

*Горбатюк Є. М., аспірант, Воляник О. Ю., доцент*  
*Київський національний університет технологій та дизайну*  
**СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА**

*Анотація.* У статті розглянуто сучасний стан застосування цифрових технологій на виробництвах, перспективи розвитку галузі в розрізі досягнення цілей сталого розвитку, цифровізації, обробки даних, застосування штучного інтелекту.

*Ключові слова:* цифровізація, виробництво, сталий розвиток, штучний інтелект.

*Horbatiuk E., Volianyk O.*

*Kyiv National University of Technologies and Design*

### **MODERN TRENDS IN DIGITAL DEVELOPMENT OF MANUFACTURING**

*Abstract.* In the article was considered the modern state of application of digital technologies in manufacturing, the perspectives of its development, in accordance with achievement of global sustainable goals, digitalization, data processing, use of artificial intelligence.

*Keywords:* digitalization, manufacturing, sustainable development, artificial intelligence.

**Вступ.** Аналізуючи останнє десятиліття, можна з упевненістю стверджувати, що промисловість, зокрема галузь машинобудування, зазнала глибокої трансформації, та зараз переживає один з найбільш значущих періодів трансформації у її 300-річній історії. Сучасні виробництва мало чим нагадують свої аналоги, які існували ще десять років тому. Зараз вони широко автоматизовані, взаємопов'язані, перебувають під постійним наглядом, отримують і передають численні дані і керуються робочою силою, яка використовує найсучасніші цифрові інструменти. Управління виробничими підприємствами також еволюціонувало: прийняття рішень як на робочому, так і на управлінському рівнях стає все більш орієнтованим на дані. Виробничі лінії стали розумнішими і тісно взаємопов'язаними, традиційні вертикальні структури все частіше перетворюються на більш горизонтальні, інтегровані, а колись жорстко ієрархічні та монолітні організації поступають місцем більш децентралізованим, розподіленим і гнучким екосистемам ланцюжків продукції з доданою вартістю.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є аналіз тенденцій та актуальних напрямів розвитку сучасного виробництва, які будуть відповідати цілям сталого розвитку, впровадження високих технологій, штучного інтелекту та загального підвищення рівня цифровізації всіх етапів виробництва.

**Результати дослідження.** Розглядаючи зміни, які очікуються в галузі з наближенням 2030 року [1], можна побачити кілька ключових тенденцій, які в найближчому майбутньому переорієнтують майже кожне виробниче підприємство. Ці тенденції впливатимуть на прийняття рішень, починаючи від того, як інвестувати у фабрики та заводи, і закінчуючи типами продукції, яку виробляти, цільовими ринками, організацією ланцюжка поставок і навіть стратегіями найму персоналу. Очікуване уповільнення темпів зростання населення в багатьох промислово розвинених країнах, особливо на традиційних для промисловості ринках, є важливим фактором. Прогнозується, що до 2030 року чисельність середнього класу з купівельною спроможністю в таких регіонах, як США, Єврозона та Японія, зростатиме скромними темпами – близько 0,5%, що різко контрастує з істотним зростанням на шість і більше відсотків у Китаї та Індії. Спрямування інвестицій у розвиток сучасних навичок,

інновації та цифрову інфраструктуру відіграватиме важливу роль у визначенні місця розташування центрів високотехнологічної промисловості.

Безсумнівно, очікуваний прогрес у ключових технологіях, що сприятиме швидкій цифровізації промислового сектору, відкриває величезні можливості як для вже існуючих, так і для нових виробників для підвищення ефективності та конкурентоспроможності. За прогнозами [2], до 2030 року на напівпровідникових чіпах буде встановлено трильйон транзисторів, обсяги даних зростуть на 200–500% протягом наступних кількох років, квантові та нанокомп'ютерні технології значно підвищать швидкість обробки даних, майбутні мережі 6G підтримуватимуть швидкість передачі даних у терабайт за секунду, а все більш досконалі системи штучного інтелекту перетворюватимуть величезні обсяги даних на змістовні аналітичні висновки за допомогою різних засобів, і промисловість повинна бути готова до широкого використання цих розробок.

