалися паралельно. Перша зосереджувалася на інформаційному виробництві, тоді як друга – на кіберфізичних системах.

У 2010 році коаліція лідерів інтелектуального виробництва (Smart Manufacturing Leadership Coalition, SMLC) зібрала групу з більш ніж 50 лідерів галузі на семінарі для сприяння розвитку інфраструктури та можливостей, необхідних для реалізації всього потенціалу інтелектуального виробництва. Група задокументувала цілі інтелектуального виробництва в звіті «Впровадження інтелектуального виробництва ХХІ століття» поряд з такими проблемами, як доступність, зручність використання, сумісність, інтеграція з клієнтами, захист конфіденційних даних і кібербезпека [20].

У 2014 році була опублікована Дорожня карта німецької стандартизації DKE/DIN Industrie 4.0 версії 1.0. Німці підкреслили, що стандартизація є ключем до успіху ініціативи «Індустрія 4.0». У цій карті увага наголошується на таких пунктах:

- Інтеграція технічних процесів та бізнес-процесів;
- Цифрове картографування та віртуалізація реального світу;
- Інтеграція «розумних» продуктів з підтримкою даних з виробничими системами;
- Широке використання Інтернету [21].

У період з 2010 по 2016 рік виробники-піонери в США продовжували впровадження інтелектуальних технологій виробництва. Організації, включаючи асоціацію виробничих корпоративних систем

(MESA), Консорціум промислового Інтернету (ІІС) та коаліцію лідерів інтелектуального виробництва (SMLC), об'єднали виробників, консультантів, постачальників технологій та наукові кола для прискорення впровадження та документування практики та прогресу в інтелектуальному виробництві [22].

У 2016 році Американський інститут інтелектуального виробництва (CESMII) був створений як один з численних виробничих інститутів США, орієнтованих на об'єднання промисловості, наукових кіл і федеральних партнерів для підвищення конкурентоспроможності виробництва в США та сприяння створенню надійної та стійкої національної виробничої інфраструктури наукових досліджень та розробок (R&D).

CESMII був заснований з метою радикального прискорення впровадження інтелектуальних виробничих технологій, включаючи передові датчики, засоби управління, платформи й моделі оптимізації. Дорожня карта CESMII для інтелектуального виробництва була опублікована в 2017 році [23].

В тому ж році інтелектуальне виробництво набуло широкого розповсюдження. Торговельні організації та консалтингові фірми документували історії успіху та практики (як, наприклад, у звіті Deloitte під назвою «Розумна фабрика»). Консалтингові організації також почали публікувати рекомендації, такі як Сінгапурський індекс готовності до інтелектуальної промисловості (Singapore Smart Industry Readiness Index), щоб допомогти виробникам оцінити свою ділову практику й розробити дорожні карти для більш високого рівня впровадження інтелектуального виробництва [5].

Було визначено, що «розумне виробництво» включає вертикальну і горизонтальну інтеграції можливостей підключення, інтелекту, робочої сили і автоматизації в багатьох аспектах бізнес-процесів, включаючи життєвий цикл продукту, операції і ланцюги поставок [24].

На відміну від класичного терміну «фабрика», яка характеризує підприємство, що здійснює автоматизований виробничий процес випуску продукції масовими партіями, в яких окремі одиниці не містять індивідуальних особливостей, де термін «автоматизація» в загальному розумінні має на меті виконання єдиного, дискретного завдання або виробничого процесу, «розумне виробництво» перевершує процес простої автоматизації завдяки застосуванню програм штучного інтелекту й кіберфізичних систем, які консоліднують фізичні машини та бізнес-про-

цеси, автоматизуючи рішення, що переважно ухвалює людина, інтегруючи ланцюг постачання через взаємопов'язаний ІТ-ландшафт, при цьому змінюючи виробничі процеси та посилюючи відносини із постачальниками і клієнтами [25].

У найбільш загальному значенні поняття «смарт-підприємство» розглядається як концепція «цифровізації» промислових та інфраструктурних виробництв із метою покращення їх операційної та бізнес-ефективності.

Терміни «розумні виробництва», «розумні заводи» та «розумні підприємства» використовуються в різних сенсах залежно від контексту. Іноді під цим розуміється будь-яка роботизована система виробництва, а виробники обладнання додають поняття «розумний» (intelligent, smart) в описі своїх верстатів, коли йдеться лише про виняткові характеристики швидкості роботи, точності або продуктивності [25].

Сутність та складові визначення терміну «розумна фабрика» знаходяться на стадії розвитку, тому існують різні представлення цих термінів (табл. 1).

