

ПРОМИСЛОВА ПОЛІТИКА ТА ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК

УДК 338.45:338.2:330.88

В. П. ВИШНЕВСЬКИЙ,
*професор, доктор економічних наук,
академік НАН України,
завідділом фінансово-економічних проблем використання виробничого потенціалу
Інституту економіки промисловості НАН України,*
С. І. КНЯЗЄВ,
*кандидат економічних наук,
учений секретар Відділення економіки НАН України
(Київ)*

СМАРТ-ПРОМИСЛОВІСТЬ: ПЕРСПЕКТИВИ І ПРОБЛЕМИ

Розкрито відмітні особливості промислового смарт-підприємства (як гнучкого кібер-фізичного виробництва, що забезпечує точне налаштування на споживача і ґрунтується на використанні "великих даних"), а також смарт-промисловості (як комплексу смарт-підприємств, об'єднаних через глобальні комп'ютерні мережі з дослідниками, розробниками, постачальниками, дистриб'юторами, кінцевими споживачами та ін.). Визначено нові перспективи, можливості та проблеми, пов'язані з розвитком смарт-промисловості.

Ключові слова: смарт-промисловість, Індустрія 4.0, смарт-підприємство, промисловий інтернет речей, кіберфізичні виробничі системи, інформаційно-комунікаційні технології, "великі дані".

V. P. VYSHNEVS' KYI,
*Professor, Doctor of Econ. Sci.,
Academician of the NAS of Ukraine,
Head of Department of Financial and Economic Problems of the Use of Production Potential,
Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine,*
S. I. KNYAZEV,
*Cand. of Econ. Sci.,
Scientific Secretary of the Department of Economics of the NAS of Ukraine
(Kyiv)*

SMART INDUSTRY: PROSPECTS AND CHALLENGES

The distinctive features of industrial smart factory (as a flexible cyber-physical production, which provides accurate tuning to the consumer and based on the use of "big data"), as well as smart industry (as a complex of smart factories, united through global computer networks with researchers, developers, suppliers, distributors, end-users, etc.) are revealed. New prospects, opportunities and problems associated with the development of the smart industry are identified.

Keywords: smart industry, Industry 4.0, smart factory, industrial Internet of things, cyber-physical production systems, information and communication technologies, "big data".

© Вишневецький Валентин Павлович (Vyshnevs'kyi Valentyn Pavlovych), 2017; e-mail: vvishn@gmail.com;

© Князєв Святослав Ігорович (Knyazev Svyatoslav Igorevych), 2017; e-mail: ksi@nas.gov.ua.

Ключовими характеристиками світової економіки після глобальної фінансової кризи 2008–2009 рр. є “смарт (“розумне”)-зростання” (“smart growth”), яке базується на знаннях та інноваціях *, та його провідна ланка – “смарт (“розумна”)-промисловість” (“smart industry”).

Особлива роль промисловості в сучасному світі зумовлена, по-перше, тим, що вона підвищує продуктивність суспільної праці, створює нові робочі місця і можливості одержання доходів, що, у свою чергу, сприяє викорененню злиднів і досягненню інших цілей людського розвитку, розв’язанню багатьох соціальних проблем (включаючи забезпечення гендерної рівності та створення гідної зайнятості для молоді) **, а також, по-друге, принципово новими можливостями, які відкриває перед людством сучасна промислова революція, відома під назвою “Індустрія 4.0”.

Для України роль смарт-промисловості визначається тією обставиною, що традиційна індустрія переживає тепер глибоку кризу [1]. З огляду на це, **мета статті** – визначитися з розумінням смарт-промисловості, а також нових перспектив і проблем, зумовлених її розвитком.

Термін “Індустрія 4.0” було введено у науковий оборот у 2011 р. за ініціативою німецьких бізнесменів, вчених і політиків, спрямованою на підтримання позицій Німеччини як світового промислового центру, і тому нерідко використовується у німецькомовному середовищі (Industrie 4.0) [2]. Цифра “4” характеризує четвертий щабель (або стадію) індустріалізації. Звичайно вважається, що перша промислова революція (перший щабель індустріалізації) знаменувала собою механізацію виробництва, друга – електрифікацію та масове виробництво, третя – його автоматизацію і комп’ютеризацію. У свою чергу, четверта промислова революція передбачає перехід до орієнтованого на споживача виробництва на основі кіберфізичних систем. Крім того, зазначають, що цей щабель характеризується злиттям технологій з “розмиванням” меж між фізичними, цифровими і біологічними сферами [3].

В англomовному середовищі використовуються також терміни “промисловий інтернет” (Industrial Internet), “промисловий інтернет речей” (Industrial Internet of Things – IIoT) і “смарт-промисловість” (Smart Industry). У нашій праці останньому терміну віддається перевага на тій підставі, що первинний елемент виробничих кіберфізичних систем складають об’єднані через інтернет смарт-машини і смарт-продукти. Надалі всі ці терміни (“Індустрія 4.0”, “промисловий інтернет”, “промисловий інтернет речей” і “смарт-промисловість”) використовуються як синоніми (але з урахуванням того, що кожен з них має дещо специфічне наповнення, відображене в назві ***).

У техніко-технологічному відношенні смарт-промисловість інтегрує досягнення у сфері фізичних пристроїв з досягненнями у сфері інформаційно-комунікаційних технологій (Information and Communications Technologies – ICT), резуль-

* Communication from the commission Europe 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. COM (2010) 2020. – Brussels : European Commission, 2010.

** Лимская декларация. Путь к достижению всеохватывающего устойчивого промышленного развития. – Лима – Перу : 15-я Генеральная конференция ЮНИДО, 2013.

*** Термін “Індустрія 4.0” акцентує увагу на шаблі промислового розвитку, терміни “промисловий інтернет” і “промисловий інтернет речей” – відповідно, на інструментарії, використовуваному для розв’язання завдань промислового розвитку (світовій системі об’єднаних комп’ютерних мереж), термін “смарт-промисловість” – на якісних характеристиках нового шабля промислового розвитку (його “розумності”, інтелектуальності).

татом чого є формування кіберфізичних виробничих систем – взаємодіючих інтелектуальних мереж фізичних компонентів (машин, устаткування, датчиків, актуаторів) і обчислювальних алгоритмів.

Первинна ланка смарт-промисловості – смарт-підприємство – характеризується можливістю за допомогою IoT відстежувати і контролювати функціонування знарядь виробництва і виробничий персонал, а також використовувати дані, що збираються, для підвищення продуктивності праці, вдосконалення технологічних процесів і якості продукції (рис. 1).

