

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВАМИ

УДК 338.24

DOI: <https://doi.org/10.37320/2415-3583/21.4>**Смоляр Л.Г.**

кандидат економічних наук, професор,
професор кафедри менеджменту підприємств
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Іляш О.І.

доктор економічних наук, професор,
професор кафедри економічної кібернетики
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Трофименко О.О.

доктор економічних наук, доцент,
доцент кафедри економічної кібернетики
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ТРАНСФОРМАЦІЙНІ ЕФЕКТИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0

Стаття присвячена дослідженню трансформаційних ефектів розвитку промислового виробництва на засадах цифровізації. Визначені основні світові пріоритети щодо розвитку Індустрії 4.0 та досягнення глобальних цілей сталого розвитку, зокрема, розвиток ІКТ. Визначені основні складники та технології Індустрії 4.0 в контексті цифровізації виробництва та забезпечення позитивних ефектів промисловості. Проаналізовано динаміку доданої вартості промислового виробництва деяких країн з 2011 по 2020 рр. Візуалізовано співвідношення часток доданої вартості промислового виробництва у ВВП та доданої вартості середньо- та високотехнологічного виробництва у зрізї субіндексу ІКТ для 21 країни і визначено країн-лідерів за потенціалом цифровізації та розвитком промисловості. Визначені провідні глобальні підприємства по впровадженню проривних технологій Індустрії 4.0. На мікрорівні наведені основні технології для забезпечення оптимізації виробничих ліній, визначені ключові ефекти цифровізації.

Ключові слова: цифровізація, інформаційно-комунікаційні технології, промисловість, виробництво, інновації, Індустрія 4.0.

Постановка проблеми. Сьогодні в усьому світі відбуваються якісні та кількісні трансформації, пов'язані із реалізацією концепції Індустрії 4.0 – скоординованої ініціативи щодо мобілізації ресурсного базису для прискорення темпів реалізації структурних технологічних перетворень, яку було прийнято на глобальному рівні в 2014 р. на Всесвітньому економічному форумі (World Economic Forum, Женева, Швейцарія). Умови розвитку Індустрії 4.0 формують системні переваги пришвидшення темпів горизонтально-вертикальної інтеграції виробництва та мінімізації витрат на обслуговування систем управління. В той же час, забезпечення переходу до Індустрії 4.0 передбачає модернізацію існуючих промислових систем інноваційними технологіями, які передбачають стійкі рішення та сталі виробництва. Відтак, за останні кілька років цифрові технології на глобальному рівні все більше поширюються на виробництво та виробничі процеси у провідних країнах. Технології у сфері Інтернету речей, великих даних, робототехніки, блокчейн технологій, датчиків, штуч-

ного інтелекту, доповненої реальності та швидкісних технологій прототипування перейшли в переробну промисловість. Сьогодні в високорозвинених країнах завдяки цим інноваційним технологіям товари розробляють, виробляють та споживають, а також ці технології стимулюють розвиток нових бізнес-моделей, послуг та формують нові моделі споживчої поведінки.

Відповідно, до основних світових пріоритетів відноситься прискорення досягнення Цілей сталого розвитку до 2030 р., затверджених на Саміті ООН. Згідно з Добровільним національним оглядом Цілей сталого розвитку в Україні [1] важливе значення приділяється саме ЦСР 8 «Гідна праця та економічне зростання», яка має стати акселератором перетворень для досягнення усіх цілей. Крім того, ще одна ЦСР 9 присвячена створенню стійкої інфраструктури, сприянню всеохоплюючій і сталій індустріалізації та інноваціям, що забезпечує відповідну інфраструктуру. В умовах Індустрії 4.0 саме розвиток інформаційно-комунікативних (ІКТ) технологій є рушійною силою для забезпечення

глобальної цифровізації, що важливо врахувати під час дослідження трансформаційних ефектів цифровізації.

Звичайно, що становлення Індустрії 4.0 для країн з різними стадіями промислового розвитку буде відрізнятися у часі та швидкістю впровадження технологій. Проте, враховуючи цей перехідний етап, країнам, що розвиваються, надана можливість збільшити свою частку індустріалізації, впроваджувати «розумні» (SMART) заводи, засновані на цифровізації, та ін. Для підтримки такого розвитку подій в Україні, необхідно більш детально передбачити виклики та можливості, пов'язані з Індустрією 4.0, з врахуванням нинішньої стадії промислового розвитку.