Таблиця 1

Визначення терміну «розумна фабрика»

Джерело	Визначення терміну
Iot Analytics	«Розумна фабрика» – це цілісна трансформація людей, процесів і технологій поряд з використанням інформації для досягнення намічених показників продуктивності/бізнес-цілей одного або декількох виробничих об'єктів.
Deloitte	«Розумна фабрика» – це гнучка система, що може самостійно оптимізувати продуктивність у широкій мережі, адаптуватись і навчатись в нових умовах в режимі реального часу та автономно керувати цілими виробничими процесами в межах фабрики, а також може підключатися до глобальної мережі та систем подібного виробництва і до цифрових мереж більш широкого постачання.
OTTO	«Розумна фабрика» – це високоцифрове та взаємопов'язане середовище, де машини та обладнання можуть покращувати процеси за допомогою автоматизації та самооптимізації.
The National Institute of Standards and Technology (NIST)	«Розумна фабрика» - це повністю інтегровані корпоративні виробничі системи, які здатні в реальному масштабі часу реагувати на мінливі умови виробництва, вимоги мереж поставок і задовольняти потреби клієнтів.

Institute of Industrial Manufacturing and Management (IFF)	«Розумна фабрика» – це фабрика, яка з урахуванням контексту (положення та статусу об'єкта) допомагає людям і машинам виконувати їхні завдання.
--	--

Джерело: складено за [3; 5; 18; 26; 27].

Варто відзначити, що головне значення відіграє те, що «розумні фабрики» реагують на зміни «в реальному масштабі часу», тобто цілі виробництва досягаються максимально оперативно за рахунок інтенсивного і всеосяжного використання інформаційних технологій і кіберфізичних систем на всіх етапах виробництва продукції та її поставки. Головна риса Індустрії 4.0 – повністю автоматизовані виробництва, на яких керівництво всіма процесами здійснюється в реальному масштабі часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов [18].

У Білій книзі («White Paper») промислової політики Фландрії – аналітичному документі, що описує завдання та логіку дій уряду в певній галузі державної політики, який було створено для публічного обговорення з громадськістю і стейкхолдерами та подальшого впровадження органами виконавчої влади – центральне місце у структурних змінах економіки відведено саме підприємству майбутнього (Factory of the Future) [28]. В цьому документі під цим терміном розуміється концепція організації виробництва, сфокусована на кооперації, підвищенні екологічності та нових трудових відносинах. У рамках цієї концепції стираються чіткі межі між виробничим майданчиком і постачальником, між споживачами, співробітниками й дослідниками, між виробництвом та наданням послуг.

Підприємство розглядається в ролі хаба, який об'єднує в собі три стратегічних елементи політики трансформації економіки:

- 1) процесні і продуктові інновації;
- 2) напрямки трансформації залежно від типу промисловості (виробництво, обробка, наукомістка промисловість, переробка сировини);
- 3) характерний для системи підхід на рівні ланцюжка створення вартості [29].

Іноді словосполучення «smart factory» вживається в ролі синоніма поняття «Factories of the Future», але це не зовсім правильно. Термін «Factories of the Future» є більш широким і поєднує в собі не тільки «розумні підприємства», а й віртуальні та цифрові компанії:

- «розумні» (smart) – серійний випуск виробів, але при збереженні

- максимальної гнучкості виробництва завдяки високому рівню автоматизації і роботизації підприємства;
- цифрові (digital) – розроблення моделей продуктів, що виробляються, із використанням засобів цифрового проектування та моделювання, випуск дрібних серій або окремих виробів, кастомізованих під вимоги замовника;
- віртуальні (virtual) – віртуальна модель всіх організаційно-технологічних, логістичних та інших процесів, що використовується не лише на підприємстві, але й на рівні розподілених виробничих активів, глобальних ланцюжків поставок і післяпродажного обслуговування [30].

Таким чином, смарт-підприємства зосереджують увагу на продуктивності всієї організації: зменшення відходів та споживання електроенергії, скорочення часу виведення нового виробу на ринок, підвищення якості.

«Віртуальні» підприємства приділяють більше уваги продуктивності ланцюжка поставок: вироблення продуктів з високою цінністю, збереження робочих місць у своєму регіоні, прозорість процесу, захист прав інтелектуальної власності, зниження викидів CO₂.

«Цифрові» фабрики підвищують ефективність розробки й дизайну нового виробу: зниження числа помилок розробки, виготовлення більш ергономічних товарів, скорочення часу виведення нового виробу на ринок.

На основі виробничих стратегій «розумної фабрики» поліпшення можуть бути впроваджені в режимі реального часу, що швидко призведе до оптимізації виробничого циклу. Крім того, чим більш автоматизований і керований процес, тим менше він схильний до людських помилок, що не тільки підвищує продуктивність за рахунок скорочення часу простою або витрат на технічне обслуговування, але й покращує якість кінцевої продукції [18].