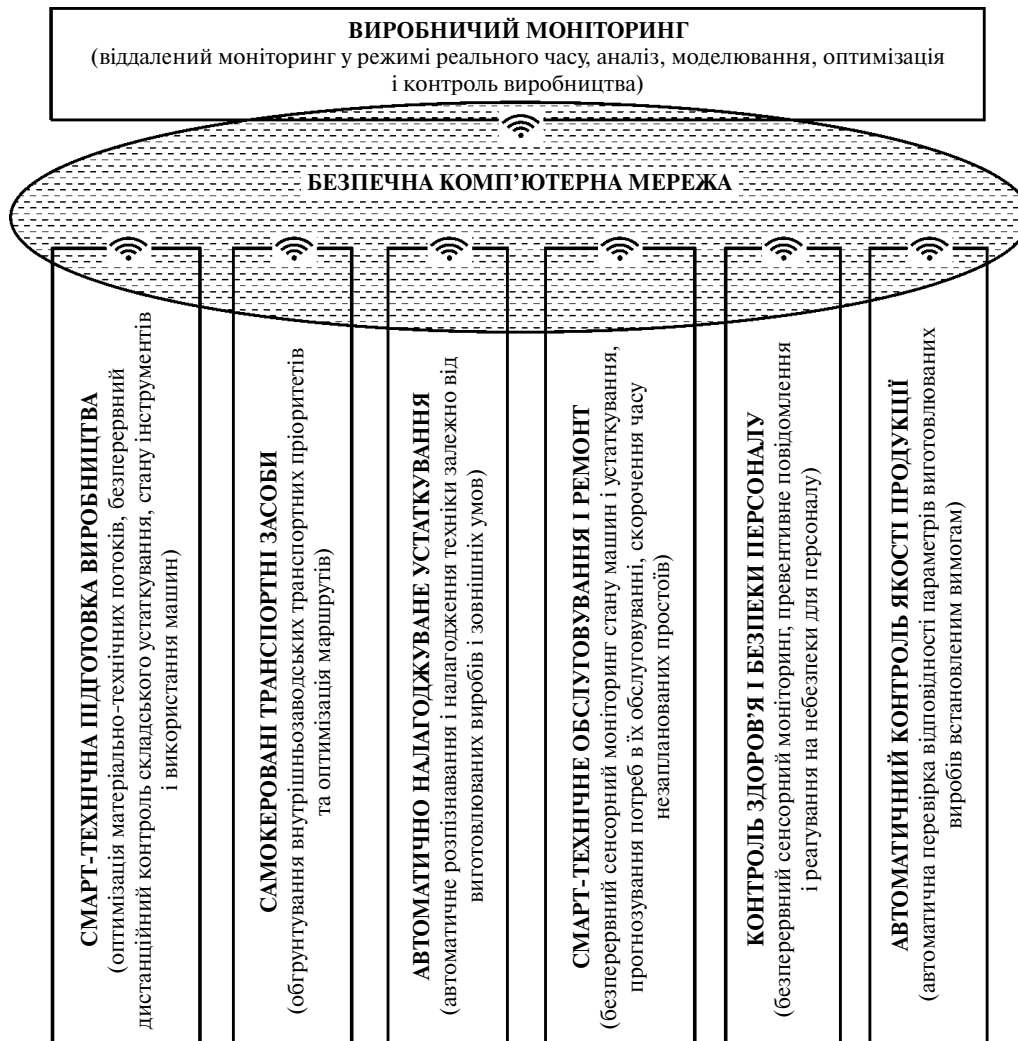


Рис. 1. Примірна схема смарт-заводу на базі IoT

Складено за: McKinsey Global Institute. The internet of things: mapping the value beyond the hype. – McKinsey & Company, 2015. – 131 p. – P. 66–73.

Смарт-підприємство може розглядатися з точки зору взаємодії апаратних засобів, первинних даних, програмного забезпечення, штучного і людського інтелекту. Дані, отримані за допомогою датчиків, лог-файлів і пошукових роботів від фізичних пристроїв і комп'ютерних мереж, збираються, передаються, попередньо опрацьовуються, зберігаються, візуалізуються, аналізуються і застосовуються висококваліфікованим персоналом для моделювання промислових продуктів і виробничих процесів (рис. 2).

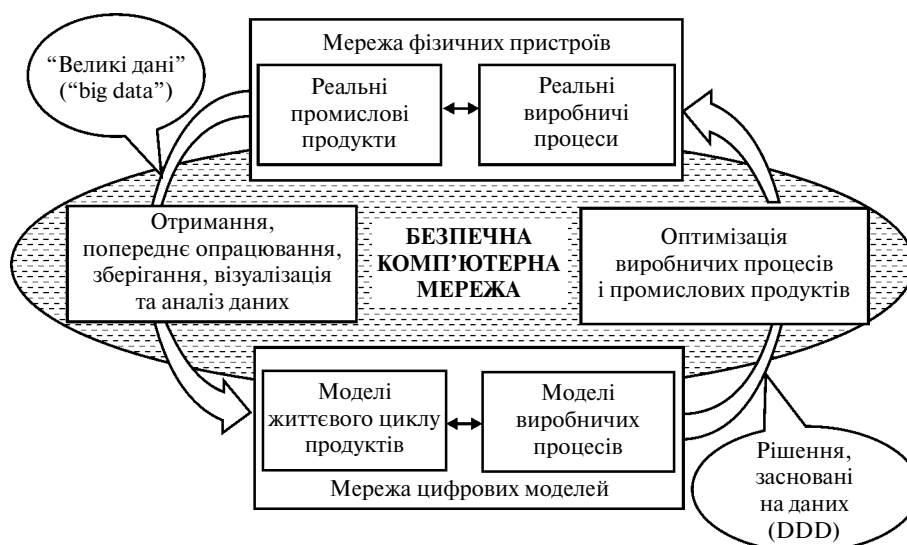


Рис. 2. Смарт-підприємство як взаємодія реальних предметів та їх цифрових аналогів

Складено за: [4, р. 6; 5, р. 9–10].

Практична реалізація такої взаємодії пов'язана з опрацюванням у режимі реального часу великих обсягів даних – так званих “великих даних” (“big data”) [6]. Як зазначено у [7, р. 654], технології “великих даних” описують нове покоління технологій і архітектур, призначених для одержання економічної вигоди від дуже великих обсягів широкого спектра даних, за допомогою високошвидкісного захоплення, виявлення та/або аналізу. Це визначення описує чотири відмітні особливості “великих даних” – обсяг (volume), різноманіття (variety), швидкість (velocity) і вартість (value). У результаті визначення “4Vs” широко використовується для характеристики “великих даних”. При цьому обсяги генерованих і накопичуваних у світі даних зростають за експонентою: у 1970–1980-х роках – від кілобайтів (2^{10} байтів) і мегабайтів ($2^{10} \cdot 2^{10}$ байтів) до гігабайтів ($2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{10}$ байтів), у 1980–1990-х роках – від гігабайтів до терабайтів ($2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{10}$ байтів), у 1990–2000-х роках – від терабайтів до петабайтів ($2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{10}$ байтів), у наш час – від петабайтів до ексабайтів ($2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{10} \cdot 2^{10}$ байтів). З усіх секторів економіки найбільші обсяги даних припадають на обробну промисловість (manufacturing) – близько 2 ексабайтів (2010 р.) [8].