Саме тому, важливо дослідити кращі практики розвитку промислового виробництва на засадах цифровізації на макро- та мікрорівнях, що дозволить визначити основні трансформаційні ефекти від цифровізації для виробничих процесів, і обумовлює актуальність даного дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування та розвиток концепції Індустрії 4.0 було розпочато у 2011 році під час церемонії відкриття Ганноверської виставки «Hannover Messe – 2011», де генеральним директором Німецького дослідницького центру штучного інтелекту професором Вольфгангом Вальстером було озвучено цей термін. Також ініціативна група під керівництвом Ч. Грифдстаффа (компанія Siemens PLN Software) у 2011 році визначила засади розвитку Індустрії 4.0 як інтеграцію «кіберфізичних систем» у виробничий процес [2]. Перші дослідження в сфері Індустрії 4.0, зокрема, інноваційних технологій нового типу, проводили у 2015 році М. Герман, Т. Пентек та Б. Отто [3]. У наукових працях Л. Смоляр, О. Іляш, О. Трофименко та ін. [4; 5] визначено та досліджено основні бенчмаркери, що дозволять забезпечити «економічний прорив» у технологічному та інноваційному напрямках. Дослідник П. Боровські визначає основними елементами управлінського процесу на сучасному виробничому підприємстві саме цифровізацію, Digital Twins, блокчейн та інші елементи Індустрії 4.0 та визначає їх основні можливості для забезпечення ефективності виробничого процесу [6]. Цікавими є прикладні рекомендації директора з розвитку АППАУ Олега Михайлова [7], де зазначено, що для отримання максимальної ефективності на виробництві, дотримуючись принципів Індустрії 4.0, необхідно, щоб контрагенти підприємства, яке впроваджує технології Індустрії 4.0, також впроваджували інноваційні технології, що дозволить сформуванню екосистему інновацій, і можливим це стане в умовах стратегічної синергії підприємств для переведення виробничих галузей до Індустрії 4.0.

Проте, з врахуванням швидкозмінного економічного середовища та розвитку проривних технологій, в умовах становлення четвертої промислової революції, потребують додаткових досліджень сучасні питання забезпечення цифровізації, її складових та виробничих ефектів з впровадженням технологій Індустрії 4.0.

Мета статті полягає у визначенні ролі цифровізації виробництва для розвитку промисловості на засадах Індустрії 4.0 з врахуванням основних сучасних ефектів від її впровадження на макро- та мікрорівнях.

Виклад основного матеріалу. Платформа Індустрії 4.0 базується на впровадженні систем штучного

інтелекту в управління бізнес-процесами, розвитку робототехніки, кібертехнологій, Інтернету речей (IoT), технологій блокчейну, SMART зв'язках, розвитку кіберфізичних систем, хмарних технологій тощо.

В контексті забезпечення цифровізації виробництва одним з основних напрямів є формування кіберфізичної системи, тобто забезпечення інтеграції у процес виробництва комп'ютерних та мережевих технологій, що забезпечує можливість керування автоматизованим виробництвом у реальному часі [3]. Впровадження кіберфізичної системи сприяє пришвидшенню обміну інформацією на виробництві, що сприяє низці позитивних виробничих ефектів – зростання швидкості, мінімізація виробничих помилок та простоїв, зростанню виробничої продуктивності.

Інтернет речей (IoT) – система об'єднаних комп'ютерних мереж і підключених до них промислових (виробничих) об'єктів з вбудованими датчиками і програмним забезпеченням для збору та обміну даними, з можливістю віддаленого контролю і управління в автоматизованому режимі, без участі людини [3]. Окрім підвищення ефективності виробництва дана технологія дозволяє пристосуватися до ситуації у зв'язку пандемією COVID-19. В контексті роботи з контрагентами варто зазначити і зручність вже поширеного інтернету послуг.

Цифровізація є основною для побудови розумних (SMART) заводів, що передбачає автоматизоване обладнання на виробництві з управлінням за допомогою ІКТ. Завдяки цьому на SMART-заводах реалізується мінімізація людської праці, бо майже всі дії виконуються автономно під контролем сенсоров кіберфізичної системи [3].

Дані та інші інноваційні технології більшою мірою використовують підприємства в провідних країнах світу з високим рівнем ВВП, що дозволяє збільшити додану вартість промислового виробництва. Для співставлення дослідили динаміку доданої вартості промислового виробництва окремих країн (рис. 1), а саме: Польщі, Угорщини, Латвії, Литви, Естонії, Канади, Сполученого Королівства, Німеччини, Франції, Туреччини, Португалії та Італії. Основними країнами для співставлення доданої вартості промислового виробництва в цих країнах були такі: країни-сусіди України, схожі ресурсні можливості, країни у співпраці з Україною за багатьма напрямками, країни з провідною економікою та високим рівнем ВВП.