Розглянемо низку можливостей, які надає впровадження та використання смарт-виробництва.

1. Ефективність активів. Кожен аспект «розумної фабрики» генерує масиви даних, які за допомогою безперервного аналізу виявляють проблеми з продуктивністю активів, що можуть потребувати деякої коригуючої оптимізації. Дійсно, те, що відрізняє «розумну фабрику» від традиційної автоматизації – це самокорекція, яка може під-

вищити загальну ефективність активів, що є одним з найбільш істотних переваг смарт-фабрики. Ефективність активів повинна виражатися в скороченні часу простою обладнання, оптимізації виробничих потужностей й у зменшенні часу переналагодження.

2. Якість. Самооптимізація, притаманна для «розумної фабрики», дозволяє швидше прогнозувати й виявляти тенденції дефектів якості і може допомогти виявити окремі людські, машинні або екологічні наслідки поганої якості. Це сприятиме зниженню кількості браку й терміну виконання замовлень, а також підвищенню продуктивності.
3. Нижча собівартість. Оптимізовані процеси призводять до більш економічних процесів - з більш передбачуваними вимогами до запасів, ефективними рішеннями про найм і укомплектування персоналу, а також зниженням мінливості процесів і операцій. Більш якісний процес також може означати комплексне уявлення про мережу поставок зі швидким реагуванням на потреби, що ще більше знизить витрати.
4. Безпека та стійкість. «Розумна фабрика» також може надати реальні переваги в галузі охорони праці та екологічної стійкості. Типи операційної ефективності, які може забезпечити смарт-фабрика, дають можливість знизити вплив на навколишнє середовище більше, ніж звичайний виробничий процес. Велика автономність процесу може знизити ймовірність людських помилок, в тому числі нещасних випадків на виробництві, що призводять до травм. Відносна самодостатність «розумної фабрики», скоріш за все, замінить певні ролі, що вимагають повторюваних та утомливих дій. Проте роль працівника-людини в середовищі «розумної фабрики» вимагає більшої уважності та обережності на місці [5].

Фактично, одна з найбільш важливих функцій «розумної фабрики» – це гнучкість, що надає виробникам можливість для використання цифрових і фізичних технологій в залежності від їх конкретних потреб.

Варто зазначити, що ці можливості не є взаємовиключними. Організації можуть використовувати багато інших можливостей для оцифровки в рамках кожного виробничого процесу. Вони також можуть поетапно впроваджувати й виводити їх в міру необхідності. Виробникам важливо розуміти, що саме надасть їм конкурентних переваг, і відповідним чином узгоджувати свої інвестиції в цифровізацію та інтелектуальні фабрики. Наприклад, деякі виробники можуть вирішити

конкурувати за рахунок швидкості, якості та вартості і можуть інвестувати у можливість смарт-фабрик, щоб швидше виводити на ринок нові продукти, збільшувати якість і зменшувати питомі витрати. Інші можуть зосередитися на моделях налаштування і реалізації продукту «lot size one» (основна ідея цього підходу полягає у тому, що ви можете створювати любий продукт, в довільному варіанті, будь-якої якості, в будь-якій послідовності й на будь-якому устаткуванні – в будь-який час) та інвестувати в інші технології для досягнення цих цілей.

Високий потенціал смарт-промисловості як мережі смарт-підприємств, об'єднаних ІКТ, підтверджується практикою відомих підприємств, наприклад, Siemens, Apple, Samsung, Procter & Gamble, Tata Motors Ltd, Shougang Steel та ін. При цьому, згідно з оцінками фахівців, найбільше можливостей відкривається для скорочення часу науково-виробничого циклу (від розробки нової продукції до її просування на ринку – на 20 – 50%), зменшення простоїв обладнання (на 30 – 50%), зниження витрат на його технічне обслуговування (на 10 – 40%) і витрат на утримання матеріально-технічних запасів (на 20 – 50%), підвищення продуктивності праці за допомогою автоматизації його розумової складової (на 45 – 55%) та ін. [31].

Однак з розвитком Індустрії 4.0, на противагу багатьом перевагам, з'являється також все більше ризиків та бар'єрів – технічних, соціально-економічних та інституційних.

Технічні бар'єри обумовлені проблемами з комп'ютерними мережами та кібербезпекою. Як відзначають фахівці [32], сьогодні бездротові мережі застосовуються не широко, в критично важливих додатках, оскільки ще не досить надійні, а провідні мережі досить коштовні для завантаження. У багатьох заводів просто відсутня інфраструктура, необхідна для поширення даних всередині підприємства, не враховуючи розповсюдження між заводами і постачальниками на глобальній основі. Безперервний потік даних між машинами і віддаленими комп'ютерними системами в рамках промислового Інтернету речей (Industrial Internet of Things, IIoT) вимагає далеких ліній зв'язку з високою пропускнуою здатністю. Разом з тим, у багатьох випадках, особливо в країнах, що розвиваються, заводи розташовані досить далеко від великих міст з розвинутою телекомунікаційною інфраструктурою [4].

