

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведено огляд сучасного стану та складено ієрархічну структуру автоматизації технологічних процесів у машинобудуванні. Розглянуто еволюцію виробничих систем від базового рівня машинного контролю до комплексної автоматизації в рамках концепції Індустрія 4.0. Висвітлено ключові переваги впровадження інноваційних рішень, зокрема алгоритмів штучного інтелекту та Digital Twins. Обґрунтовано необхідність поетапної модернізації та підготовки нових інженерних кадрів із гібридними навичками для успішної цифрової трансформації галузі.

Ключові слова: машинобудування, автоматизація, технологічний процес, інженер.

Abstract

The paper reviews the current state and develops a hierarchical structure for automation of technological processes in mechanical engineering. The evolution of production systems from the basic level of machine control to complex automation within the framework of the Industry 4.0 concept is considered. The key advantages of implementing innovative solutions, in particular artificial intelligence algorithms and Digital Twins, are highlighted. The need for phased modernization and training of new engineering personnel with hybrid skills for the successful digital transformation of the industry is substantiated.

Keywords: mechanical engineering, automation, technological process, engineer.

Вступ

Сучасне машинобудування перебуває на етапі глобальної трансформації, де автоматизація технологічних процесів є ключовим драйвером переходу до концепції Індустрії 4.0 та 5.0 [1]. Впровадження автоматизованих систем та інтелектуальних виробництв зумовлене необхідністю підвищення продуктивності, зниження операційних витрат та забезпечення стабільно високої якості продукції в умовах жорсткої глобальної конкуренції [2]. Проте масштабна автоматизація все ще стикається з низкою викликів, серед яких: висока початкова вартість впровадження, проблеми функціональної сумісності систем та гострий дефіцит висококваліфікованих інженерних кадрів [3].

Метою даної роботи є комплексний аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів у машинобудуванні, а також визначення ефективних шляхів інтеграції новітніх інтелектуальних технологій у діючі виробничі лінії.

Результати дослідження

Сучасна автоматизація технологічних процесів у машинобудуванні реалізується на кількох ієрархічних рівнях. Кожен з етапів відрізняється масштабом інтеграції, застосовуваним обладнанням та спеціалізованим програмним забезпеченням у перетворенні традиційного заводу на повністю інтегроване інтелектуальне підприємство [4].

Ієрархія виглядає наступним чином (рисунок 1): рівень автоматизації окремих операцій та машинного контролю; рівень роботизованих комплексів; рівень комплексної автоматизації.

Рівень автоматизації окремих операцій та машинного контролю відповідає за безпосереднє виконання фізичних операцій та збір первинної інформації з робочої зони. Для цього використовуються мехатронні модулі [5, 6], які концептуально поєднують механічні виконавчі елементи, датчики та електронні системи керування в єдиній конструкції, CAD/CAM системи для проектування та генерації G-кодів [7, 8, 9], а також мікропроцесорне програмне забезпечення реального часу для безпосереднього керування приводами [10]. До цього рівня належать верстати з числовим програмним керуванням, електрошпинделі, прецизійні направляючі, програмовані логічні контролери, промислові датчики, актуатори та сервоприводи.

Даний рівень забезпечує стабільність робочих циклів та дозволяє досягти надвисокої точності обробки матеріалів при різних типах виробництва. Практично повне усунення ручної праці на етапі безпосереднього формоутворення деталей; суттєве зниження відсотка браку за рахунок точних, повторюваних машинних алгоритмів. Але отримуємо обмежену гнучкість в межах усього виробництва через відсутність глобального бачення виробничого процесу поза межами одного робочого місця та залишається часткова залежність від оператора.

Рівень роботизованих комплексів ґрунтується на тому, що окремі машини об'єднуються у взаємопов'язані гнучкі виробничі системи та роботизовані комірки, які використовують промислові роботи-маніпулятори [11, 12], автоматизовані керовані візки, конвеєрні системи [13, 14] та модулі машинного зору для контролю якості [15, 16]. Для користування даним обладнанням нам необхідні системи керування робототехнікою, локальні SCADA-системи для диспетчеризації та синхронізації роботи кількох верстатів і роботів, людино-машинні інтерфейси.