З рис. 1 видно, що найбільший обсяг доданої вартості промислового виробництва серед досліджуваних у Німеччині (905,35 млрд дол. в 2020 р.), а серед усіх країн світу Німеччина посідає 2 місце – після Китаю (5771,86 млрд дол. в 2020 р.). Порівняно з 2018 р. додана вартість промисловості в Німеччині у 2020 р. скоротилася на понад 8%, що в першу чергу, пов'язано зі світовою кризою у зв'язку з пандемією COVID-19. Схожа тенденція спостерігається і в інших країнах.

На другому місці за обсягом доданої вартості промислового виробництва серед досліджуваних знаходиться Об'єднане Королівство. В міжкризовий період з 2011 по 2018 рр. приріст доданої вартості промисловості становив понад 12% (до 551,3 млрд дол), а в 2020 р. порівняно з 2019 р. відбувся спад на 11%. Схожа динаміка спостерігалася в Італії та Канаді, які

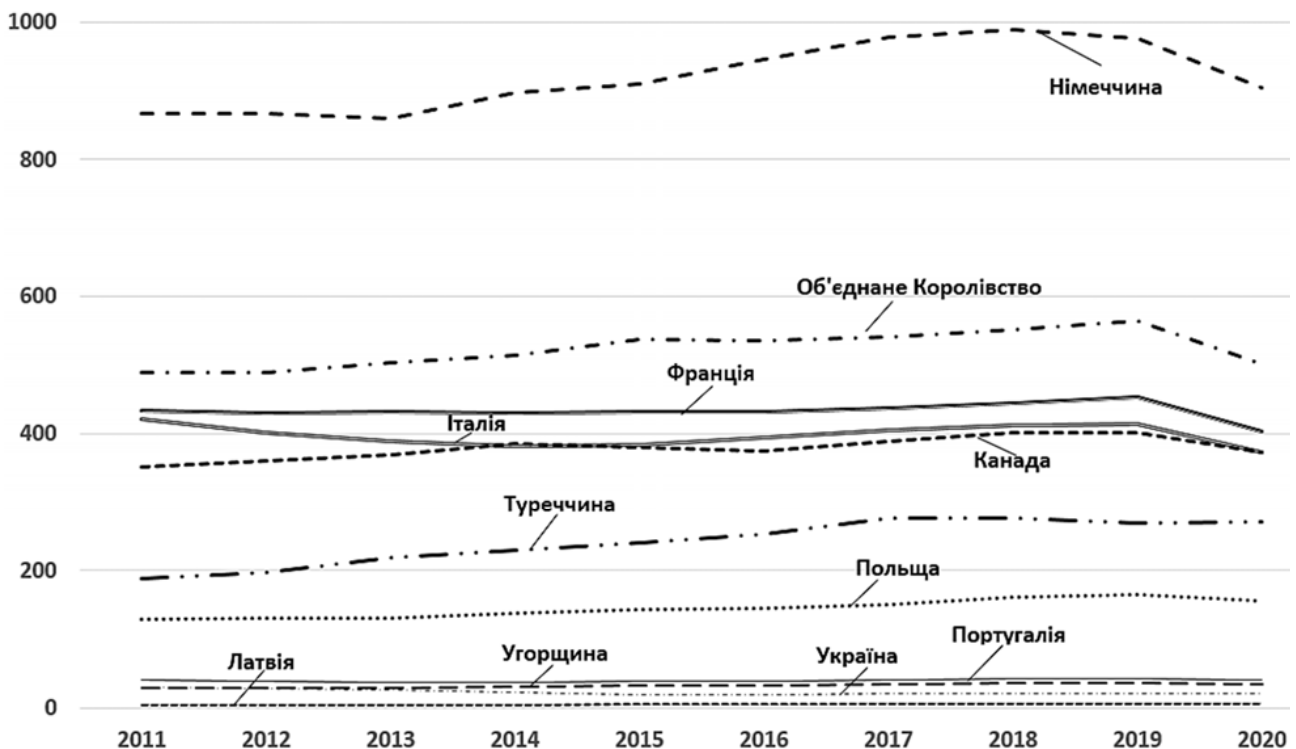


Рисунок 1 – Динаміка доданої вартості промислового виробництва (включаючи будівництво) деяких країн з 2011 по 2020 рр., млрд дол. (в пост. дол. США 2015 р.)

