УДК 004.8:658

В. С. Дорошенко, О. Б. Янченко

ОГЛЯД ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТОТЕХНІКІ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Анотація. *У доповіді подано короткий огляд сучасного стану та ключових тенденцій розвитку промислової автоматизації й робототехніки на основі звітів Міжнародної федерації робототехніки (IFR). Розглянуто вплив штучного інтелекту (аналітичного, генеративного та агентного), зростання універсальності через конвергенцію інформаційних (IT) та операційних (OT) технологій, появу людиноподібних роботів, проблеми безпеки й кіберзахисту, а також вирішення дефіциту кадрів на підприємствах. Окремо висвітлено приклад алгоритму інверсного проєктування метаматеріалів на основі графових нейронних мереж, як різновиду штучного інтелекту.*

Ключові слова*: промислова автоматизація, робототехніка, штучний інтелект, індустрія 4.0, метаматеріали.*

Abstract. *The report provides an overview of the current state and key trends in industrial automation and robotics based on reports from the International Federation of Robotics (IFR). The impact of artificial intelligence (analytical, generative, and agentic), the growing versatility through the convergence of information technology (IT) and operational technology (OT), the emergence of humanoid robots, safety and cybersecurity issues, as well as solving labor shortages at enterprises are considered. An example of an algorithm for inverse design of metamaterials based on graph neural networks, as a type of artificial intelligence, is separately highlighted.*

Keywords*: industrial automation, robotics, artificial intelligence, Industry 4.0, metamaterials.*

Глобальний ринок промислової автоматизації стрімко розвивається та наближається до 17 мільярдів доларів США [1]. Сучасні технологічні інновації, ринкові чинники та нові виробничі пріоритети визначають майбутнє галузі. На сьогодні, згідно з даними Міжнародної федерації робототехніки (IFR), світова ринкова вартість промислових робототехнічних установок досягла рекордних 16,7 мільярда доларів, а нові технології стимулюють наступну хвилю масштабної автоматизації [1]. Для підвищення ресурсоефективності та оптимізації сучасного ливарного та машинобудівного виробництва ключовим напрямом залишається комплектація роботами конвеєрних та роторно-конвеєрних ліній [2].

Першим магістральним чинником інвестицій є поширення штучного інтелекту (ШІ), який дозволяє роботам працювати самостійно, передбачати збої та навчатися новим завданням [1]. Розглянемо на основі публікацій [1, 3] різновиди функцій ШІ. Аналітичний ШІ використовує машинне навчання та статистику для оптимізації процесів і прогнозування поломок на розумних фабриках. Генеративний ШІ (GenAI) забезпечує перехід від автоматизації за правилами до систем, що саморозвиваються, дозволяючи роботам автономно опановувати нові завдання за допомогою моделювання та взаємодіяти через природну мову або зір. Своєю чергою, агентний ШІ поєднує аналітичні та генеративні можливості, діючи самостійно для досягнення складних цілей із мінімальним втручанням людини.

Другою важливою тенденцією є зростання універсальності спілкування обладнання та персоналу [1]. Конвергенція інформаційних технологій (IT) та операційних технологій (OT) забезпечує обмін даними в реальному часі між цифровим і фізичним світами, що є основою концепції «Індустрія 4.0» та руйнує традиційну ізольованість виробничих процесів. Застосування математичного моделювання та інструментів ШІ дозволяє принципово оновлювати підходи до проєктування складних технологій і перспективних метаматеріалів [3], активно доповнюючи цей процес застосуванням 3D-технологій. Водночас підвищується цифрова компетентність виробничого персоналу, що забезпечує ефективну адаптацію фахівців до виконання технологічних функцій у роботизованому середовищі під наглядом ШІ.

Схематично приклад проєктування метаматеріалів (створених штучно без аналогів у природі) засобами машинного навчання на основі ШІ показано на рис. 1. Коли метою стає створення внутрішньої мікроархітектури з керованими властивостями, що поєднує легкість, міцність та інші надзвичайно спеціальні властивості, інженерне проєктування природно виходить за межі cad-середовищ. Для проєктування таких структур використовуються графові нейронні мережі (graph neural networks). Вони опрацьовують просторову інформацію про метаструктуру у вигляді графів. Реалізація відбувається через концепцію інверсного проєктування (рис. 1): від бажаних експлуатаційних властивостей — до автоматичного пошуку відповідної геометрії за алгоритмом, розробленим під керівництвом Р. Чжена, що описано в роботі [3].