З метою розкриття потенціалу промислового інтернету необхідно розв'язати проблему сумісності відповідних пристроїв і систем за до-

помогою розробки відкритих стандартів, а також впровадження комп'ютерних платформ, на базі яких різні системи ІоТ можуть взаємодіяти. Важливою технічною проблемою є також необхідність подальшого збільшення швидкості та зниження вартості передачі даних, як на короткі, так і на далекі відстані, їх зберігання й опрацювання, а також поліпшення технічних характеристик і зменшення вартості необхідних для ІоТ пристроїв: датчиків, мікроелектромеханістичних систем, засобів радіочастотної ідентифікації, джерел живлення для сенсорів та інше.

Основна увага приділяється таким технологічним ризикам, як стандартизація, інформаційна безпека, доступність ІТ-інфраструктури і доступ до швидкого Інтернету.

Соціально-економічні бар'єри на шляху розвитку смарт-промисловості насамперед пов'язані з людським капіталом. Смарт-промисловість потребує висококваліфікованого персоналу. Разом з тим, за даними McKinsey Global Institute, у 2020 р. дефіцит робітників з вищою освітою в світі сягав 38-40 млн чол., або 18% від потреб роботодавців [33]. Багато в чому це обумовлено швидким старінням робочої сили, особливо в Європі, Японії та Китаї. У США близько 8% членів Національної асоціації промисловців вже повідомляють про проблеми з заповненням робочих місць, що залишаються після звільнення пенсіонерів. Смарт-промисловість вимагає нових компетенцій та створення нової системи підготовки кадрів (безперервного навчання, сертифікації) для ринку цифрових вакансій: конструкторів робототехніки, менеджерів з модернізації комп'ютерних мереж, інженерів систем безпеки цих мереж, фахівців з «великих даних», просунутої аналітики та ін. [34]. Створити і розвивати такі системи дуже непросто, і далеко не всі країни світу мають можливості для вирішення цього стратегічного завдання.

Для того щоб співробітники були готові до нових завдань на «розумній фабриці», керівництво повинно здійснювати активне управління змінами. Цим часто зволікають, в результаті знижується прийняття нових технологій серед робочої сили і задоволеність співробітників. Тому управління змінами має використовуватися для розвитку компетенцій та підвищення кваліфікації співробітників у компаніях.

Нові технології Індустрії 4.0 змінюють робочі процеси, вимоги до стажування і профілі робочих місць на виробництві. У зв'язку з ци-

фровізацією на підприємстві потрібно дедалі більше кваліфікованих робітників, в результаті чого попит на некваліфікованих та низькокваліфікованих співробітників знижується. В даний час багато співробітників не в змозі використовувати нові технології та опанувати нові процеси. Таким чином, навчання упродовж життя, зміни в організації роботи, складі команди та управлінні знаннями, як і раніше, будуть відігравати важливу роль у майбутньому.

Метою впровадження «розумної фабрики» має бути підвищення автоматизації та зниження витрат, а не скорочення числа робочих місць. В свою чергу, це вимагає гнучкого розподілу персоналу. Вже спостерігаються сильні коливання попиту на співробітників, а в майбутньому ці коливання будуть ще більше. Вимоги до кваліфікації виробничого працівника також змінюються.

Організація компанії відіграє важливу роль, особливо на найвищому рівні ієрархії. Керівництво має визначити чітку стратегію та план цифровізації та продемонструвати розуміння ІТ та процесів. Крім того, необхідно знайти організаційні моделі, що дозволяють здійснювати співпрацю без ієрархічних кордонів і забезпечують зв'язок між усіма учасниками. Впровадження «розумної фабрики» спонукає співробітників до самоорганізації і, таким чином, до більшої особистої відповідальності.

Крім того, відсутність підтримки досліджень є серйозною перешкодою. Німеччина інвестує в дослідження та фінансування, тим не менш, такі країни, як Китай і Японія, інвестують в дослідження і розробки ще більше. Виявлені економічні ризики вказують на те, що без розгляду цих питань не може виникнути конкурентне і мережеве виробниче середовище [7].