Джерело: побудовано авторами за даними [8]

посіли, відповідно, 3 та 4 місце за обсягом доданої вартості промисловості. Значний прогрес спостерігається у Туреччині, крім того, зниження доданої вартості в 2019 незначне – до 3% та зростання вже у 2020 рр. – на 1%. Схожа динаміка спостерігається у Польщі, проте обсяги доданої вартості промислового виробництва нижче ніж у Туреччині – на 42% у 2020 р. і становив 155,9 млрд дол. Україна, Португалія, Угорщина близько розташовані за обсягом доданої вартості промисловості – коливання в межах від 21 до 43 млрд дол. Лідером серед цих трьох країн є Португалія, далі – Польща та Україна. Найнижчий обсяг доданої вартості промислового виробництва у Латвії – 5,89 млрд дол в 2020 р. Отже, можна зробити висновок про доцільність дослідження промислових підприємств в визначених країнах-лідерах на предмет визначення впровадження цифровізації під час їх виробничого процесу.

Для співставлення рівня процесів цифровізації з процесами формування доданої вартості промисловості і, зокрема, середньо- та високотехнологічного виробництва зобразили графічно 21 країну, зокрема 11 визначених раніше країн, із значеннями субіндексу ІКТ Глобального індексу інновацій (діаметр кола) в координатах показників доданої вартості промислового виробництва у % до ВВП та доданої вартості середньо- та високотехнологічного виробництва у % до вартості сукупного виробництва (рис. 2).

Так, субіндекс інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) Глобального індексу інновацій [9] характеризує на рівні країни в сукупному розвиненості в країні таких показників як доступність ІКТ, використання ІКТ, рівень розвитку онлайн сервісів уряду

та розвиток електронної участі (E-participation). Цей показник обрали як один із результатуючих показників стану цифровізації різних процесів в країні.

З рис. 2 видно, що за часткою доданої вартості промислового виробництва у ВВП лідерами серед досліджуваних країн є Об'єднані Арабські Емірати (44%), Китай (39%), Чеська Республіка (32%) та Норвегія (29%). За часткою доданої вартості середньо- та високотехнологічного виробництва у сукупному обсязі промислового виробництва лідерами з часткою більше 50% є Німеччина (61%), Данія (58%), Угорщина (54%), Швеція (52%), Чеська Республіка (52%) та Франція (50%). При цьому, високі показники субіндексу ІКТ спостерігаються у Німеччині, Об'єднаних Арабських Еміратах, Швеції, Норвегії, Німеччині, Франції, Сполученому Королівстві.

Показники України є порівняно низькими, зазначимо, що і за показниками 2021 р. Україна демонструє невисокі позиції по основним індикаторам ІКТ-інфраструктури. За субіндексом ІКТ в рамках Глобального інноваційного індексу Україна посіла 70 місце (серед 152 країн) з показником 64.9 серед 100 максимальних балів, що нижче ніж в Румунії, Чехії, Білорусії, Литві, Польщі – для співставлення. В той час як у топ-20 – Південна Корея, Великобританія, Японія, Данія, Нідерланди, Естонія, США та ін. Показовим також є рейтинг за Індексом мережевої готовності – наприклад, в 2021 р. Україна отримала 53 місце зі значення індексу 55,7 і випередили її такі країни як Бразилія, Турція, Уругвай, Малайзія, Угорщина, Польща.

Отже, в більшості розвинених країнах спостерігається прямий зв'язок між часткою середньо- та високо-