Для розуміння усіх цих даних використовується інструментарій розширеної аналітики (advanced analysis) – інтелектуальний аналіз, предиктивна аналітика, об'єктно орієнтований аналіз, скоринг у режимі реального часу, прогнозне моделювання, оптимізація та ін. * [8, р. 675–677; 9]. Заводські менеджери можуть використовувати розширену аналітику для глибокого занурення в історичні дані про виробничі процеси, яке дозволяє виявляти та оптимізувати фактори, що справляють найбільший вплив на кінцеві результати. У багатьох глобальних товаровиробників у широкому діапазоні галузей промисловості та географічних місць розташування вже є велика кількість первинних виробничих і ринкових даних, отримуваних у режимі реального часу. Використовуючи інтеграцію та аналіз таких раніше ізольованих масивів (у тому числі слабоструктурованих і не-

* IBM. Advanced Analytics / Ibm.com, 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ibm.com/analytics/us/en/technology/advanced-analytics/> [Accessed 5 Jan. 2017].

структурованих [7, р. 654]), вони дістають можливість пропонувати нові важливі ідеї [9]. Уся отримана інформація використовується для прийняття рішень, побудованих на даних (data-driven decision making – DDD) [10], як у сфері поточних управлінських впливів, так і у стратегічному управлінні різноманітними промисловими системами [5, р. 9]. Такі рішення дозволили, наприклад, фірмам "Toyota", "Fiat" і "Nissan" скоротити час для розробки нових моделей автомобілів на 30–50% [8].

У рамках смарт-заводів для окупності затрат на створення, експлуатацію, забезпечення безпеки і подальший розвиток ІоТ необхідними є високі результати, які можуть бути отримані за рахунок:

1) кращого врахування запитів споживачів, які ставлять дедалі вищі вимоги до якості продукції, їхньої активної участі в дизайні та проектуванні товарів *, переходу в цьому зв'язку від виробництва масового до індивідуалізованого (за індивідуальними замовленнями) із застосуванням смарт-систем управління взаємодіями з клієнтами **;

2) гнучкості високоспеціалізованого автоматизованого (з мінімальним втручанням людського фактора) виробництва, побудованого за децентралізованим модульним принципом і адаптованого до швидкого перенастроювання на випуск саме тієї продукції, якої нині потребує споживач ***;

3) застосування авангардних виробничих технологій і матеріалів, здатних у таких умовах (індивідуалізації та виробничій гнучкості) забезпечити отримання високих результатів (наприклад, передової робототехніки, 3D-друку, металів із заданими властивостями і з ефектом пам'яті, п'єзокристалів, наноматеріалів та ін.) [11];

4) використання висококваліфікованого персоналу, який здатний в рамках кіберфізичних систем до ефективного виконання функцій підтримання і контролю виробничого процесу, а також має, крім технічних навичок, важливі нетехнічні компетенції (знання англійської мови, навички проектного менеджменту, вміння працювати в команді та ін.) [12].

Проте смарт-промисловість – це набагато більше, ніж відособлені підприємства і продукти, які на них створюються. У системі смарт-промисловості заводи взаємозв'язані з дослідниками, розробниками, постачальниками, дистриб'юторами, споживачами та ін. через ІСТ (мобільний інтернет, інтернет речей, хмарні технології), завдяки чому формується глобальна цифрова платформа для поліпшення координації та підвищення активності участі усіх партнерів як в окремих ланцюгах, так і в цілих мережах створення вартості (рис. 3).

Головна ідея, яка стоїть за всіма цими мережевими взаємодіями, полягає в тому, що опрацювання і аналіз детальних даних, отримуваних за допомогою ІСТ у режимі реального часу про стан будь-якого процесу або продукту – від замовлення і до споживання готової продукції, дозволяють забезпечити гнучкість виробництва у відповідь на зміни і виклики зовнішнього середовища ****. Таким чином,

* Smartindustry.nl. Smart industry. Dutch industry fit for the future. – 2014. – 63 p. – P. 26 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.smartindustry.nl.

** McKinsey Global Institute. The internet of things: mapping the value beyond the hype. – McKinsey & Company, 2015. – 131 p. – P. 60–61.

*** Smartindustry.nl. Smart industry. Dutch industry fit for the future. – 2014. – 63 p. – P. 11 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.smartindustry.nl.

**** CFE Media. Digital Report: ІоТ. – Consulting-Specifying Engineer Media, 2016. – 72 p. – P. 51–52.

інформація, генерована у рамках інтелектуального мережеорієнтованого підходу (network-centric approach), який приходить на зміну лінійним взаємодіям, стає додатковим джерелом створення вартості, оскільки дозволяє *:

- проектувати і випускати саме те, що потрібно: за технічними характеристиками (специфікацією, якістю, дизайном), обсягом (скільки необхідно), строками (коли необхідно), ресурсною ефективністю (з якими затратами необхідно);
- інтенсифікувати технологічні та продуктові інновації за рахунок отримання нових сполучень раніше роз'єднаних даних про зовнішнє оточення і краще розуміння виробничих процесів, можливостей постачальників і запитів споживачів.



Рис. 3. Смарт-промисловість як мережа смарт-підприємств, об'єднаних ICT

Складено за: Smartindustry.nl. Smart industry. Dutch industry fit for the future. – 2014. – 63 p. – P. 18–22 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.smartindustry.nl; SMLC. Implementing 21st Century Smart Manufacturing. Workshop Summary Report. – Washington, D.C. : Smart Manufacturing Leadership Coalition, 2011. – 27 p. – P. 5.

Високий потенціал смарт-промисловості як мережі смарт-підприємств, об'єднаних ICT, підтверджується практикою відомих підприємств – наприклад, “Apple”, “Intel”, “Samsung” **, “ExxonMobil”, “Procter and Gamble”, “Tata Motors Ltd”, “Shougang Steel” та ін. [13, p. 148–149]. При цьому, згідно з оцінками фахівців, найбільші вікна можливостей відкриваються для скорочення часу науково-виробничого циклу (від розробки нової продукції до її проходження на ринки) (на 20–50%), зменшення простоїв устаткування (на 30–50%), зниження затрат на його технічне обслуговування (на 10–40%) і витрат на утримання матеріально-технічних запасів (на 20–50%), підвищення продуктивності праці за допомогою автоматизації її розумової складової (на 45–55%) та ін. ***.

* Smartindustry.nl. Smart industry. Dutch industry fit for the future. – 2014. – 63 p. – P. 17–18 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.smartindustry.nl.

** Там же. – P. 12, 32.

*** McKinsey & Company. Industry 4.0 at McKinsey’s model factories. – McKinsey & Company, Inc., 2016. – 11 p. – P. 7.

Хоча, звичайно, на практиці реалізувати усі ці можливості дуже непросто — тим більше, що вихідна ситуація далеко не завжди відповідає високим очікуванням. Так, за даними компанії "Ubisense" (постачальника технологій ІоТ і програмного забезпечення для промислових підприємств), до 10% її клієнтів усе ще витрачають половину робочого дня на пошуки необхідного устаткування і виробів, 40% — не мають даних про виробничі процеси в режимі реального часу, а 50% — не встигають стежити за змінами в ході цих процесів. У сьогоднішніх реаліях навіть у такій проривній галузі промисловості, як автомобільна, ІоТ ще не дістав повного впровадження, а існує у вигляді окремих "кіберфізичних островів" *. У ЄС в виробничій промисловості тільки у менш як 20% підприємств високий і дуже високий індекс цифрової інтенсивності (digital intensity index — ДІІ) **.