Забезпечення сталого розвитку дедалі більше слугуватиме вирішальним фактором, що визначатиме успіх у конкурентній боротьбі в наступному до 2030 року. Переважна більшість керівників промислових підприємств вже визнають унікальну відповідальність галузі за перехід до більшої сталості. Це вимагає швидкого переходу до організаційної форми, де матеріали, виробничі процеси, використання енергії та життєвий цикл продукції відповідають (рис. 1) цілям сталого розвитку [3]. Роль цифрових технологій буде ключовою у досягненні цього трансформаційного стану, сприяючи зміцненню репутації відповідальних виробництв, задоволенню зростаючих очікувань клієнтів, працівників та інвесторів, а також дотриманню зростаючої кількості глобальних нормативних актів, які очікуються в найближчі роки.



Джерело: [3].

Рис. 1. Глобальні цілі сталого розвитку

Майбутній вплив цих комбінованих тенденцій на робочу силу, а саме працівника, ймовірно, буде значним. Виникне попит на нові навички, необхідні для застосування, експлуатації, управління та отримання вигоди від нових технологій. Переосмислення відносин між людьми і машинами матиме вирішальне значення на всіх організаційних рівнях для ефективного використання передових технологій для особистого та корпоративного вдосконалення. Команди лідерів повинні розвивати цифрову кмітливість, щоб опанувати величезні обсяги доступних даних і використовувати

експоненціально зростаючу цифрову потужність для створення інноваційних бізнес-моделей і привабливого клієнтського досвіду.

За останній час активного розвитку отримали засоби та технології, які будуть помічними у здійсненні успішної цифрової трансформації за найближче десятиліття. Ключовими буде технологічна освіта, розширення можливостей та навичок працівників, пріоритет інновацій та гнучкості в масштабах, а також створення широкої, швидко реагуючої, інклюзивної та уніфікованої екосистеми.

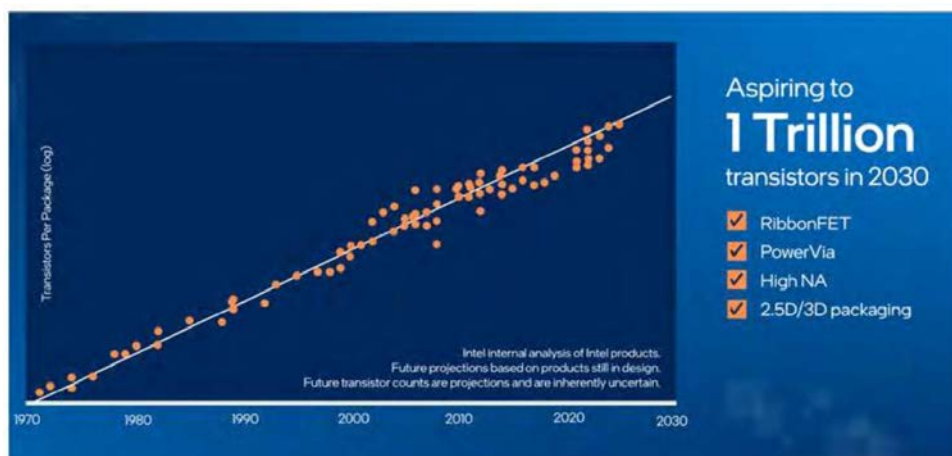
Одним з ґрунтовних питань, які важливо опрацювати для досягнення цілей сталого розвитку, є розуміння ефективної співпраці між людиною і машиною, освоєння величезного потоку даних, який очікується в найближчі кілька років, ухвалення рішення про те, що потрібно повністю автоматизувати, а що ні, встановлення етичних правил для передових інтелектуальних систем, таких як штучний інтелект, а також узгодження потреб виробництва в середині країни та в глобальному світі, що постійно змінюється.

В основі цифровізації виробництва, що охоплює ключові дії від одиничних операцій до верстатів, ланцюгів поставок і виробничих екосистем, лежать п'ять технологічних основ: електроніка, комп'ютерні системи, програмне забезпечення, комунікаційні технології та кіберінфраструктура. Сукупний прогрес у цих технологіях у наступному десятилітті і далі стимулюватиме прогрес у взаємодії людини і машини, автоматизації і робототехніці, а також автономних операціях. Ці досягнення сприятимуть вдосконаленню процесів і продуктів, створенню нових бізнес-можливостей, відкриттю шляхів до екологічної стійкості та революційному впровадженню інновацій у виробничій практиці.