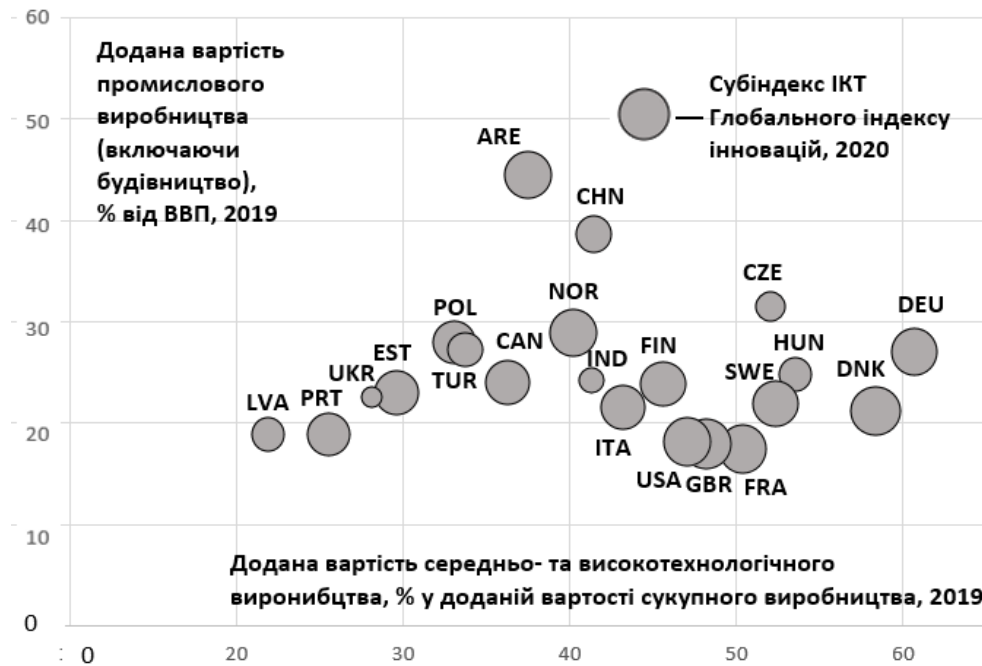


Рисунок 2 – Співвідношення частки доданої вартості промислового виробництва у ВВП та частки доданої вартості середньо- та високотехнологічного виробництва у доданій вартості сукупного виробництва у зрізі субіндексу інформаційно-комунікаційних технологій

Джерело: побудовано авторами за даними [8]

технологічного виробництва та субіндексом ІКТ. Крім того, оскільки це лише відносні показники до ВВП, варто додатково аналізувати саме абсолютні показники доданої вартості промислового виробництва (рис. 1), та рівень ВВП. І в межах абсолютних показників країни з високою часткою середньо- та високотехнологічного виробництва та показниками цифровізації мають набагато вищі показники доданої вартості промислового виробництва. В цілому, на світове промислове виробництво припадає лише 16% світового ВВП [10]. Зі зростанням кількості та якості функціонування промислових підприємств в світі шляхом впровадження технологій Індустрії 4.0 структура економіки більшості країн буде змінюватися, що призведе до економічного зростання.

До якісних змін у виробництві призводять сучасні гнучкі методи розробки продукту, адже вони дозволяють мінімізувати показники “time to market” (TTM), тобто збільшити швидкість як одну із найважливіших конкурентних переваг компаній [11]. За дослідженням McKinsey лідери галузі використовують рішення Індустрії 4.0: 39% впровадили підхід, що має нервовий центр, або контрольну вежу, щоб збільшити наскрізну прозорість ланцюга поставок, а близько чверті – програми швидкої автоматизації, щоб зупинити виникаючу нестачу працівників через COVID-19.

Відповідно до дослідження, опублікованого в межах Всесвітнього економічного форуму [12] Багато компаній намагаються запровадити технології Індустрії 4.0 у виробництво, проте мало кому вдається зробити це у масштабах, що дозволяють досягти суттєвого фінансово-економічного ефекту. В той же час, основні

напрямки трансформації виробництва визначаються трьома глобальними технологічними тенденціями: мережна інтеграція, інтелектуалізація та гнучка автоматизація. Зазначимо, що ці передові підприємства, яким вдалося успішно використати ці тенденції (відповідно до дослідження [12]), що виходять на новий рівень ефективності, знаходяться в тих країнах, які мають високі показники доданої вартості виробництва та ІКТ (рис. 1, рис. 2). Наведемо підприємства та особливості їх революційних інноваційних технологій, які відповідно до дослідження [12] називають «маяками», тобто провідними підприємствами по провадженню технологій Індустрії 4.0, які варто наслідувати в табл. 1.

Світовим та українським підприємствам впровадження технологій Індустрії 4.0 особливо актуальне для мінімізації негативного впливу світової пандемії COVID-19. З одного боку, це можливість оптимізувати виробничі процеси, з іншого – можливість управляти виробничим процесом дистанційно та заощадливо.