Така ситуація зумовлена в тому числі бар'єрами на шляху розвитку смарт-промисловості: технічними, економічними та інституційними.

Технічні бар'єри створюються проблемами з комп'ютерними мережами, їх сумісністю та безпечністю. Як зазначають фахівці ***, нині бездротові мережі не застосовуються широко у критично важливих додатках, оскільки є ще не достатньо надійними, а дротові мережі дорого коштують для встановлення. У багатьох заводах просто відсутня інфраструктура, необхідна для розповсюдження даних усередині підприємства, не кажучи вже про їх розповсюдження між заводами і постачальниками на глобальній основі. Безперервний потік даних між машинами і віддаленими комп'ютерними системами в рамках ІоТ вимагає далеких ліній зв'язку з високою пропускну здатністю. Водночас у багатьох випадках, особливо у країнах, що розвиваються, заводи знаходяться за сотні кілометрів від великих міст з розвинутою телекомунікаційною інфраструктурою ****.

Для повного розкриття потенціалу промислового інтернету критично важливо забезпечити розв'язання проблем сумісності відповідних пристроїв і систем за допомогою розробки відкритих стандартів, а також впровадження комп'ютерних платформ, на базі яких різні системи ІоТ можуть взаємодіяти, та ін. Але це, у свою чергу, загострює проблеми конфіденційності. Відкриття нових можливостей отримання і зберігання інформації від мільярдів взаємозв'язаних пристроїв створює для підприємств проблеми із запобіганням витоку і підтриманням цілісності їх даних, а для людей — з недоторканністю приватного життя, захистом особистої та сімейної таємниць.

* CFE Media. Digital Report: ІоТ. — Consulting-Specifying Engineer Media, 2016. — 72 p. — P. 50–53.

** Індекс цифрової інтенсивності — це мікрорівневий показник, який характеризує доступність для підприємства 12 різних цифрових технологій. До них належать: інтернет, принаймні, для 50% зайнятих; використання спеціалістів з ІСТ; ширококутний доступ до інтернету (30 мб/с і вище); мобільні інтернет-пристрої, принаймні, у 20% зайнятих; наявність веб-сайту; наявність веб-сайту із сучасними функціями; наявність соціальних медіа; ERP; CRM; електронний обмін інформацією з управління ланцюгами поставок; оборот електронної комерції в розмірі понад 1% загального обороту; веб-продажі за моделлю "бізнес для споживача" (business-to-consumer — B2C) у розмірі, більшому від 10% загального обсягу веб-продажів. Значення індексу варіює в інтервалі від 0 до 12 (Integration of Digital Technology in the EU 2016 / European Commissions, 2016 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?action=display&doc_id=15811 [Accessed 18 Jan. 2017]).

*** CFE Media. Digital Report: ІоТ. — Consulting-Specifying Engineer Media, 2016. — 72 p. — P. 52.

**** McKinsey Global Institute. The internet of things: mapping the value beyond the hype. — McKinsey & Company, 2015. — 131 p. — P. 72.

Економічні бар'єри на шляху розвитку смарт-промисловості пов'язані з високими витратами накопичення та реновації необхідного фізичного і, особливо, цифрового капіталу (цифрових матеріальних і нематеріальних активів *), який відповідає техніко-технологічним вимогам промислового інтернету. Це зумовлює необхідність подальшого прискореного зниження вартості базового устаткування (датчиків, мікроелектромеханічних систем, засобів радіочастотної ідентифікації, джерел живлення для сенсорів та ін. **), а також витрат зберігання і опрацювання “великих даних” ***.

Серйозні проблеми виникають і з людським капіталом. Як уже зазначалося, смарт-промисловість потребує висококваліфікованого персоналу. Водночас, за даними “McKinsey Global Institute”, у 2020 р. дефіцит працівників з вищою освітою у світі може становити 38–40 млн. осіб, або 18% від потреб роботодавців ****. Багато в чому це зумовлено швидким старінням робочої сили, особливо в Європі, Японії та Китаї. А у США близько 8% членів Національної асоціації промисловців уже повідомляють про проблеми із заповненням робочих місць, які залишаються після звільнення пенсіонерів [8]. Але їх треба не просто заповнити. Смарт-промисловість вимагає нових компетенцій і нової системи підготовки кадрів (безперервного навчання, сертифікації) для ринку цифрових вакансій (конструкторів робототехніки, менеджерів з модернізації комп'ютерних мереж, інженерів систем безпеки цих мереж, спеціалістів з “великих даних”, розширеної аналітики та ін.) *****.

Інституційні бар'єри для розвитку смарт-промисловості створюють стійкі організаційні рутини (історично сформовані патерни поведінки груп індивідів),

* Цифровий капітал – це ресурси, необхідні для функціонування і розвитку економіки, що базується на цифрових комп'ютерних технологіях. Він виступає у двох формах: 1) цифрові матеріальні активи (сервери, маршрутизатори, принтери та інші фізичні пристрої в комплекті з відповідними комп'ютерними програмами); 2) цифрові нематеріальні активи (веб-сайти; авторські права на дизайн, який би приваблював користувачів і підвищував їхній цифровий досвід; “ноу-хау” у цифровому “захопленні” поведінки користувачів, аналізі “великих даних”, застосуванні розширеної аналітики та ін.; роялті за використання патентів і програмних продуктів; бренди, створені завдяки цифровим технологіям; тощо). За оцінками спеціалістів “McKinsey & Company”, цифровий капітал стає одним з головних факторів глобального економічного зростання. Інвестиції в нього складають уже понад 8% номінального світового ВВП. При цьому на інвестиції у цифрові нематеріальні активи у світі припадає близько 1/2, а в Ізраїлі, Японії, Швеції, Великобританії та США – близько 2/3 вкладень у цифрові матеріальні активи [14].

** Потенціал і темпи можливого прогресу у сфері виготовлення електронних компонентів можна приблизно оцінити за допомогою так званого “закону Мура”, заснованого на емпіричних спостереженнях. Згідно з цим законом, кількість транзисторів, розміщуваних на кристалі інтегральної схеми, повинна подвоюватися кожні 24 місяці, а їх вартість – залишатися на тому самому рівні [15]. Пізніше подібні експоненціальні залежності було виявлено також для обсягів пам'яті запам'ятовуючих пристроїв, для кількості та розміру пікселів у цифрових фотоапаратах та ін.

