УДК 621

В. А. Коржовський
А. С. Горбачов
О. В. Піонткевич

МЕХАТРОННІ МОДУЛІ В СУЧАСНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто сучасні підходи до проєктування та застосування мехатронних модулів у машинобудуванні. Проаналізовано структуру мехатронних систем, що поєднують механічні, електронні та програмні компоненти. Розглянуто приклади впровадження мехатронних модулів у верстатобудуванні та робототехніці. Виконано порівняльний аналіз традиційних та мехатронних підходів до автоматизації виробничих процесів.

Ключові слова: мехатроніка, автоматизація, мехатронні модулі, роботизовані системи.

Abstract

The paper considers modern approaches to the design and application of mechatronic modules in mechanical engineering. The structure of mechatronic systems that combine mechanical, electronic and software components is analyzed. Examples of the implementation of mechatronic modules in machine tool building and robotics are considered. A comparative analysis of traditional and mechatronic approaches to the automation of production processes is performed.

Keywords: mechatronics, automation, mechatronic modules, robotic systems.

Вступ

Сучасне машинобудування стрімко розвивається в напрямку інтеграції механічних та інформаційних технологій [1, 2, 3]. Мехатроніка як наукова дисципліна виникла на перетині галузей і сьогодні визначає вектор розвитку передових виробничих систем.

Мехатронні модулі – це функціонально завершені пристрої, що поєднують у собі механічні виконавчі елементи, електронні системи керування та програмне забезпечення в єдиній конструкції [4, 5, 6]. Їх застосування дозволяє суттєво підвищити точність, продуктивність та гнучкість виробничих процесів [7, 8, 9]. Метою роботи є аналіз сучасного стану та перспектив використання мехатронних модулів у машинобудуванні, а також оцінка їх ефективності порівняно з традиційними підходами до автоматизації.

Результати дослідження

Мехатронний модуль являє собою інтегровану систему, в якій механічна частина, сенсори, актуатори та система керування спроєктовані як єдиний функціональний вузол. На відміну від традиційних підходів, де механічні та електронні компоненти проєктуються окремо і лише згодом інтегруються, мехатронний підхід передбачає їх спільне проєктування з самого початку. Це забезпечує оптимальне співвідношення між характеристиками всіх складових системи та дозволяє досягти синергетичного ефекту [10, 11]. Основними складовими мехатронного модуля є (рисунок 1): механічна підсистема (корпус, передавальні механізми, направляючі), силова електроніка (перетворювачі, підсилювачі потужності), сенсорна підсистема (датчики положення, швидкості, сили), мікропроцесорна система керування та програмне забезпечення реального часу.

У верстатобудуванні мехатронні модулі знаходять широке застосування як активні осі подачі з вбудованими лінійними або кутовими давачами, електрошпинделі з інтегрованими системами балансування та моніторингу вібрацій, а також модулі автоматичної зміни інструменту з прецизійним позиціонуванням. Застосування таких модулів у верстатах з числовим програмним керуванням дозволяє досягти точності позиціонування до 0,1 мкм [12], скоротити час зміни інструменту до 0,5 с [13] та реалізувати адаптивне керування режимами різання в реальному часі [14]. Роботизовані виробничі системи на основі мехатронних модулів демонструють підвищення продуктивності до 60% порівняно з традиційними рішеннями [15]. Модульна архітектура забезпечує гнучкість при

переналагодженні на новий вид продукції та спрощує технічне обслуговування. Сучасні мехатронні модулі оснащуються засобами промислового інтернету речей для дистанційного моніторингу та діагностики, що відповідає концепції Індустрії 4.0.