Серед основних глобальних тенденцій можна зазначити такі як швидкозмінність ринкових умов, нестабільність попиту, зміщення попиту в бік ринків, що розвиваються та нових стартапів, зростання попиту на індивідуальний підхід, персоналізацію та інтеграцію, що визначає ціннісні ознаки четвертої промислової революції [13], на основі якої побудовано сучасну виробничу лінію 4.0. Така виробнича лінія передбачає: 1) оптимізацію процесів за допомогою використання даних, зокрема, інтеграцію ІТ технологій для цифрового управління ефективністю виробництва, цифрову оптимізацію процесів на базі даних, автоматизовану систему подачі; 2) широкий спектр цифрових техно-

Таблиця 1 – Приклади підприємств, що реалізують успішні практики впровадження проривних технологій Індустрії 4.0

Країна	Підприємство	Технології Індустрії 4.0
Німеччина	BMW (Регенсбург)	Високорозвинене підприємство, побудоване на принципах дбайливого виробництва, поставило за мету вийти на новий рівень завдяки впровадженню цифрових технологій
	Phoenix Contact (Бад-Пирмонт и Бломберг)	Для задоволення зростаючих вимог клієнтів до індивідуалізації рішень підприємство запровадило комплекс нових сценаріїв використання цифрових технологій
Китай	Bosch Automotive (Усі)	Впроваджено понад 30 нових сценаріїв використання цифрових технологій для задоволення попиту, що зріс на 200%
	Danfoss (Тяньцзинь)	Підприємство використовувало технології Індустрії 4.0 для підвищення якості продукції та скорочення витрат з урахуванням очікувань клієнтів
	Foxconn Industrial Interne ((Шенчжень)	Компанія прийняла рішення про повне переорієнтування бізнесу, тобто перетворенні з виробника електронного обладнання у постачальника промислових інтернет-технологій
	Haier (Циндао)	Впровадження цифрових технологій на виробництві з метою задоволення споживчого попиту та створення нової бізнес-моделі
	Siemens Industrial Automation Products (Ченду)	Зростання споживчого попиту зумовило необхідність цифрових перетворень для підтримки якості продукції
Чеська Республіка	Procter & Gamble – Rakona (Раковник)	Підприємство впроваджує цифрові технології, поставило завдання змінити асортимент продукції та планує продовжувати роботу протягом наступних 140 років
Франція	Schneider Electric (Ле-Водррой)	Підприємство, яке існує вже 50 років, усвідомило необхідність впровадження цифрових технологій, щоб зберегти цінову конкурентоспроможність протягом наступних 50 років
Італія	Rold (Черро-Маджоре)	Підприємство запровадило концепцію цифрового виробництва для збереження конкурентоспроможності та збільшення обсягу продукції, що випускається
Швеція	Sandvik Coromant (Гімо)	Підприємство запровадило цифрові технології та інтелектуальні автоматизовані системи, що дозволяють випускати великі обсяги продукції (ріжучих інструментів) з конкурентоспроможною собівартості при мінімальних обсягах партії

Джерело: складено авторами на основі [12]

логій для робітників, зокрема, контроль виробництва в режимі реального часу, ведення електронного документообігу та цифровізація командних завдань та контрольних листів, онлайн оновлення та опис нових завдань для працюючих; 3) інтегровану продуктову модель від розробки до виробництва, що передбачає, зокрема, інтеграцію виробничих даних, програмування в автономному режимі виробничих процесів, віртуальне введення в експлуатацію, що дозволяє з місця замовника відслідковувати виробництво, контролювати та перевіряти якість.

З врахуванням технологій Індустрії 4.0 автоматизація систем подачі здійснюється на основі роботизації виробничих процесів. Згідно проведених досліджень ринку виробничих компаній [14], саме «людський фактор» є причиною близько 23% браку та зниження використання виробничих потужностей. Тому для забезпечення позитивних ефектів важливо розвивати людський капітал для забезпечення технологій Індустрії 4.0, та підвищувати рівень автоматизації виробництва та використання роботехніки. Відповідно до прогнозів [14], світовий попит в сфері виробництва на проривні технології робототехніки має зрости до 3,7 млрд дол.

Однією з проривних технологій в сфері робтехніки є колаборативні роботи (коботи) – автоматичний пристрій, який може працювати разом із людиною для створення або виробництва різних продуктів [15]. Дані механізми удосконалюються зі становленням

Індустрії 4.0. Автоматизовані виробничі лінії у поєднанні з проривними технологіями Індустрії 4.0 дозволять отримати такі позитивні соціально-економічні ефекти як: вивільнення неефективної робочої сили, зростання продуктивності праці, прискорення періоду обороту оборотних активів підприємства, оптимізації оплати праці виробничому персоналу, підвищення безпеки праці з врахуванням залучення роботів у виконанні небезпечних для людей завдань, зростання швидкості різних виробничих процесів.