Одразу ж після пропонування цієї гіпотези у 1965 р. і пізніше багато разів пророкувалася неминуча “смерть” закону Мура, оскільки в реальному світі ніщо не може зростати безкінечно (див., наприклад: The Economist (2015). The end of Moore's law [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.economist.com/blogs/economist-explains/2015/04/economist-explains-17> [Accessed 21 Jan. 2017]). Все ж досі знаходилися такі технічні рішення, які підтримували чинність цієї емпіричної залежності.

*** McKinsey Global Institute. The internet of things: mapping the value beyond the hype. – McKinsey & Company, 2015. – 131 p. – P. 11.

**** McKinsey Global Institute. The world at work: Jobs, pay, and skills for 3.5 billion people. Executive Summary. – McKinsey & Company, Inc., 2012. – 12 p. – P. 2.

***** World Economic Forum. Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services. – Cologny/Geneva, Switzerland : World Economic Forum, 2015. – 39 p. – P. 21–22.

які складають колективну пам’ять підприємства і знижують витрати прийняття рішень у звичайних умовах [16, р. 138–188]. Проблема в тому, що у виробничих процесах, ведених інтелектом і DDD, фахівці з ІСТ повинні виконувати центральну, лідируючу роль з усіх напрямів управління, яке тепер пов’язане з інформацією від фізичних пристроїв, розташованих “на підлозі”. Цей принцип у багатьох менеджерів різних рівнів викликає явний когнітивний дисонанс і вимагає перегляду усталених поведінкових патернів, необхідність якого зумовлена новим баченням ІСТ-інфраструктури не просто як інкрементального доповнення до вже існуючих систем управління, а як стратегічної інвестиції*.

У ширшому контексті смарт-промисловість може стикатися з перешкодою у вигляді в цілому несприятливого інституційного середовища. Нові бізнес-моделі потребують безперервних інновацій у сфері товарів і послуг. Оскільки мережеорієнтовані виробництва створюють ширші можливості та потік інформації збільшується до безпрецедентного рівня, то нові можливості виникатимуть і в майбутньому. Конкуренція на світовому ринку вимагає постійних інновацій і передбачення цих можливостей**. Звідси проблеми в тих країнах і регіонах світу, де рівень національних інвестицій у НДДКР залишається низьким, де є серйозні питання з приводу захисту прав власності, примусу до виконання контрактів, корупції та ін., а господарюючі суб’єкти змушені керуватися “короткими правилами” і обрати рентоорієнтовану поведінку, а не інноваційну.

В основі успіху ІоТ – свобода глобального збирання і передавання “великих даних”. Для забезпечення ефективності DDD необхідним є вихід за межі держави. Але це явно суперечить інтересам економічної політики вирішення національних чемпіонів [17], коли пріоритету набувають рішення, ведені не техніко-економічними даними, а національними інтересами (Politically Driven Decision – PDD). Проблема в тому, що прийняття DDD у глобальному контексті може суперечити національно зумовленим PDD. Навіть у США, з їх потужною економікою, виникли проблеми у світі глобалізованої індустрії, і тепер вони змушені коригувати свою економічну політику в контексті промислового решорингу і більш жорсткого захисту національних інтересів***. Один з можливих шляхів розв’язання цієї проблеми – перехід від відкритості ІоТ у системі ненадійних глобальних зв’язків, які сильно зазнають впливу політики, до взаємовигідного співробітництва та відкритості у системі регіональних, багатосторонніх і двосторонніх економічних відносин, де політичний фактор можна поставити під контроль.

Якщо зазначені бар’єри вдасться подолати, то в цілому перспективи світової смарт-промисловості мають багатообіцяючий вигляд. За даними “McKinsey &

* CFE Media. Digital Report: ІоТ. – Consulting-Specifying Engineer Media, 2016. – 72 р. – Р. 52–53.

** Smartindustry.nl. Smart industry. Dutch industry fit for the future. – 2014. – 63 р. – Р. 32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.smartindustry.nl.

*** У своїй інавгураційній промові новий президент США Д. Трамп так охарактеризував цю проблему: “Один за одним заводи були закриті та покинули наші береги, навіть не замислюючись про мільйони і мільйони кинутих американських робітників. Багатство нашого середнього класу було вирвано з будинків людей і потім перерозподілено по всьому світу. Але це було в минулому. І тепер ми дивимось тільки у майбутнє. ...Усі рішення про торгівлю, про податки, про імміграцію, з іноземних справ буде прийнято на користь американських робітників і американських сімей. Ми повинні захистити наші кордони від руйнівних дій інших країн, які випускають наші продукти, обкрадають наші компанії та знищують наші робочі місця. Захист приведе до більшого процвітання і сили” (CNN. Inaugural address: Trump’s full speech. 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://edition.cnn.com/2017/01/20/politics/trump-inaugural-address/> [Accessed 24 Jan. 2017]).

Company”, проривні технології діджиталізації фізичного світу мають найбільший потенціал саме у сфері промислового виробництва. Керуючись аналізом різних варіантів темпів поширення ІоТ, економічними і демографічними тенденціями, ймовірною еволюцією технологій за десятирічний період, спеціалісти компанії оцінили глобальний ефект від застосування інтернету речей в обробній промисловості в діапазоні від 0,9 трлн. до 2,3 трлн. дол. у 2025 р. До цього часу технологіями ІоТ буде охоплено від 80 до 100% світової обробної промисловості, а зумовлене цим зниження операційних витрат може скласти 2,5–5% [11, р. 55].

Згідно з оцінками спеціалістів “General Electric Co.”, поширення мереж промислового інтернету у світі до 2030 р. може додати до світового ВВП близько 15 трлн. дол. (у постійних цінах 2005 р.). Інакше кажучи, дифузія смарт-промисловості у світі, пов’язана з більш високими темпами зростання продуктивності праці, може згенерувати додатковий ВВП, еквівалентний за розміром сьогоднішній економіці США. Відповідно, зростуть і середні доходи на душу населення, тобто до 2030 р. вони будуть майже на 1/5 вищими, ніж при базовому сценарії без урахування промислового інтернету [5, р. 29–30].

Це – з одного боку. А з іншого – велике поширення смарт-промисловості у світі може бути пов’язане у тому числі з таким небажаним наслідком, як загострення глобальних проблем нерівності через зростання відносної важливості високооплачуваної кваліфікованої праці [18] при одночасному заміщенні машинами рутинної праці, яка змушена буде прийняти на себе основний удар змін. Зниження відносних цін інвестиційних товарів, пов’язане з досягненнями у сфері інформаційних технологій і комп’ютеризації, вже стимулювало фірми до переходу від праці до капіталу, з огляду на що за останні 35 років (порівняно з початком 80-х років ХХ ст.) у значній більшості країн і галузей індустрії спостерігалися зменшення частки праці в цілому в корпоративній доданій вартості та, відповідно, підвищення частки капіталу [19, р. 61].