Згаданий рівень значно підвищує пропускну здатність лінії, забезпечуючи безперервність фізичного потоку матеріалів, централізує збір даних з багатьох машин на єдиний пульти, має високу гнучкість систем, що дозволяє швидко та з мінімальними витратами переналагоджувати лінію під випуск нових типів деталей. Але значні стартові капітальні інвестиції та складність апаратно-програмної інтеграції різноманітного обладнання є явним недоліком та перешкоджає масовому використанню.

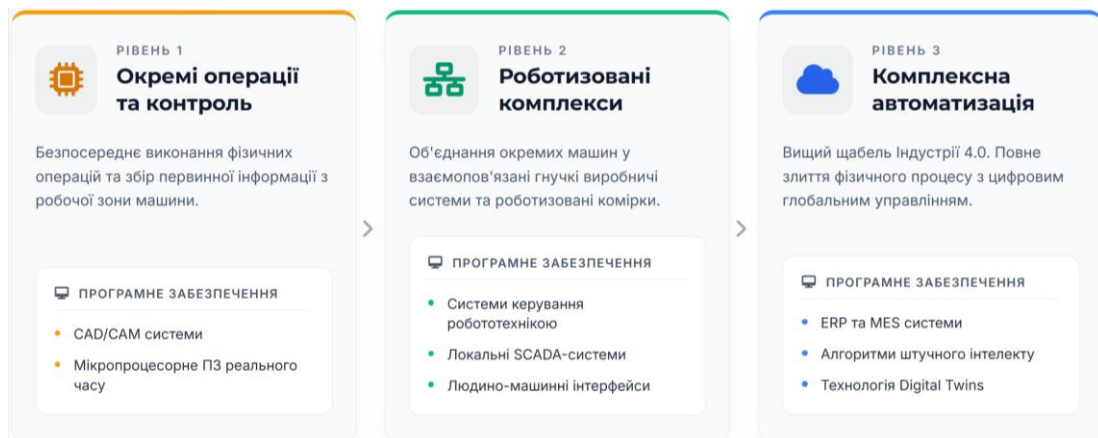


Рис. 1 – Ієрархія автоматизації технологічних процесів в машинобудуванні

Рівень комплексної автоматизації – це вищий щабель комплексної автоматизації на основі Індустрія 4.0, де фізичний процес повністю зливається з цифровими технологіями глобального управління, який використовує мережі промислового Інтернету речей, кіберфізичні системи, периферійні обчислювальні центри, хмарні сервери, системи управління виробничими процесами, ERP-системи для планування ресурсів, алгоритми штучного інтелекту для адаптивного керування та технологія Digital Twins [17, 18].

Індустрія 4.0 дозволяє здійснювати адаптивне керування режимами різання в реальному часі, віртуально симулювати виробничі процеси у цифровому середовищі та оптимізувати роботу реальної системи без ризику її зупинки [19, 20]. Використання технології Digital Twins дає змогу прогнозувати знос вузлів ще до моменту їхньої фактичної поломки, що зводить до мінімуму непередбачувані простої обладнання. Але присутні такі недоліки як високі капіталовкладення, поява серйозних ризиків кібербезпеки, гостра потреба в новому класі фахівців з гібридними навичками на стику класичної інженерії та інформаційних технологій.