Висновки з проведеного дослідження. Отже, за результатами проведеного дослідження можна стверджувати, що становлення Індустрії 4.0 супроводжується зростанням доданої вартості середньо- та високотехнологічного виробництва, впровадженням цифровізації на макро- та мікрорівнях. На макрорівні доцільно запроваджувати підтримку інноваційних технологій Індустрії 4.0 шляхом формування стратегій та планів розвитку економіки з врахуванням світових програм та глобальних ініціатив, зокрема: Промислова стратегія ЄС 2021–2024 рр., Європейські ініціативи стосовно ІКТ-інновацій для виробництва МСП (І4МС), План Маршала 4.0 «Пріоритетні заходи для економічного перерозподілу Валлонії» (Бельгія), Програма «Нова індустріальна Франція», Інноваційна програма Produktion 2030 – Стратегічна інноваційна програма, підтримана Шведським управлінням інноваційних систем (Vinnova), національна платформа в Данії MADE, Стратегія Industria Conectada 4.0, Національний техно-

логічний кластер "Інтелектуальна фабрика" (Fabbrica Intelligente) та ін. Доцільно враховувати досвід провідних підприємств, які впроваджують технології цифровізації для підвищення ефективності виробництва. Оскільки Індустрія 4.0 сприяє прискоренню процесів виробництва та структурним змінам галузей. Для збереження конкурентоспроможності компаніям потрібно прискорювати період обороту оборотних активів, чому сприяє цифровізація. Основні напрямки трансформації виробництва визначаються трьома глобальними технологічними тенденціями: мережна інтеграція,

інтелектуалізація та гнучка автоматизація. Зокрема, високоефективними елементами гнучкої автоматизації є колаборативні роботи, які можуть стати важливим першим кроком для модифікації виробничих ліній компаній. Таким чином доцільно імплементувати кращі практики розвитку (на макрорівні) та застосування технологій Індустрії 4.0 (на мікрорівні) в Україні, що дозволить забезпечити позитивні ефекти, пов'язані зі зростанням промислового виробництва, зростання гнучкості виробництва та інтелектуалізації підприємств.

Список використаних джерел:

1. Цілі сталого розвитку: Україна. Добровільний національний огляд. URL: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/26294VNR_2020_Ukraine_Report.pdf (дата звернення: 10.10.2021).
2. Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. H. Kagermann, W.-D. Lukas, W. Wahlster. 2011. URL: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/produktion/industrie-40-mit-internet-dinge-weg-4-industriellen-revolution>.
3. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. Mario Hermann, Tobias Pentek, Boris Otto – 2015. URL: <https://iim.mb.tu-dortmund.de>.
4. Смоляр Л., Іляш О., Коліщенко Р., Литвак Т. Бенчмаркери забезпечення «економічного прориву» України у технологічному та інноваційному напрямках. *Інноваційна економіка*. 2020. № 5–6. С. 19–29. Doi: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2020.5-6.3>.
5. Смоляр Л.Г., Іляш О.І., Трофименко О.О., Джадан І.М. Екологічний складник забезпечення інноваційного розвитку національної економіки в умовах Індустрії 4.0. *Регіональна економіка*. 2021. № 1(99). С. 61–71. DOI: <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2021-1-7>.
6. Borowski P.F. Digitization, Digital Twins, Blockchain, and Industry 4.0 as Elements of Management Process in Enterprises in the Energy Sector. *Energies*. 2021. № 14(7). P. 1885. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14071885>.
7. INDUSTRY 4.0 – як уникнути плутанини та об'єднатись 2017. URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2017/03/06/industry-4-0-%D1%8F%D0%BA-%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BD%D1%83%D1%82%D0%B8-%D0%BF%D0%BB%D1%83%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B8-%D1%82%D0%B0-%D0%BE%D0%B1%D1%94%D0%B4%D0%BD%D0%B0>.
8. Статистика Світового Банку. URL: <https://data.worldbank.org>.
9. Global innovation index. URL: <https://www.globalinnovationindex.org/home>.
10. Цифрова економіка: тренди, ризики та соціальні детермінанти. URL: https://razumkov.org.ua/uploads/article/2020_digitalization.pdf.
11. Time To Market: What it is, Why it's important, and Five Ways to Reduce it. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_%D0%A7%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf.
12. Industry 4.0. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/capturing-value-at-scale-in-discrete-manufacturing-with-industry-4-0>.
13. Human Error is Worse in Manufacturing Compared to Other Sectors. 2017. URL: <https://www.engineering.com/story/human-error-is-worse-in-manufacturing-compared-to-other-sectors>.
14. Impact of robotics in manufacturing. 2020. URL: <https://mantec.org/robotics-manufacturing/>.
15. Collaborative Robots Play Nice on the Plant Floor. *Engineering* 360. 2015. URL: <https://insights.globalspec.com/article/621/collaborative-robots-play-nice-on-the-plant-floor>.