Останні досягнення у сфері робототехніки, штучного інтелекту і машинного навчання знаменують собою настання нової ери автоматизації, оскільки багато машин уже відповідають можливостям людини або навіть перевершують їх у різних видах робіт (у тому числі тих, які вимагають когнітивних здібностей). Виконаний “McKinsey Global Institute” аналіз понад 2000 спеціальностей у рамках 800 різних професій показав, що близько половини відповідної праці може бути замінене на машини на основі застосування уже відомих технологій *. Проте це не обов’язково призведе до зростання глобального безробіття. Навпаки, “світовій економіці насправді буде потрібний кожний ерг людської праці, на доповнення до роботів, для того, щоб подолати тенденції до демографічного старіння як у розвинутих країнах, так і у країнах, що розвиваються” **. Хоча, звичайно, характер праці повинен істотно змінитись, і переваги, очевидно, будуть на боці творчого STEM (Science, Technology, Engineering, Math)-персоналу, здатного розробляти, освоювати і обслуговувати нові технології.

Нарешті, фундаментальне геоекономічне значення має та обставина, що “проблема співвідношення “праця – капітал” часто зображується як проблема “праця – праця”, з претензіями в деяких країнах з розвинутою економікою з

* McKinsey Global Institute. A future that works: automation, employment, and productivity. – McKinsey & Company, 2017. – 135 p. – P. vii.

** Там же. – P. 2.

приводу того, що країни, які розвиваються, займають їх робочі місця. Це стимулювало неприйняття відкритості торгівлі та заклики до протекціонізму" [20]. І, як уже зазначалося, такі тенденції економічної політики у світі дійсно спостерігаються. Хоча не факт, що все це допоможе успіху процесів промислового рещорингу у розвинуті країни. По-перше, нинішній індустріальний лідер країн, які розвиваються, — Китай — дуже активно розвиває власну сферу НДДКР, що дозволяє йому вже не просто копіювати західні технології, а просувати власні (в тому числі цифрові) *. По-друге, смарт-промисловість тяжіє до споживача. А головних споживачів (із середнього класу) на ринках, які формуються, стає дедалі більше [21], тобто у найближчі десятиріччя частка таких країн світу переважатиме в цьому відношенні. По-третє, в місцях розміщення смарт-підприємств мають бути необхідні умови у вигляді відповідної інфраструктури, доступного капіталу та праці, а розвинуті країни в цьому відношенні вже не завжди виграють **.

Тут важливо підкреслити, що смарт-підприємства істотно відрізняються від звичайних за використовуваними факторами виробництва, що, у свою чергу, позначатиметься в тому числі і на виборі місць їх алокації. Якими у принципі мають бути пропорції факторів виробництва (капітал виробничий (трансформаційний) — K_T ; капітал цифровий (інформаційний) — K_P ; праця, пов'язана з фізичним капіталом, — L_T ; праця, пов'язана з цифровим капіталом, — L_P), і якою може бути їх відносна динаміка — це взагалі питання відкриті.

Кожне промислове підприємство можна подати через взаємодію потоків трансформації (T) (переробки сировинного "входу" на продуктивний "вихід") і потоків інформації (I), необхідної для організації та управління процесами трансформації. При цьому смарт-підприємство (s) відрізняється від підприємства звичайного (u) використанням DDD, заснованих на "великих даних", так що

$$\partial I_s / \partial T_s \gg \partial I_u / \partial T_u, \quad (1)$$

де $I_s = f_s^I(K_{I_s}, L_{I_s})$; $T_s = f_s^T(K_{T_s}, L_{T_s})$; $I_u = f_u^I(K_{I_u}, L_{I_u})$; $T_u = f_u^T(K_{T_u}, L_{T_u})$.

Але збільшення потоків інформації має сенс тільки в тому випадку, якщо приводить до випереджаючого зростання ефективності виробництва, тобто за умови, що

$$\partial C_s / \partial T_s \ll \partial C_u / \partial T_u, \quad (2)$$

де $C_s = \varphi_s(K_{I_s}, L_{I_s}, K_{T_s}, L_{T_s})$ — витрати смарт-підприємства на інформацію та трансформацію; $C_u = \varphi_u(K_{I_u}, L_{I_u}, K_{T_u}, L_{T_u})$ — витрати звичайного підприємства на інформацію та трансформацію.

Оскільки зв'язки між I та T є явно нелінійними (а скоріше за все, логістичного типу), то знаходження тих параметрів, за яких виконується нерівність (2), у кожному конкретному випадку (з урахуванням обставин місця і часу) виступає нетривіальною задачею.

* The Economist (2016). China's tech trailblazers. The Western caricature of Chinese internet firms needs a reboot [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.economist.com/news/leaders/21703371-western-caricature-chinese-internet-firms-needs-reboot-chinau2019s-tech-trailblazers> [Accessed 24 Jan. 2017].

** Характерний приклад із США. У 2012 р. на зустрічі з керівниками провідних технологічних компаній тодішній президент США Барак Обама спитав у Стіва Джобса, чи можна перенести виробництво продукції "Apple" назад до Америки. Джобс відповів, що зробити це неможливо, і ці робочі місця вже не повернуться. Головна причина полягала в тому, що рівень розвитку інфраструктури, а також доступність і система підготовки робочої сили (насамперед, кваліфікованих інженерів) у США не відповідали потребам "Apple" [23].

І в цілому моделювання кіберфізичних систем, здатне істотно знизити витрати їх втілення “в металі”, підвищити безпечність і схоронність кожної з них, — це дуже складна проблема, яка вимагає об’єднання зусиль вчених і виробників для створення більш досконалих інструментів підтримки застосовуваних на практиці різноманітних (агент-орієнтованих, імовірнісних, факторних та ін.) методів моделювання (включаючи моніторинг і управління моделями), а також для дотримання правильних співвідношень між моделями різних рівнів деталізації та абстракції [22, р. 18]. При цьому перспективними напрямками у розвитку моделювання кіберфізичних систем є мультисферні, мультимірні та мультиоб’єктні моделі [22, р. 46].

Висновки

У світі промисловість знову є актуальною і затребуваною [8], а смарт-промисловість — ще актуальнішою і затребуванішою. Її можна визначати по-різному, але в основі успіху — гармонійне поєднання фізичного та інформаційного світів, яке “розмиває” звичну дихотомію між трансформацією матерії та енергії (сферою виробництва), з одного боку, і виробництвом інформації, що є атрибутом матерії та енергії (сферою послуг), — з іншого. Сучасний світовий досвід розвитку індустрії говорить про те, що матеріальне виробництво без розширеної інформації — це недобре та неефективно. Але й інформація без проривного матеріального виробництва — це теж недобре і неефективно, хоча саме цифрові технології виробничих систем (у взаємозв’язку з 3D-друком, біо-, нано- та іншими проривними методами та інструментами) більшою мірою визначають специфіку того, що тепер іменують “смарт-промисловістю”.

Від цифрових технологій, які дозволяють інтегрувати нові потоки інформації від світу речей в індустріальні ланцюги створення вартості, походять ключові переваги смарт-підприємств зокрема і смарт-промисловості в цілому.

