

АКТУАЛЬНІСТЬ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ ДІЛЬНИЦЬ НА ВИРОБНИЦТВІ

Берест Б.Р. Гурін Д.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: bohdan.berest@nure.ua, dmytro.gurin@nure.ua/

Анотація: представлено аналіз та концепцію віртуального макета для дослідження гнучкої виробничої дільниці. Проведено огляд сучасних методів автоматизації та цифрового моделювання виробничих процесів, визначено їхні переваги та недоліки. Запропоновано підхід до усунення виявлених недоліків та розглянуто способи його реалізації.

Ключові слова: гнучка виробнича дільниця, автоматизація, управління.

THE RELEVANCE OF VIRTUALIZATION OF A FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM IN PRODUCTION

Berest B.R.

Kharkiv National University of Radio Electronics
Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: bohdan.berest@nure.ua, dmytro.gurin@nure.ua.

Abstract: The analysis and concept of a virtual model for researching a flexible manufacturing system are presented. A review of modern methods of automation and digital modeling of production processes is conducted, their advantages and disadvantages are identified. An approach to eliminating the identified shortcomings is proposed and methods for its implementation are considered.

Keywords: flexible manufacturing system, automation, management.

Сучасні виробничі процеси характеризуються високою динамічністю та необхідністю швидкої адаптації до змін ринкових умов. У зв'язку з цим гнучкі виробничі дільниці (ГВД) відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного виробництва, оскільки дозволяють оперативно реагувати на зміну попиту, налаштовувати обладнання під нові завдання та оптимізувати використання ресурсів.

Актуальним напрямком є впровадження інтелектуальних систем управління, що базуються на машинному навчанні, Інтернеті речей (IoT) та цифрових двійниках.

Гнучкі виробничі дільниці передбачають використання роботизованих систем, автоматизованих ліній та інтелектуального програмного забезпечення для оптимізації виробничих процесів. В основі їх роботи лежать такі технології, як:

– Автоматизовані системи управління виробництвом (MES) – забезпечують контроль і координацію виробничих операцій.

– Системи планування ресурсів підприємства (ERP) – допомагають інтегрувати всі процеси виробництва в єдину інформаційну систему.

– Цифрові двійники – використовуються для віртуального моделювання процесів, прогнозування їхньої ефективності та виявлення можливих вузьких місць.

Основними перевагами цих систем є підвищена ефективність, можливість оптимізації ресурсів і зменшення впливу людського фактора. Проте існують і недоліки, серед яких висока вартість впровадження, складність інтеграції з існуючими технологіями та потреба в кваліфікованих фахівцях для обслуговування.

З метою усунення вищеперерахованих недоліків пропонується ряд вдосконалень, що можуть підвищити ефективність управління гнучкими виробничими дільницями:

1. Впровадження систем штучного інтелекту (ШІ)
 - Використання нейромережових алгоритмів для аналізу виробничих даних та прогнозування можливих збоїв та результатів.
 - Автоматизація прийняття рішень щодо оптимізації робочого навантаження та розподілу ресурсів.
 2. Інтеграція Інтернету речей (IoT)
 - Використання датчиків для моніторингу стану обладнання та умов роботи в реальному часі.
 - Прогнозне технічне обслуговування, що дозволяє мінімізувати простой.
 3. Цифрові двійники виробничих процесів
 - Моделювання та симуляція виробничих процесів для підбору оптимальних сценаріїв роботи.
 - Виявлення слабких місць у системі ще до їх появи у реальному виробництві.
 4. Оптимізація логістики та ресурсів
 - Впровадження інтелектуальних алгоритмів для управління потоками матеріалів та продукції.
 - Зниження втрат сировини та підвищення енергоефективності виробництва.
 5. Автоматизоване навчання персоналу
 - Використання віртуальної та доповненої реальності для підготовки операторів виробничого процесу.
 - Створення інтерактивних навчальних програм на основі аналізу реальних виробничих ситуацій.
- Запропоновані вдосконалення сприятимуть підвищенню ефективності управління виробничими дільницями, а саме:
- Зменшення простоїв обладнання – за рахунок прогнозного технічного обслуговування та автоматизованого контролю стану техніки.
 - Оптимізація використання ресурсів – за допомогою інтелектуальних алгоритмів планування.
 - Підвищення продуктивності – завдяки автоматизації прийняття рішень та мінімізації людського втручання.
 - Гнучкість виробництва – можливість швидкої адаптації до змін ринкової ситуації та вимог замовників.

Моделювання та симуляція виробничих процесів є важливими інструментами для аналізу, оптимізації та управління сучасним виробництвом. Одним із поширених методів є дискретно-стохастичне моделювання (DES), яке дозволяє аналізувати процеси, що складаються з подій, які відбуваються в дискретні моменти часу. Цей підхід широко застосовується для дослідження роботи виробничих ліній, оцінки продуктивності обладнання та оптимізації логістичних процесів. Його перевагами є висока деталізація та можливість аналізу змінних навантажень, проте моделі такого типу потребують значних обчислювальних ресурсів, особливо при моделюванні складних систем.

Іншим важливим методом є агентно-орієнтоване моделювання (ABM), де система представлена у вигляді множини автономних агентів, кожен з яких має власні правила поведінки. Цей підхід використовується для аналізу взаємодії працівників з обладнанням, оптимізації потоків матеріалів у логістичних системах та вивчення автономних мобільних роботів. Головними перевагами є гнучкість у моделюванні складних взаємодій та можливість аналізу адаптивних і самоорганізованих систем, але разом з тим метод потребує значних обчислювальних ресурсів та ретельного налаштування параметрів агентів для досягнення реалістичних результатів.