References:

1. Ministry for Development of Economy, Trade and Agriculture of Ukraine(2019) Sustainable Development Goals: Ukraine. Available at: http://un.org.ua/images/SDGs_NationalReportUA_Web_1.pdf (accessed 10 October 2021).
2. Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. H. Kagermann, W.-D. Lukas, W. Wahlster. 2011.
3. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios // Mario Hermann, Tobias Pentek, Boris Otto.
4. Smoliar, L., Ilyash, O., Kolishenko, R., & Lytvak, T. (2020). Benchmarkery zabezpechennia «ekonomichnoho proryvu» Ukrainy u tekhnolohichnomu ta innovatsiinomu napriamakh. *Innovatsiina ekonomika*, 5–6, 19–29. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2020.5-6.3>.
5. Smoliar, L. H., Ilyash, O. I., Trofymenko, O. O., & Dzhadan, I. M. (2021). Ekolohichnyy skladnyk zabezpechennya innovatsiinoho rozvytku natsional'noyi ekonomiky v umovakh Industriyi 4.0 [An environmental component of securing the national economy's innovative development in the Industry 4.0]. *Rehional'na ekonomika – Regional Economy*, 99 (1), 61–71. DOI: <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2021-1-7>.
6. Borowski, P. F. (2011). Digitization, Digital Twins, Blockchain, and Industry 4.0 as Elements of Management Process in Enterprises in the Energy Sector. *Energies*. 14(7), 1885. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14071885>.
7. INDUSTRY 4.0 2017. Available at: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/2017/03/06/industry-4-0-%D1%8F%D0%BA-%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BD%D1%83%D1%82%D0%B8-%D0%BF%D0%BB%D1%83%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B8-%D1%82%D0%B0-%D0%BE%D0%B1%D1%94%D0%B4%D0%BD%D0%B0>.
8. World Bank. Available at: <https://data.worldbank.org>.
9. Global innovation index. Available at: <https://www.globalinnovationindex.org/home>.
10. Digital economy: trends, risks and social determinants. Available at: https://razumkov.org.ua/uploads/article/2020_digitalization.pdf.

11. Time To Market: What it is, Why it's important, and Five Ways to Reduce it. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_%D0%A7%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf.

12. Industry 4.0. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/capturing-value-at-scale-in-discrete-manufacturing-with-industry-4-0>.

13. Human Error is Worse in Manufacturing Compared to Other Sectors. 2017. Available at: <https://www.engineering.com/story/human-error-is-worse-in-manufacturing-compared-to-other-sectors>.

14. Impact of robotics in manufacturing. 2020. Available at: <https://mantec.org/robotics-manufacturing>.

15. Collaborative Robots Play Nice on the Plant Floor. Engineering 360. 2015. Available at: <https://insights.globalspec.com/article/621/collaborative-robots-play-nice-on-the-plant-floor>.

Smoliar Lubov, Ilyash Olha, Trofymenko Olena

*National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

DIGITIZATION TRANSFORMATIONAL EFFECTS IN INDUSTRIAL PRODUCTION DEVELOPMENT IN THE CONDITIONS OF INDUSTRY 4.0

The article is devoted to the study of transformational effects of industrial production on the basis of digitalization. The main global priorities for the development of Industry 4.0 and the achievement of global goals of sustainable development, in particular, the development of information and communication technologies. The main components and technologies of Industry 4.0 in the context of digitalization of production are identified. The dynamics of value added of industrial production (including construction) of some leading countries and partner countries of Ukraine from 2011 to 2020 is analyzed. subindex of information and communication technologies for 21 countries and identified the leading countries in terms of digitalization potential and industrial development. It is determined that the main directions of production transformation are determined by three global technological trends: network integration, intellectualization and flexible automation. The leading global enterprises on introduction of breakthrough technologies of Industry 4.0 and features of their development are defined. At the micro level, the main technologies for optimizing production lines are presented, the key directions of digitization are identified. It is determined that in order to ensure positive effects, it is important to develop human capital to provide Industry 4.0 technologies, as well as to automate production and use of robotics. Collaborative robots as highly efficient automated mechanisms have been studied as an effective tool for process optimization and the peculiarities of their application have been determined.

Key words: digitization, information and communication technologies, industry, production, innovation, Industry 4.0.

JEL classification: F61, F62, D24