Для смарт-підприємств, які можуть бути дуже різними за розмірами (малими, великими, середніми) і видами промислової діяльності, — це більш гнучке високотехнологічне кіберфізичне виробництво, що забезпечує точне налаштування на споживача (час поставки, кількість, якість, витрати виготовлення товару), а також ґрунтується на використанні “великих даних” і DDD-управлінні.

Для смарт-промисловості — це якісний стрибок у кооперації та координації діяльності смарт-підприємств, об’єднаних через глобальні комп’ютерні мережі з дослідниками, розробниками, постачальниками, дистриб’юторами, кінцевими споживачами та ін.

Перспективи смарт-промисловості в цілому — величезні, як і пов’язані з ними виклики і проблеми (у тому числі у сферах інформаційної безпечності, зайнятості та доходів). Але для кого саме ці перспективи, а для кого — виклики і проблеми, питання залишається відкритим.

В Україні ситуація поки що складається не найкращим чином. Причина цього полягає в банальних проблемах з інноваціями, пов’язаних з у цілому несприятливим інституційним середовищем, короткими правилами поведінки економічних суб’єктів і низькими інвестиціями у НДДКР *, наслідком чого є в тому числі слабкі позиції нашої держави у світі за індексом розвитку ІСТ (76-те місце у 2016 р.) **.

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

** ITUdata. ICT Development Index 2016 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2016/> [Accessed 24 Jan. 2017].

Хоча слід зазначити, що вже є певне просування у сприянні розвитку смарт-промисловості за ініціативою "знизу" *. Щодо центральних органів влади, то Урядом України намічено пріоритетні дії у сфері економіки на період до 2020 р. **, які можуть зачепити в тому числі і смарт-промисловість. Але тут виникають запитання. По-перше, у зв'язку з тим, що в розробленому плані смарт-промисловість (Індустрія 4.0, промисловий інтернет речей, проривне дігталізоване виробництво тощо) — на відміну від планів дій США, Китаю, країн ядра ЄС та інших індустриальних лідерів — взагалі не розглядається, і тим більше як національна стратегічна інвестиція. По-друге, у зв'язку з проблемами забезпечення реальної незалежності органів, відповідальних за інноваційний розвиток у цілому і промисловості зокрема, від спотворюючого впливу поточної політичної кон'юнктури. По-третє, у зв'язку з відомими недоліками в системі підготовки та перепідготовки STEM-персоналу. І нарешті, по-четверте (що вже стало звичним в Україні), у зв'язку з обмеженістю наявних у уряді і суб'єктів господарювання фінансових ресурсів, які з різних причин були особливо виснажені в останні роки.

Очевидно, що всі ці перешкоди необхідно послідовно долати у контексті розв'язання стратегічних завдань підвищення якості промислового зростання і точного налагодження національного виробництва, яке підлягає оновленню на базі ICT, IoT і DDD-управління, на потреби споживачів (внутрішніх і зовнішніх, насамперед, європейських), а не просто відновлення його обсягів на існуючій техніко-технологічній основі.

Для цього, у свою чергу, слід:

— по-перше, виходити з холістично-просторового бачення проблем розвитку національної промисловості та необхідності дотримання закономірностей коволюції соціально-економічної, техніко-технологічної, соціокультурної та екологічної просторових систем, оскільки ці закономірності не є загальносвітовими, а залежать від індивідуальних обставин розвитку країни у просторі та часі, і саме вони визначають специфіку постановки цілей і способів їх досягнення на даному його етапі;

— по-друге, активно використовувати при виборі основних напрямів і механізмів становлення національної смарт-промисловості переваги вільної торгівлі в рамках багатосторонніх (у першу чергу, з ЄС) і двосторонніх міжнародних договорів, можливості посилення європейського інституційного тиску для прискорення прогресивних організаційно-управлінських, техніко-технологічних і структурно-галузевих трансформацій, а також вбудовування в Європейський єдиний цифровий ринок (Digital Single Market) і в Європейську дігталізовану індустрію (Digitising European Industry) [22, р. 9];

— по-третє, враховувати конкурентні переваги не тільки новостворюваних кіберфізичних систем, але й уже наявних виробництв і ресурсів, беручи до уваги, що в сучасній економіці жодна галузь промисловості не може априорі розглядатись як передова або відстала, а в кожній з них можуть бути підприємства як з передовими дігталізованими, так і з відсталими виробничими технологіями і си-

* Конференція Connecting IT & OT — звіт / Асоціація Підприємств Промислової Автоматизації України, 2016 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://appa.org.ua/ru/Conferenciya_Connecting_IT_&_OT-zvit [Accessed 24 Jan. 2017].

** Прем'єр-міністр презентував проєкт Середньострокового плану пріоритетних дій Уряду на період до 2020 року / Урядовий портал, 2016 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=249628227 [Accessed 24 Jan. 2017].

стемами управління; тому акценти в державній промисловій політиці мають бути перенесені з рівня галузей на рівень підприємств та їх просторових агломерацій.

Список використаної літератури

1. *Збаразська Л.О.* Неоіндустріалізація в Україні: концепт національної моделі // *Економіка промисловості*. – 2016. – № 3. – С. 5–32.
2. *Lazi H., Fettke P., Kemper H.-G., Feld T., Hoffmann M.* // *Business & Information Systems Engineering*. – 2014. – Vol. 6. – № 4. – P. 239–242.
3. *Schwab K.* The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond // *Foreign Affairs*. – 2015. – 12 December.
4. *Industrial Internet of Things: Cybermanufacturing Systems*; [S. Jeschke, C. Brecher, H. Song, D. Rawat (Eds.)]. – Switzerland: Springer International Publishing, 2017. – 715 p.
5. *Evans P., Annunziata M.* Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines. – Fairfield, CT: General Electric Co., 2012.
6. *Yin S., Kaynak O.* Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends // *Proceedings of the IEEE*. – 2015. – Vol. 103. – № 2. – P. 136–143.
7. *Hu H., Wen Y., Chua T.-S., Li X.* Towards scalable systems for big data analytics: A technology tutorial // *IEEE Access*. – 2014. – Vol. 2. – P. 652–687.
8. *Baily M. N., Manyika J.* Is Manufacturing “Cool” Again? / Project Syndicate, 2013 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.project-syndicate.org/commentary/skills-and-workers-in-the-new-age-of-manufacturing-by-martin-n--baily-and-james-manyika?barrier=accessreg> [Accessed 4 Jan. 2017].
9. *Auschitzky E., Hammer M., Rajagopaul A.* How big data can improve manufacturing / McKinsey & Company, 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-big-data-can-improve-manufacturing> [Accessed 4 Jan. 2017].
10. *Jagadish H. V., Gehrke J., Labrinidis A. et al.* Big Data and Its Technical Challenges. Exploring the inherent technical challenges in realizing the potential of Big Data // *Communications of the ACM*. – 2014. – Vol. 57. – № 7. – P. 652–687.
11. *Manyika J., Chui M., Bughin J. et al.* Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. – McKinsey Global Institute, 2013. – 162 p.
12. *Holtgrewe U.* New new technologies: the future and the present of work in information and communication technology // *New Technology, Work and Employment*. – 2014. – Vol. 29. – № 1. – P. 9–24.
13. *Davisa J., Edgarb T., Porterc J., Bernadend J., Sarli M.* Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic // *Computers and Chemical Engineering*. – 2012. – Vol. 47. – P. 145–156.
14. *Bughin J., Manyika J.* Measuring the full impact of digital capital // *McKinsey Quarterly*. – 2013. – July.
15. *Moore G.* Cramming More Components onto Integrated Circuits // *Proceedings of the IEEE*. – 1998. – Vol. 86. – № 1. – P. 82–85.
16. *Нельсон Р., Уинтер С.* Эволюционная теория экономических изменений; [пер. с англ.]. – М.: Дело, 2002. – 536 с.
17. *Chang H.-J.* Bad Samaritans: The Myth of Free Trade and the Secret History of Capitalism. – New York: Bloomsbury Press, 2008. – 256 p.