Виробники отримують економічну вигоду від підвищення продуктивності, точності, ефективності, інновацій та швидкості, починаючи від заводського цеху і закінчуючи ланцюгами поставок та виробничими екосистемами. По суті, ці умови створюють основу для підвищення конкурентоспроможності, сталого розвитку та створення робочих місць, що використовують високі технології. Прогнози щодо майбутніх можливостей цих технологій надзвичайно позитивні. За даними Allied Market Research, очікується, що світовий ринок цифрового виробництва досягне 1370,3 мільярда доларів до 2030 року порівняно з 276,5 мільярда доларів у 2020 році, а середньорічні темпи зростання становитимуть 16,5% у період з 2021 по 2030 рік [4].

Більше того, темпи впровадження можуть перевищити темпи впровадження попередніх поколінь технологій. Наприклад, діджиталізація виробництва – процес переходу на цифрові форми даних та операційні системи – в загальному, триває вже понад 40 років. На противагу цьому, час між винайденням Інтернету та його впровадженням у масштабах комунікаційних технологій і кіберінфраструктури склав приблизно 20 років. За цей же період відбулося значне розширення можливостей управління даними і обчислювальних можливостей. Очікується, що в наступні 10 років технологічні основи цифровізації будуть розвиватися, найвірогідніше, в геометричній прогресії.

На рівні електроніки крива продуктивності напівпровідників, що використовуються в промисловості, часто обговорюється в контексті закону Мура. Intel прогнозує, що до 2030 року на одному чіпі буде розміщено один трильйон транзисторів, необхідних для обробки експоненціально більших обсягів даних, які очікуються від зростаючого зв'язку між фізичними об'єктами та людьми у виробничих екосистемах. Виробники очікують значного зростання обсягів даних, а дослідження MLC вказує на очікуване збільшення від 200% до 500% протягом декількох років [5].



Джерело: [5].

Рис. 2. Крива продуктивності напівпровідників Intel

З розвитком напівпровідникової промисловості розвиватимуться і комп'ютерні системи. Квантові обчислення і нанообчислення – це розробки, за якими виробники повинні стежити на предмет їхнього потенціалу для забезпечення більшої обчислювальної здатності. Традиційні комп'ютери стануть легшими, тоншими і гнучкішими, а неклаватурні інтерфейси, такі як розпізнавання голосу, інтенсивно розвиватимуться. У сфері комунікаційних технологій очікується зростання впровадження мереж на базі 5G, які пропонують вищу пропускну здатність і меншу затримку. Очікується, що наступне покоління стільникових технологій, 6G, яке з'явиться до 2030 року, підтримуватиме швидкість передачі даних в один терабайт на секунду, що сприятиме вдосконаленню технологій обробки зображень, присутності та визначення місцезнаходження [6].

Удосконалення програмного забезпечення призведе до безпрецедентного розвитку додатків наступного покоління, що підтримують голосове керування, доповнену і віртуальну реальність. Ці додатки будуть дедалі більше керуватися штучним інтелектом, і для прискорення інновацій необхідно ширше впроваджувати програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, яке можна знайти в мережі, і набори даних.

Прийняття стратегічних рішень для виробників все більше пов'язане з вибором архітектури корпоративного програмного забезпечення та використанням кіберінфраструктури. Розвинена протягом останніх двох десятиліть, вона дозволяє відокремити комп'ютерні та інформаційні ресурси від їхніх фізичних джерел і способів використання. Хмарні технології є важливим аспектом цього процесу, а інтеграція локальних і хмарних можливостей з бізнесовими і технологічними інструментами впливатиме на доступність даних, стимулюватиме інновації, впливатиме на економіку досліджень і розробок, а також формуватиме операційні моделі для зростання бізнесу.

Штучний інтелект (ШІ) стає ключовою технологією для майбутнього виробництва. Очікується, що ШІ буде інтегрований у різні додатки та системи в усіх виробничих процесах – від програмних комплексів на заводі до роботизованих систем, які допомагають у складанні та переміщенні матеріалів, проектуванні, моделюванні, взаємодії з клієнтами, ланцюжках поставок і логістиці. Потенціал ШІ полягає в його здатності розпізнавати, моделювати, прогнозувати та оптимізувати ситуації, умови експлуатації та властивості матеріалів як для людських, так і для машинних дій. Сила ШІ ґрунтується на безперервних циклах навчання, використанні даних для побудови моделей, вдосконаленні операцій, генерування більш ефективних даних та оновлення моделей – безперервний цикл.



Джерело: [6].