Висновок

Автоматизація технологічних процесів у сучасному машинобудуванні є складною ієрархічною системою, яка еволюціонує від базового машинного контролю до глобальної кіберфізичної інтеграції в рамках Індустрії 4.0. Поступовий перехід до роботизованих комплексів та комплексної автоматизації дозволяє суттєво підвищити гнучкість виробництва, забезпечити безперервність матеріального потоку і звести до мінімуму частку браку. Ключовим фактором ефективності на вищому рівні стає впровадження інновацій, таких як алгоритми штучного інтелекту та Digital Twins.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зубкова А., Майгурова Д. Я., Місюня Р. Управління проєктами цифрової трансформації міжнародних підприємств: ключові відмінності Індустрії 4.0 та 5.0. Modeling the development of the economic systems, 2023. Вип. (2), С. 120-130.
2. Zhong R. Y., Xu X., Klotz E., Newman S. T. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. Engineering. 2017. Vol. 3, No. 5. P. 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
3. Raj A., Dwivedi G., Sharma A., de Sousa Jabbour A. B. L. Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. International Journal of Production Economics. 2020. Vol. 224. P. 107546. <https://doi.org/10.1016/j.iipe.2019.107546>
4. Horváth D., Szabó R. Z. Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? Technological Forecasting and Social Change. 2019. Vol. 146. P. 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
5. Піонткевич О.В. Про лазерний технологічний комплекс на машинобудівному підприємстві / О. В. Піонткевич, С. І. Сухоруков, О. В. Сердюк, В. М. Домославський // Вісник машинобудування та транспорту, 2022. № 16(2). С. 96-100. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-16-2-96-100>
6. Березюк О. В., Савуляк В. І. Вплив характеристик тертя на динаміку гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза. Проблеми тертя та зношування, 2015. №3, С. 45-50.
7. Піонткевич О. В., Сухоруков С. І., Петров О. В., Сердюк О. В. «Комп'ютеризовані системи проєктування» для здобувачів вищої освіти зі спеціальності «Прикладна механіка»: електронний лабораторний практикум. Вінниця : ВНТУ, 2025. 142 с.
8. Петров О. В., Піонткевич О. В., Буда А. Г., Коломісць В. С. Застосування CAD/CAE-системи Solidworks у задачах аналізу міцності деталей верстатних пристосувань. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2024. Вип. 19. № 1. С. 95–102.
9. Піонткевич О. В., Березюк О. В., Лозінський Д. О., Кавецький О. І. Застосування CAD/CAE-системи Autodesk Inventor для удосконалення фрезерногравірувального верстата з ЧПК. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Вінниця: ВНТУ, 2025. Вип. 1. С. 1-9. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-1-178-186>
10. Ellis G. Control System Design Guide: Using Your Computer to Understand and Diagnose Feedback Controllers. 4th ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2012. 416 p.
11. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. Кіровоград: КНТУ, 2010. 392с.
12. Литвин О. В., Паньков С. Б. Роботизовані маніпулятори особливого призначення. Технічні науки та технології, 2020. Вип. 1 (19), С. 81-88. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1\(19\)-81-88](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1(19)-81-88)
13. Ullrich, G. Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications. Springer, 2015. 235 p.
14. Garcia-Diaz A., Smith J. M. Facilities planning and design. Springer. 2024. 549 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-54259-6>
15. Steger, C., Ulrich, M., Wiedemann, C. Machine Vision Algorithms and Applications. 2nd ed. Wiley-VCH, 2018. 528 p.
16. Ren Z., Fang F., Yan N., Wu Y. State of the art in defect detection based on machine vision. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 2022. No. 9(2), P. 661-691. <https://doi.org/10.1007/s40684-021-00343-6>
17. Tao, F., Qi, Q., Wang, L., Nee, A. Y. C. Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. Engineering. 2019. Vol. 5, No. 4. P. 653-661. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.01.014>
18. Косолапов А. А., Глушков О. В. Про задачу побудови раціональної структури інфокомунікацій в системах управління. In Інноваційні технології підготовки кадрів для промисловості та транспорту 2025: зб. наук. праць міжнародної конференції, м. Дніпро 25-26 квітня 2025 року. НТУ «ДП». 2025. С. 191-195.
19. Березюк О. В. Використання віртуального лабораторного стенда для проведення лабораторної роботи «Дослідження ефективності освітлення у виробничих приміщеннях». Педагогіка безпеки, 2017. Вип. 2(1), С. 35-39. <https://doi.org/10.31649/2524-1079-2017-2-1-35-39>
20. Botkina D., Hedlind M., Olsson B., Henser J., Lundholm T. Digital twin of a cutting tool. Procedia Cirp, 2018. No. 72, P. 215-218. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.178>

Шевчук Богдан Романович – студент групи ІПМ–246, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kvshops2624@gmail.com.

Качурівський Дмитро Віталійович – студент групи ІПМ–246, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dvkachurivski@gmail.com.

Науковий керівник:

Піонткевич Олег Володимирович – к-т техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: piontkevych@vntu.edu.ua.

Shevchuk Bohdan R. – student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvshops2624@gmail.com.

Kachurivski Dmytro V. – student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dvkachurivski@gmail.com.

Scientific supervisor:

Piontkevych Oleh V. – Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: piontkevych@vntu.edu.ua