18. Brynjolfsson E., McAfee A., Spence M. New World Order: Labor, Capital, and Ideas in the Power Law Economy // *Foreign Affairs*. — 2014. — Vol. 93. — № 4.
19. Karabarbounis L., Neiman B. The Global Decline of the Labor Share // *The Quarterly Journal of Economics*. — 2014. — Vol. 129. — № 1. — P. 61–103.
20. Basu K., Bourguignon F., Lin J. Y. A New Year's Development Resolution / Project Syndicate, 2016 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://www.project-syndicate.org/commentary/update-development-policy-inequality-by-kaushik-basu-et-al-2016-12> [Accessed 21 Jan. 2017].
21. Kochhar R. A Global Middle Class Is More Promise than Reality / Pew Research Center, 2015 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.pewglobal.org/2015/07/08/a-global-middle-class-is-more-promise-than-reality/> [Accessed 5 Jan. 2017].
22. Reiman M., Rückriegel C. (Lead authors). Road2CPS. Priorities and Recommendations for Research and Innovation in Cyber-Physical Systems. — Steinbeis-Europa-Zentrum: Steinbeis-Edition, 2017. — 56 p.
23. Duhigg C., Bradsher K. How the U.S. Lost Out on iPhone Work // *The New York Times*. — 2012. — Jan. 21 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.nytimes.com/2012/01/22/business/apple-america-and-a-squeezed-middle-class.html?_r=1&hp=&pagewanted=all [Accessed 29 Jan. 2017].

References

1. Zbarazska L.O. *Neoindustrializatsiya v Ukraini: kontsept natsional'noi modeli* [Neoindustrialization in Ukraine: concept of national model]. *Ekonomika promyslovosti – The Economy of Industry Journal*, 2016, No. 3, pp. 5–32 [in Ukrainian].
2. Lazi H., Fettke P., Kemper H.-G., Feld T., Hoffmann M. *Business & Information Systems Engineering*, 2014, Vol. 6, No. 4, pp. 239–242.
3. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond. *Foreign Affairs*, 2015, 12 December.
4. Industrial Internet of Things: Cybermanufacturing Systems. S. Jeschke, C. Brecher, H. Song, D. Rawat (Eds.). Switzerland, Springer International Publishing, 2017.
5. Evans P., Annunziata M. *Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines*. Fairfield, CT, General Electric Co., 2012.
6. Yin S., Kaynak O. Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends. *Proceedings of the IEEE*, 2015, Vol. 103, No. 2, pp. 136–143.
7. Hu H., Wen Y., Chua T.-S., Li X. Towards scalable systems for big data analytics: A technology tutorial. *IEEE Access*, 2014, Vol. 2, pp. 652–687.
8. Baily M. N., Manyika J. Is Manufacturing “Cool” Again? *Project Syndicate*, 2013, available at: <https://www.project-syndicate.org/commentary/skills-and-workers-in-the-new-age-of-manufacturing-by-martin-n--baily-and-james-manyika?barrier=accessreg>.
9. Auschitzky E., Hammer M., Rajagopaul A. How big data can improve manufacturing. McKinsey & Company, 2014, available at: <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-big-data-can-improve-manufacturing>.
10. Jagadish H. V., Gehrke J., Labrinidis A. et al. Big Data and Its Technical Challenges. Exploring the inherent technical challenges in realizing the potential of Big Data. *Communications of the ACM*, 2014, Vol. 57, No. 7, pp. 652–687.
11. Manyika J., Chui M., Bughin J. et al. *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. McKinsey Global Institute, 2013.

12. Holtgrewe U. New new technologies: the future and the present of work in information and communication technology. *New Technology, Work and Employment*, 2014, Vol. 29, No. 1, pp. 9–24.
13. Davisa J., Edgar T., Porter J., Bernadend J., Sarli M. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic. *Computers and Chemical Engineering*, 2012, Vol. 47, pp. 145–156.
14. Bughin J., Manyika J. Measuring the full impact of digital capital. *McKinsey Quarterly*, 2013, July.
15. Moore G. Cramming More Components onto Integrated Circuits. *Proceedings of the IEEE*, 1998, Vol. 86, No. 1, pp. 82–85.
16. Nelson R., Winter S. *Evolyutsionnaya Teoriya Ekonomicheskikh Izmenenii* [An Evolutionary Theory of Economic Change]. Moscow, Delo, 2002 [in Russian].
17. Chang, H.-J. *Bad Samaritans: The Myth of Free Trade and the Secret History of Capitalism*. New York, Bloomsbury Press, 2008.
18. Brynjolfsson E., McAfee A., Spence M. New World Order: Labor, Capital, and Ideas in the Power Law Economy. *Foreign Affairs*, 2014, Vol. 93, No. 4.
19. Karabarbounis L., Neiman B. The Global Decline of the Labor Share. *The Quarterly Journal of Economics*, 2014, Vol. 129, No. 1, pp. 61–103.
20. Basu K., Bourguignon F., Lin J.Y. A New Year's Development Resolution. *Project Syndicate*, 2016, available at: <https://www.project-syndicate.org/commentary/update-development-policy-inequality-by-kaushik-basu-et-al-2016-12>.
21. Kochhar R. A Global Middle Class Is More Promise than Reality. Pew Research Center, 2015, available at: <http://www.pewglobal.org/2015/07/08/a-global-middle-class-is-more-promise-than-reality/>.
22. Reiman M., Rückriegel C. (Lead authors). *Road2CPS. Priorities and Recommendations for Research and Innovation in Cyber-Physical Systems*. Steinbeis-Europa-Zentrum, Steinbeis-Edition, 2017.
23. Duhigg C., Bradsher K. How the U.S. Lost Out on iPhone Work. *The New York Times*, 2012, Jan. 21, available at: http://www.nytimes.com/2012/01/22/business/apple-america-and-a-squeezed-middle-class.html?_r=1&hp=&pagewanted=all.

Стаття надійшла до редакції 15 лютого 2017 р.