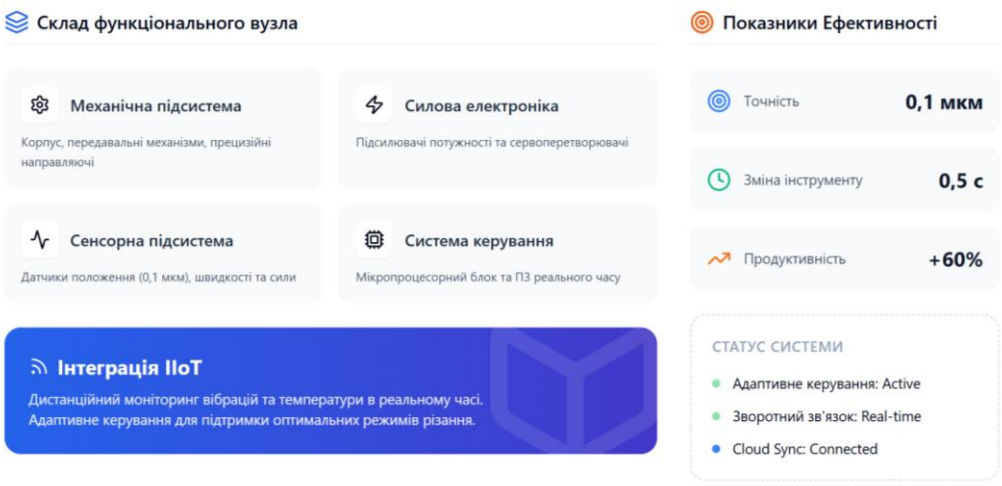


Рис. 1 – Архітектура мехатронного модуля

Висновок

Мехатронні модулі є ключовою технологією сучасного машинобудування, що забезпечує конкурентоспроможність виробничих підприємств. Їх інтеграція у верстатобудівні та роботизовані системи дозволяє досягти нового рівня точності, продуктивності та гнучкості виробництва. Подальший розвиток мехатронних модулів пов'язаний з інтеграцією штучного інтелекту для адаптивного керування та розширенням можливостей самодіагностики. Мехатронні модулі стають основою для побудови Digital Twins верстатів, що дозволяє прогнозувати їхній знос ще до моменту поломки. Розроблені рішення рекомендовано для впровадження на машинобудівних підприємствах у рамках програм цифрової трансформації виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Човнюк Ю. В. Мехатроніка: навчальний посібник. К., 2012. 357 с.

2. Артюх О. М., Дударенко О. В., Кузьмін В. В. та ін. Основи мехатроніки: навчальний посібник. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. 372 с.

3. Пилявець В. Г., Козлов Л. Г., Бурєнніков Ю. А., Ковальчук В. А. Про можливість покращення динамічних характеристик механотронного гідропривода з перехресним зв'язком. Problems of Friction and Wear, 2019. Вип. 4 (85), С. 76-82.

4. Цвіркун Л. І., Грулер Г. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. Дніпро: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. 224 с.

5. Сухоруков С.І. Сучасні перспективи розвитку систем автоматизованого проектування технологічної оснастки / С.І. Сухоруков, О.В. Петров, Д.С. Осіпов // Вісник Хмельницького національного університету, 2011. №6. С. 156-159.

6. Павленко Т. П. Сучасні електромехатронні комплекси і системи : підручник / Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 265 с.

7. Березюк О.В. Науково-технічні основи проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів: автореф. дис. д-ра техн. наук. Хмельницький, 2021. 46 с.

8. Березюк О.В. Аналітичне дослідження математичної моделі гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза // Промислова гідравліка і пневматика. 2011. № 34(4). С. 80-83.

9. Bereziuk O.V., Lemeshev M.S., Bogachuk V.V., Kisala P., Tungatarova A., Yeraliyeva B. High-precision ultrasonic method for determining the distance between garbage truck and waste bin // Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics, and Control: collective monograph. London: Routledge, 2021. P. 279-290. https://doi.org/10.1201/9781003224136-24

10. Burennikov Y., Kozlov L., Pyliavets V., Piontkevych O., Mechatronic Hydraulic Drive with Regulator, Based on Artificial Neural Network, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. No. 209. n.1, 012071. https://doi.org/10.1088/1757-899X/209/1/012071

11. Піонткевич О. В., Сухоруков С. І., Сердюк О. В., Домославський В. М. Про лазерний технологічний комплекс на машинобудівному підприємстві // Вісник машинобудування та транспорту, 2022. № 16(2). С. 96–100. https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-16-2-96-100

12. Wu L., Leng J., Ju B. Digital twins-based smart design and control of ultra-precision machining: A review. Symmetry, 2021, No. 13(9), 1717. https://doi.org/10.3390/sym13091717

13. Chan T. C., Ullah A., Roy B., Chang S. L. Finite element analysis and structure optimization of a gantry-type high-precision machine tool. Scientific reports, 2023, No. 13(1), 13006. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40214-5

14. Wang Z., Sun J., Sun Q. Adaptive Control Strategy for High-Speed Milling of Thin-Walled Components. ASME Open Journal of Engineering, 2026, No. 5. P. 12. https://doi.org/10.1115/1.4070743

15. Придальний Б. І. Mechatronic device for two-stage clamping of cylindrical objects in machine tool spindles. Вісник машинобудування та транспорту, 2021. Вип. 13(1), С. 118-123. https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-13-1-118-123

Коржовський Володимир Анатолійович – студент групи 2ПМ–24б, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vova.korjovskiy@gmail.com

Горбачов Антон Сергійович – аспірант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: toha.gorbi@gmail.com

Науковий керівник:

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

Korzhovskyi Volodymyr A. – student of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: polinakuzmenko60@gmail.com

Horbachov Anton S. – postgraduate student of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: toha.gorbi@gmail.com

Scientific supervisor:

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