Економічні бар'єри розвитку смарт-промисловості пов'язані з високими витратами накопичення та реновації необхідного фізичного і особливо цифрового капіталу (цифрових матеріальних і нематеріальних активів), що відповідає техніко-технологічним вимогам промислового інтернету. Це зумовлює необхідність подальшого прискореного зниження вартості базового обладнання (датчиків, мікроелектромеханічних систем, засобів радіочастотної ідентифікації, джерел живлення для сенсорів) і витрат на зберігання та обробку «великих даних». Це також пов'язано з проблемою фінансування проектів «смартизації» виробництва в комплексі зі «смартизацією» дослідників, розробників, постачаль-

ників, дистриб'юторів, споживачів, з урахуванням вимоги забезпечення належного зростання продуктивності праці та окупності інвестицій. Особливо серйозним це питання є для країн, що розвиваються, в яких суб'єкти господарювання зазвичай не мають таких широких можливостей залучення інвестицій, як їх конкуренти з розвинених країн. Очевидно, що там, де висока заробітна плата, інвестиції в розмірі від 200 до 300 доларів на рік для оснащення працівників обладнанням і з доповненою реальністю для підвищення продуктивності не стане суттєвим бар'єром, але вони є значною перешкодою для багатьох країн, що розвиваються [4].

У більш широкому контексті смарт-промисловість може стикатися з перешкодами у вигляді несприятливого інституційного середовища. Нові бізнес-моделі потребують безперервних інновацій у сфері товарів і послуг. Оскільки мережеорієнтовані виробництва створюють ширші можливості, а потік інформації збільшується до безпрецедентного рівня, то нові можливості виникатимуть і надалі. Конкуренція на світовому ринку вимагає постійних інновацій та передбачення цих можливостей. Звідси виникають проблеми в тих країнах і регіонах світу, де рівень національних інвестицій в дослідження та розробки залишається низьким та існують серйозні питання з приводу захисту прав власності, корупції, а господарюючі суб'єкти змушені вибирати рентоорієнтовану поведінку, а не інноваційну.

Висновки і пропозиції. Поєднання глобального Інтернету з матеріальними речами формує нові можливості прямого управління фізичним світом, включаючи машини, фабрики та інфраструктуру, які визначають сучасний економічний ландшафт. Від цифрових технологій, що дозволяють інтегрувати нові потоки інформації від світу речей в індустриальні ланцюжки створення вартості, надаються ключові переваги смарт підприємств. Для смарт-підприємств, які можуть бути різними за розмірами та видами економічної діяльності, це означає більш гнучке, високотехнологічне й кіберфізичне виробництво, що забезпечує точне налаштування на споживача (час поставки, кількість, та якість продукції, витрати на виготовлення товару). «Розумне виробництво» надає можливість масового виробництва високо персоналізованих продуктів за допомогою гнучких автономних виробничих операцій. Варто зазначити, що інтелектуальна автоматизація виробництва повинна бути зосереджена на двох фундаментальних темах – автоматизації

виробничих процесів на основі персоналізованих продуктів і автоматизації мережевих виробничих систем, які самоорганізуються. Передові можливості підключення та обчислювальних технологій стають основою для створення мережевого самоорганізованого виробництва з передовим інтелектом в реагуванні на динамічні зміни у виробничому середовищі.

Враховуючи переваги «розумних підприємств», їх розвиток у глобальному та національному масштабах оцінюється досить оптимістичним. За даними McKinsey 2016 року, більше 80% керівників промислових підприємств промислово розвинутих країн вірять, що технології 4.0 докорінно змінять ландшафт індустрій в найближчі 5–10 років, а 30% із них вже інвестують у ці технології [31].

Впровадження «розумних фабрик» сприятиме підвищенню автоматизації та зниженню виробничих витрат, а не скороченню числа робочих місць. Проте потрібно брати до уваги, що з розвитком смарт-виробництв вимоги до кваліфікації виробничого працівника також змінюються. Керівництву слід визначити чітку стратегію та план цифровізації та продемонструвати розуміння ІТ та процесів.

Список використаної літератури

1. Lu, Y., Huang, H., Liu, C., & Xu, X. (2019). Standards for Smart Manufacturing: A review. In 2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). IEEE. <https://doi.org/10.1109/coase.2019.8842989>
2. Industry 4.0. IT-Enterprise. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/industry-4> (дата звернення: 18.12.2021).
3. Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (n.d.). Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing. Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, 115–118. doi:10.1007/978-1-84800-267-8_23
4. McKinsey Global Institute (June 2015). The internet of things: mapping the value beyond the hype. McKinsey&Company. 131 pp.
5. The Smart Factory (2017). Deloitte University Press. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051_The-smart-factory/DUP_The-smart-factory.pdf (дата звернення: 18.12.2021).
6. Filos, E. (2008). Smart Organizations in the Digital Age. In M. Jennex (Eds.), Knowledge Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications (pp. 48-72). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-59904-933-5.ch005>
7. Мезина Т. В. Классирование индустрии 4.0 в технологическом процессе. Вектор экономики. 2018. № 6. URL: <http://elib.fa.ru/art2018/bv1217.pdf> (дата звернення: 18.12.2021).
8. Князев С. І. Смарт-промисловість: формування базису нового етапу економічного