Системна динаміка (SD) є ще одним підходом, що використовується для аналізу виробничих процесів. Вона дозволяє досліджувати динаміку системи на макрорівні, представляючи її у вигляді потоків і запасів, що змінюються під впливом зворотних зв'язків. Цей метод застосовується для стратегічного планування, оптимізації управлінських рішень та оцінки впливу зовнішніх факторів на виробництво. Він добре підходить для довгострокового прогнозування, однак його недоліком є менша деталізація у порівнянні з іншими методами, що обмежує можливість використання для складних дискретних процесів.

Одним із найсучасніших підходів є гібридне моделювання, яке поєднує кілька методів для забезпечення комплексного аналізу виробничих систем. Наприклад, дискретно-стохастичне моделювання можна інтегрувати з агентним підходом, що дозволяє отримати детальну картину взаємодії технічних і людських факторів у виробничих процесах. Гібридні методи є найбільш гнучкими та точними, проте їх розробка і впровадження є складними і потребують значних ресурсів для реалізації.

Моделювання виробничих процесів дозволяє підприємствам проводити детальний аналіз та оптимізацію без ризику для реального виробництва. Дискретно-стохастичний підхід є найбільш ефективним для поточкових виробничих ліній, агентно-орієнтоване моделювання допомагає аналізувати автономні системи, системна динаміка використовується для стратегічного планування, а гібридні методи поєднують переваги різних підходів, що дозволяє отримати найбільш комплексну картину виробничої системи. Подальші дослідження у цій сфері спрямовані на інтеграцію методів моделювання з технологіями штучного інтелекту та Інтернету речей, що відкриває нові можливості для оптимізації виробничих процесів і підвищення їхньої ефективності.

ВИСНОВКИ. Використання сучасних методів моделювання та симуляції виробничих процесів є ключовим етапом у розвитку гнучких виробничих дільниць. Дискретно-стохастичне моделювання дозволяє детально аналізувати процеси, агентно-орієнтовані підходи дають змогу враховувати взаємодію персоналу та обладнання, системна динаміка забезпечує стратегічне планування, а гібридні методи поєднують переваги різних підходів для отримання комплексного аналізу. Інтелектуальні системи управління є перспективним напрямком у розвитку гнучких виробничих дільниць, оскільки вони значно підвищують адаптивність підприємств до змінних умов, знижують витрати на виробництво та покращують якість продукції. Впровадження таких сучасних технологій, як штучний інтелект, Інтернет речей (IoT) та цифрові двійники, сприятиме створенню більш ефективних та гнучких виробничих систем. Подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію цих технологій у різні галузі промисловості, а також на оцінку їхньої економічної доцільності, що дозволить оптимізувати виробничі процеси та забезпечити їхню стійкість до змін зовнішнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Козир С., Малієнко А. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУВАННЯ ВУГІЛЛЯ В КОМБАЙНОВІЙ ЛАВІ. Автоматизація виробничих процесів. С. 30.
2. Стеценко К. В. ФУНКЦІОНУВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ. «AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES» ADED-2020 Part 2. С. 186–187.
3. Український державний університет науки і технологій : Дніпровський металургійний інститут. URL: https://nmetau.edu.ua/file/kompiuterne_modeliuvannia_vyrobnychukh_protsesiv_2019.pdf. (дата доступу: 20.01.25)

4. DSpace :: ELAKPI :: Репозитарій КПП ім. Ігоря Сікорського. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d36e2c27-d4bd-4285-bd78-44029dab43db/content>. (дата доступу: 1.02.25)
5. Flexible Production - Produce What You Sell, No Stock, No Stress, More Cash!. Flexible Production. URL: <https://www.flexibleproduction.com/>. (дата доступу: 2.02.25)
6. Hayes A. Flexible Manufacturing System (FMS): Definition and How It Works. Investopedia. URL: <https://www.investopedia.com/terms/f/flexible-manufacturing-system.asp>. (дата доступу: 10.02.25)
7. Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2024). Study of Methods of Dynamic Description of The Environment for Collaborative Robots-Manipulators in the Concepts of Industry 5.0 (Doctoral dissertation, Collection of scientific papers «SCIENTIA»).
8. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.
9. Gurin, D., & et al. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
10. Yevsieiev, V., & et al. (2025). Development of a program for processing 3d models of objects in a collaborative robot workspace using an HD camera. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 194-210.
11. Gurin, D., & et al. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
12. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.
13. Nevliudov, I., & et al.. (2020). Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(10), 7465-7473.
14. Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024
15. Abu-Jassar A. Building a Route for a Mobile Robot Based on the BRRT and A*(H-BRRT) Algorithms for the Effective Development of Technological Innovations / Amer Abu-Jassar, Hassan Al-Sukhni, Yasser Al-Sharo, S. Maksymova, V. Yevsieiev, V. Lyashenko // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. – 2024. – V. 72(11). – P. 294-306.
16. Maksymova, S., Yevsieiev, V., & Abu-Jassar, A. (2025). A PROTOTYPE DEVELOPMENT FOR AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR PRODUCTION CHECKPOINTS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(3), 287-297.
17. Nimets, K., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Yevsieiev, V. (2025). A SMALL-SIZED MOBILE ROBOT DEVELOPMENT. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(3), 12-25.
18. Demska, N., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2025). ANALYSIS OF METHODS, MODELS AND ALGORITHMS FOR A COLLABORATIVE ROBOTS GROUP DECENTRALIZED CONTROL. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(2), 235-249.
19. Yevsieiev, V., Maksymova, S., Alkhalaileh, A., & Gurin, D. (2025). Development of a program for processing 3d models of objects in a collaborative robot workspace using an HD camera. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 194-210.