Рис. 3. Прогнозоване зростання капіталізації ШІ до 2025 року

Експерти з ШІ оцінюють різні ролі та передумови для прискорення його впровадження в промисловості. Визначено три пріоритети, кожен з яких пов'язаний з роботою з конкретними програмами та наборами даних: управління активами на виробництві, інтероперабельність між активами на заводах і в ланцюгах поставок, а також взаємодія для забезпечення стійкості логістики. Ці пріоритети спрямовані на вирішення таких проблем, як планування виробництва, витрати на енергію та матеріали, профілактичне та прогнозоване обслуговування, а також оптимізація якості під час виробництва.

Управління активами передбачає використання галузевих даних і знань предметної області для створення програмних моделей для роботи заводських підрозділів, але окремі виробники часто не мають достатньої кількості даних для отримання дієвих висновків. Інтероперабельність розширює можливості управління активами, об'єднуючи активи для підвищення операційної продуктивності та ефективності. Стійкість ланцюгів поставок залежить від спільної прозорості процесів та аналізу бізнес-даних, що підвищує швидкість реагування під час збоїв.

Загальногалузеві стратегії безпеки продукції, екологічної стійкості, декарбонізації, скорочення викидів парникових газів та зменшення енергоспоживання реалізуються за допомогою галузевих ланцюгів поставок та екосистемних додатків. Хоча рівні інтероперабельності залежать один від одного, в кожному з них є значна робота зі штучним інтелектом. Ключем до успішної реалізації потенціалу виробництва стане наявність значущих даних і засобів для їх обробки, які дозволять зробити ШІ потужним інструментом, що забезпечить відчутні переваги для бізнесу.

Розраховуючи перспективні напрями, критично важливим питанням є те, чи будуть переваги ШІ обмежуватися вузьким колом користувачів, чи стануть вони загальногалузевими можливостями. Досягнення широкого впровадження ШІ залежить від масштабування оброблених даних та машинного навчання на корпоративному і виробничому рівнях, забезпечення вигоди для внутрішньовиробничих екосистем, а також ефективного управління стратегіями сталого розвитку. Інтеграція операційних і бізнес-технологій з пріоритетом на конфіденційність і безпеку має вирішальне значення для успішного обміну даними для якісного розвитку високотехнологічного виробництва.

**Висновки.** Сучасне виробництво переживає один з найбільш значущих періодів трансформації у своїй історії, що зумовлено розвитком цифрових технологій, зростанням відповідальності суспільства із забезпеченням сталого розвитку, глобалізацією та зміною географії ринків. Найближчим часом індустрія повинна бути готова до широкого

використання таких технологій, як напівпровідникові чіпи, квантові та нанокomp'ютери, мережі 6G, штучний інтелект, доповнена і віртуальна реальність, хмарні технології та відповідна кіберінфраструктура. Ці технології дозволять виробництвам підвищити продуктивність, точність, ефективність в усіх виробничих процесах, а також забезпечити організацію стійких інтегрованих екосистем. Водночас виробники повинні розвивати нові навички, розвивати контакт людина-машина, зокрема через освіти, впроваджувати процеси обробки та використання великих даних для прийняття рішень, дотримуватися етичних правил та враховувати глобальні цілі сталого розвитку.

### Список використаної літератури

1. Next Phase of Digital Evolution. *Manufacturing Leadership Journal*. 2021.
2. Brousell D. R. Pedal to the Metal. *Transformative Technologies*, 10.2021.
3. Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/перетворення-нашого-світу-порядок-денний-у-сфері-сталого-розвитку-до-2030-року>.
4. Digital Manufacturing Market Expected to Reach \$1.30 Trillion by 2030. URL: <https://www.alliedmarketresearch.com/press-release/digital-manufacturing-market.html>.
5. Kelleher A. B. Celebrating 75 years of the transistor. A look at the evolution of Moore's Law innovation. 2022 *International Electron Devices Meeting (IEDM)*. IEEE, 2022.
6. Masanet E. et al. Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*. 2020. Vol. 367. P. 984–986.
7. IBM press release, IBM Unveils World's First 2-Nanometer Chip Technology, Opening a New Frontier for Semiconductors, 05.2021.
8. AMS, NIST. Towards Resilient Manufacturing Ecosystems Through Artificial Intelligence – Symposium Report, 2022.
9. Mindell D. A., Reynolds E. *The Work of the Future: Shaping Technology and Institutions*, MIT, 2019.