- зростання у світі. Бізнес Інформ. 2020. № 4. С. 150–162. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-4-150-162>
9. Schwab K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond. World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/> (дата звернення: 18.12.2021).
 10. Herrmann, Frank. (2018). The Smart Factory and Its Risks. Systems 2018, 6(4), 38; <https://doi.org/10.3390/systems6040038>
 11. Marr, Bernard (2018). What is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation For Anyone. Forbes. URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=a72470b9788a> (дата звернення: 18.12.2021).
 12. Kniaziev, S. I. Development of smart industry as an efficient way to implement the policy of neoindustrialization in the world. Економіка промисловості. 2017. № 4 (80). С. 5-18.
 13. Herbert, L. (2017). Digital Transformation: Build Your Organization's Future for the Innovation Age, 1st ed.; Bloomsbury Business: London, UK.
 14. Bauernhansl, T., Hoppel, M. T., Vogel-Heuser, B. (2014). Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration; Springer Vieweg: Wiesbaden, Germany.
 15. Mabkhot, M. M., Al-Ahmari, A. M., Salah, B., Alkhalefah, H. (2018). Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective. Machines 2018, 6, 23.
 16. Srewil, Yaseen & Scherer, Raimar. (2013). Effective Construction Process Monitoring and Control through a Collaborative Cyber-Physical Approach. 10.1007/978-3-642-40543-3_19.
 17. Zanni, A. (2015). Cyber-physical systems and smart cities. IBM. URL: <https://www.yumpu.com/en/document/read/38401163/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot-pdf> (дата звернення: 18.12.2021).
 18. Smart Factory. IT-Enterprise. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/smart-factory> (дата звернення: 18.12.2021).
 19. A Brief History Of Smart Manufacturing. Manufacturing Operations Management Talk. URL: <https://www.manufacturing-operations-management.com/manufacturing/2021/06/a-brief-history-of-smart-manufacturing.html> (дата звернення: 18.12.2021).
 20. Implementing 21st Century Smart Manufacturing. Workshop Summary Report. (June 2011). Smart Manufacturing Leadership Coalition. URL: https://www.controlglobal.com/assets/11WPpdf/110621_SMLC-smart-manufacturing.pdf (дата звернення: 18.12.2021).
 21. The German Standardization Roadmap for Industrie 4,0 Version 4. (2014). DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE. URL: <https://www.din.de/resource/blob/65354/1bed7e8d80cd4712d7d1786584a7a3a/roadmap-i4-0-e-data.pdf> (дата звернення: 18.12.2021).
 22. Leiva, C. (2015). On the Journey to a Smart Manufacturing Revolution. IndustryWeek. URL: <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/systems-integration/article/21967056/on-the-journey-to-a-smart-manufacturing-revolution> (дата звернення: 18.12.2021).

- 18.12.2021).
23. Smart Manufacturing: Leveraging the Democratization of Innovation (2019). CESMII – The Smart Manufacturing Institute. URL: https://www.compete.org/storage/EMCP_SmartManu_Program_FINAL.pdf (дата звернення: 18.12.2021).
 24. Lara, Magdiel & Saucedo, Jania & Marmolejo, Jose & Salais, Tomas & Vasant, Pandian. (2020). Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0. *Wireless Networks*. 26. DOI: 10.1007/s11276-018-1873-2.
 25. Нікітін Ю. О., Кульчицький О. І. «Smart» парадигма як основа визначення: розумна організація, розумна компанія, розумна фабрика. *Інноваційна економіка*. 2018. № 1-2 (73). С. 153-161.
 26. Annaswamy, S. (2021). What are smart factories? 7 misconceptions and a definition. *IoT Analytics*. URL: <https://iot-analytics.com/what-are-smart-factories/> (дата звернення: 18.12.2021).
 27. What Is the Smart Factory and Its Impact on Manufacturing? (2019). OTTO. URL: <https://ottomotors.com/blog/what-is-the-smart-factory-manufacturing> (дата звернення: 18.12.2021).
 28. Larosse, J. (2012). New Industrial Policy in Flanders: An Integrated Policy Framework for a New Productivity Revolution. *Reflats et perspectives de la vie économique*, LI, 99-115. <https://doi.org/10.3917/rpve.511.0099>
 29. Яцишина І. В. Суть та особливості смарт-підприємств. *Наукові записки Національного університету Острозька академія. «Економіка»*. 2018. № 11 (39). С. 14–18.
 30. Ступницький О. І., Швед І. В. Сучасні фірми: глобальні виклики Індустрії 4.0. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2020. Випуск 31. С. 126-133.
 31. Industry 4.0 at McKinsey's model factories. (2016). McKinsey & Company, Inc. URL: <http://sf-eu.net/wp-content/uploads/2016/08/mckinsey-2016-industry-4.0-at-mckinseys-model-factories-en.pdf> (дата звернення: 18.12.2021).
 32. CFE Media. Digital Report: IIoT. Consulting-Specifying Engineer Media, 2016. 72 pp.
 33. Смарт-промисловість в епоху цифрової економіки: перспективи, напрями і механізми розвитку : монографія / [В. П. Вишневський, О. В. Вієцька, О. М. Гаркушенко, С. І. Князєв, О. В. Лях, В. Д. Чекіна, Д. Ю. Череватський]; за ред. акад. НАН України В.П. Вишневського; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2018. 192 с.
 34. World Economic Forum. *Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services*. Cologny/Geneva, Switzerland: World Economic Forum, 2015. 39 p.