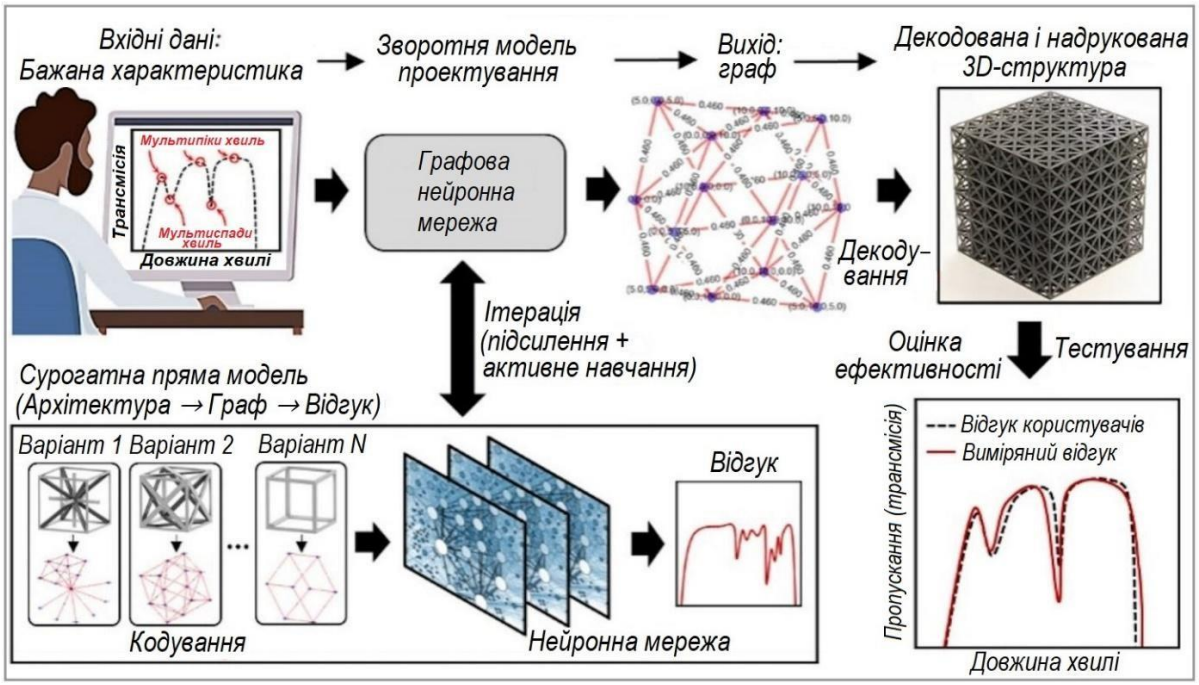


Рис. 1. Методика інверсного проєктування метаматеріалів на основі ШІ [3]

Третім напрямом є поява гуманоїдних роботів, розроблених для роботи в людському середовищі та взаємодії зі звичними інструментами [1], а також коботів, здатних безпечно виконувати технологічні операції спільно з оператором. У 2026 р. розробники переходять від прототипів до впровадження людиноподібних машин у реальні виробничі функції, де вони мають відповідати жорстким промисловим вимогам щодо тривалості циклу, енергоспоживання та безпеки, заповнюючи прогалини в робочій силі. Застосування таких передових рішень та інтеграція людино-машинних інтерфейсів ілюструється цифровими та робототехнічними комплексами, прикладом чого є візуальне представлення взаємодії оператора з інтелектуальними маніпуляторами (рис. 2) [1].

Четвертим аспектом є забезпечення безпеки та надійності [1]. Автономія на основі ШІ вимагає чітких стандартів ISO, сертифікації та уваги до кібербезпеки, оскільки розширення систем у хмарні середовища створює ризики несанкціонованого маніпулювання. Крім того, збір даних датчиків та складність моделей глибокого навчання зумовлюють потребу в чітких правових та етичних рамках регулювання [1].

П'ятим чинником є подолання дефіциту кваліфікованих кадрів і нестачі робочої сили, через яку працівники змушені працювати понаднормово [1]. Впровадження робототехніки та автоматизації на підприємствах, у поєднанні з робототехнічними лініями [2] та ШІ-проєктуванням [3], за умови тісної співпраці між роботодавцями й персоналом є найефективнішою відповіддю на ці виклики [1].



Рис. 2. Символіне відображення інтеграції штучного інтелекту та промислових роботів у цифровому виробництві [1]

Список використаних джерел:

1. What Are the Robots Doing Now? FMT Staff. Foundry Management & Technology, Jan. 22, 2026. URL: https://www.foundrymag.com/issues-and-ideas/media-gallery/55352234/whats-are-the-robots-doing-now-international-federation-of-robotics
2. Дорошенко В. С., Янченко О. Б. Підвищення ресурсоефективності ливарного виробництва за рахунок комплектації роботами конвеєрних та роторно-конвеєрних ліній. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 2019, Том 27, № 2, С. 179–186. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-179-186
3. Дорошенко В. С., Калюжний П. Б., Погребач Є. В. Огляд методів застосування штучного інтелекту в проєктуванні ливарних технологій і метаматеріалів. Процеси лиття, 2025, № 4, С. 74–87. DOI: https://doi.org/10.15407/plit2025.04.074

Дорошенко Володимир Степанович - *доктор технічних наук, провідний науковий співробітник відділу фізико-хімії ливарних процесів Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України, м. Київ, вул. Акад. Вернадського, буд. 34/1, інд. 03142, e-mail: doro55v@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-0070-5663*

Янченко Олександр Борисович *– кандидат технічних наук, доцент кафедри військової підготовки Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, буд. 95, інд. 21021, e-mail: 1961yab@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-3888-3772*

Volodymyr Stepanovych Doroshenko *– Doctor of Sciences (Engineering), Lead Researcher, Department of Physical Chemistry of Casting Processes, Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, 34/1 Acad. Vernadsky Ave., Kyiv, 03142, e-mail: doro55v@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-0070-5663*

Oleksandr Borysovych Yanchenko *– PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University 95Khmelnytske Shosse, Vinnytsia, 21000, Ukraine, e-mail: 1961yab@gmail.com,*

ORCID https://orcid.org/0000-0002-3888