Стаття надійшла 21.12.2021 року

A. V. Zhmai,
Senior Lecturer,
Odesa I. I. Mechnykov National University.
24/26, Frantsuzkyi Av., Odesa, 65058, Ukraine
e-mail: za@onu.edu.ua

M. Yu. Mozghalova,

3^d year student of Management,
Odesa I. I. Mechnykov National University
24/26, Frantsuzkyi Av., Odesa, 65058, Ukraine
e-mail: mashamozgaleva@gmail.com

SMART FACTORIES: PREREQUISITES FOR THE EMERGENCE AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT

The article is devoted to a theoretical study of the emergence and development of smart factories. The process of emergence, formation and development of the Fourth Industrial Revolution is investigated. Smart Manufacturing and Smart Factory are defined as key components of Industry 4.0. The essence and significance of cyber-physical systems, their role and significance in production processes are revealed. The key stages in the development of intellectual production in the world are described. Generalized approaches to the interpretation of the concept of smart factory. Based on the analysis, the main opportunities that provide the introduction and use of smart industries are named. The analysis of technical, socio-economic and institutional barriers that arise in the way of the development of smart industry is carried out, the potential for the development of smart enterprises, in particular, smart factories, is determined.

Keywords: Fourth Industrial Revolution, Industry 4.0, cyber-physical systems, smart manufacturing, smart factory, smart enterprise, smart industry, information and communication technologies (ICT).

References

1. Lu, Y., Huang, H., Liu, C., & Xu, X. (2019). Standards for Smart Manufacturing: A review. In 2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). IEEE. <https://doi.org/10.1109/coase.2019.8842989>
2. Industry 4.0. IT-Enterprise. Retrieved from <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/industry-4> [in Ukrainian].
3. Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (n.d.). Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing. *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*, 115–118. doi:10.1007/978-1-84800-267-8_23
4. McKinsey Global Institute (June 2015). The internet of things: mapping the value beyond the hype. McKinsey&Company. 131 pp.
5. The Smart Factory (2017). Deloitte University Press. Retrieved from https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051_The-smart-factory/DUP_The-smart-factory.pdf.
6. Filos, E. (2008). Smart Organizations in the Digital Age. In M. Jennex (Eds.), *Knowledge Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 48-72). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-59904-933-5.ch005>
7. Mezina, T. V. (2018). Klassirovanie industrii 4.0 v tehnologicheskoy protsesse [Classification of industry 4.0 in the technological process]. *Economy vector*, 6. Retrieved from <http://elibrary.ru/art2018/bv1217.pdf> [in Russian].

8. Kniaziev S. I. (2020). Smart-promyslovist: formuvannia bazysu novoho etapu ekonomichnoho zrostantia u sviti [Smart Industry: Building the Basis for a New Stage of Economic Growth in the World]. *Business Inform*, 4, 150-162 [in Ukrainian].
9. Schwab K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond. World Economic Forum. Retrieved from <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>.
10. Herrmann, Frank. (2018). The Smart Factory and Its Risks. *Systems* 2018, 6(4), 38; <https://doi.org/10.3390/systems6040038>
11. Marr, Bernard (2018). What is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation For Anyone. *Forbes*. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=a72470b9788a>.
12. Kniaziev, S. I. (2017). Development of smart industry as an efficient way to implement the policy of neoindustrialization in the world. *Industrial economics*, 4 (80), 5-18.
13. Herbert, L. (2017). *Digital Transformation: Build Your Organization's Future for the Innovation Age*, 1st ed.; Bloomsbury Business: London, UK.
14. Bauernhansl, T., Hoppel, M. T., Vogel-Heuser, B. (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*; Springer Vieweg: Wiesbaden, Germany.
15. Mabkhot, M. M., Al-Ahmari, A. M., Salah, B., Alkhalefah, H. (2018). Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective. *Machines* 2018, 6, 23.
16. Srewil, Yaseen & Scherer, Raimar. (2013). Effective Construction Process Monitoring and Control through a Collaborative Cyber-Physical Approach. 10.1007/978-3-642-40543-3_19.
17. Zanni, A. (2015). Cyber-physical systems and smart cities. IBM. Retrieved from <https://www.yumpu.com/en/document/read/38401163/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iiot-pdf>.
18. Smart Factory. IT-Enterprise. Retrieved from <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/smart-factory> [in Ukrainian].
19. A Brief History Of Smart Manufacturing. Manufacturing Operations Management Talk. Retrieved from <https://www.manufacturing-operations-management.com/manufacturing/2021/06/a-brief-history-of-smart-manufacturing.html>.
20. Implementing 21st Century Smart Manufacturing. Workshop Summary Report. (June 2011). Smart Manufacturing Leadership Coalition. Retrieved from https://www.controlglobal.com/assets/11WPpdf/110621_SMLC-smart-manufacturing.pdf.
21. The German Standardization Roadmap for Industrie 4,0 Version 4. (2014). DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE. Retrieved from <https://www.din.de/resource/blob/65354/1bed7e8d800cd4712d7d1786584a7a3a/roadmap-i4-0-e-data.pdf>.
22. Leiva, C. (2015). On the Journey to a Smart Manufacturing Revolution. *IndustryWeek*. Retrieved from <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/systems-integration/article/21967056/on-the-journey-to-a-smart-manufacturing-revolution>.
23. *Smart Manufacturing: Leveraging the Democratization of Innovation* (2019). CESMII – The Smart Manufacturing Institute. Retrieved from https://www.compete.org/storage/EMCP_SmartManu_Program_FINAL.pdf.
24. Lara, Magdiel & Saucedo, Jania & Marmolejo, Jose & Salais, Tomas & Vasant, Pandian.

- (2020). Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0. *Wireless Networks*, 26. DOI: 10.1007/s11276-018-1873-2.
25. Nikitin, Yu. O., & Kulchytskyi O. I. (2018). «Smart» paradyhma yak osnova vyznachennia: rozumna orhanizatsiia, rozumna kompaniia, rozumna fabryka [«Smart» paradigm as the basis of definition: smart organization, smart company, smart factory]. *Innovative economy*, 1-2 (73), 153-161 [in Ukrainian].
 26. Annaswamy, S. (2021). What are smart factories? 7 misconceptions and a definition. *IoT Analytics*. Retrieved from <https://iot-analytics.com/what-are-smart-factories/>.
 27. What Is the Smart Factory and Its Impact on Manufacturing? (2019). OTTO. Retrieved from <https://ottomotors.com/blog/what-is-the-smart-factory-manufacturing>.
 28. Larosse, J. (2012). New Industrial Policy in Flanders: An Integrated Policy Framework for a New Productivity Revolution. *Reflète et perspectives de la vie économique*, LI, 99-115. <https://doi.org/10.3917/rpve.511.0099>.
 29. Yashchynhyna, I. V. (2018). Sut ta osoblyvosti smart-pidpriumstv [Nature and features of smart factory]. *Scientific notes of the National University of Ostroh Academy*, 11 (39), 14–18 [in Ukrainian].
 30. Stupnytskyi, O. I., & Shved, I. V. (2020). Suchasni firmy: hlobalni vyklyky Industrii 4.0 [Modern firm: global challenges of industry 4.0]. *Scientific Bulletin of Uzhhorod National University*, 31, 126-133 [in Ukrainian].
 31. Industry 4.0 at McKinsey's model factories. (2016). McKinsey & Company, Inc. URL: <http://sf-eu.net/wp-content/uploads/2016/08/mckinsey-2016-industry-4.0-at-mckinseys-model-factories-en.pdf>.
 32. CFE Media. (2016). Digital Report: IIoT. Consulting-Specifying Engineer Media, 72.
 33. Vyshnevsky, V. P., Vietska, O. V., Garkushenko, O. M., Knyazev, S. I., Lyakh, O. V., Chekina, V. D., & Cherevatsky, D. Yu. (2018). Smart-promyslovist v epokhu tsyfrovoy ekonomiky: perspektyvy, napriamy i mekhanizmy rozvytku [Smart industry in the era of digital economy: prospects, directions and mechanisms of development]. Kyiv: NAS of Ukraine, Institute of Industrial Economics [in Ukrainian].
 34. World Economic Forum. (2015). *Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services*. Cologny/Geneva, Switzerland: World Economic Forum, 39.