

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

Б. Р. Берест

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: bohdan.berest@nure.ua

Анотація: У даній статті проведено дослідження особливостей використання гнучких виробничих систем (ГВС) у сучасній промисловості. Проаналізовано основні сфери їх застосування, визначено переваги впровадження ГВС у контексті підвищення ефективності виробництва, гнучкості та адаптивності до змін ринкових умов. Також представлено класифікацію гнучких виробничих систем за різними критеріями: ступенем автоматизації, типом продукції, характером управління.

Ключові слова: гнучка виробнича система, автоматизація, класифікація, адаптивність, ефективність.

RESEARCH INTO THE USE OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS AND THEIR CLASSIFICATION

B. Berest

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauky Ave

E-mail: bohdan.berest@nure.ua

Annotation: This article presents a study on the application of Flexible Manufacturing Systems (FMS) in modern industry. The main areas of their implementation are analyzed, along with the key advantages of adopting FMS, such as increased production efficiency, adaptability, and responsiveness to changing market demands. A classification of flexible manufacturing systems is provided based on various criteria, including the level of automation, type of production, and control structure.

Keywords: flexible manufacturing system, automation, classification, adaptability, efficiency.

У сучасних умовах глобалізації та високої конкуренції виробничим підприємствам доводиться шукати нові шляхи підвищення гнучкості та ефективності виробництва. Постійне оновлення продукції, коливання обсягів попиту, персоналізація товарів вимагають від виробничих систем здатності до швидкої адаптації. Одним із найперспективніших рішень у цьому напрямі є впровадження гнучких виробничих систем (ГВС), які дозволяють поєднати автоматизацію з можливістю швидкого переналаштування обладнання.

Гнучка виробнича система (ГВС) — це інтегрований комплекс взаємопов'язаних машин, механізмів, засобів керування та інформаційних технологій, що забезпечує автоматизоване виробництво з можливістю швидкого переналагодження під нові завдання. Основна особливість ГВС полягає в її здатності до адаптації без необхідності повного перепланування або припинення виробничого процесу [2]. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни в обсягах замовлень, типах продукції чи навіть у конструкції виробів.

ГВС ґрунтуються на таких ключових принципах:

- автоматизація технологічних та логістичних операцій;
- цифрове управління усіма етапами виробництва;

– модульність і масштабованість, що дозволяє розширювати або змінювати конфігурацію системи;

– інтелектуальне прийняття рішень на базі аналізу даних у реальному часі.

Типова структура ГВС включає:

– Верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК):

Це високоточне обладнання, здатне обробляти різноманітні матеріали за задалегідь заданими програмами. Вони є основними робочими вузлами, що виконують обробку деталей (точіння, фрезерування, свердління тощо). Їхня програмованість дозволяє швидко змінювати тип обробки без фізичного втручання.

– Роботизовані маніпулятори:

Використовуються для переміщення заготовок і готових деталей між різними робочими зонами. Вони можуть виконувати функції завантаження/розвантаження, складання, пакування тощо. Завдяки шести (або більше) ступеням свободи, роботизовані руки забезпечують високу гнучкість та точність маніпуляцій.

– Автоматизовані складальні та транспортні системи:

До них належать конвеєри, рельсові транспортні платформи, автоматизовані складські ліфти, лінії подачі та сортування. Ці системи забезпечують безперервність і синхронізацію виробничого потоку, мінімізуючи простої та втрати часу.

– Єдина система управління та моніторингу:

Центральним елементом є контролер (наприклад, ПЛК – програмований логічний контролер або промисловий комп'ютер), який координує всі підсистеми. Через цю платформу оператори мають змогу змінювати виробничі програми, стежити за станом обладнання та реагувати на позаштатні ситуації. Системи можуть бути локальними або хмарними, з можливістю дистанційного доступу.

– Інтерфейси збору й обробки даних:

Для забезпечення зворотного зв'язку використовуються датчики, сенсори, RFID-мітки, камери машинного зору, IoT-модулі. Вони дозволяють відстежувати температуру, вібрацію, знос інструменту, положення деталей у просторі тощо. Це забезпечує реальну самодіагностику системи та дає змогу проводити превентивне обслуговування [2-3].

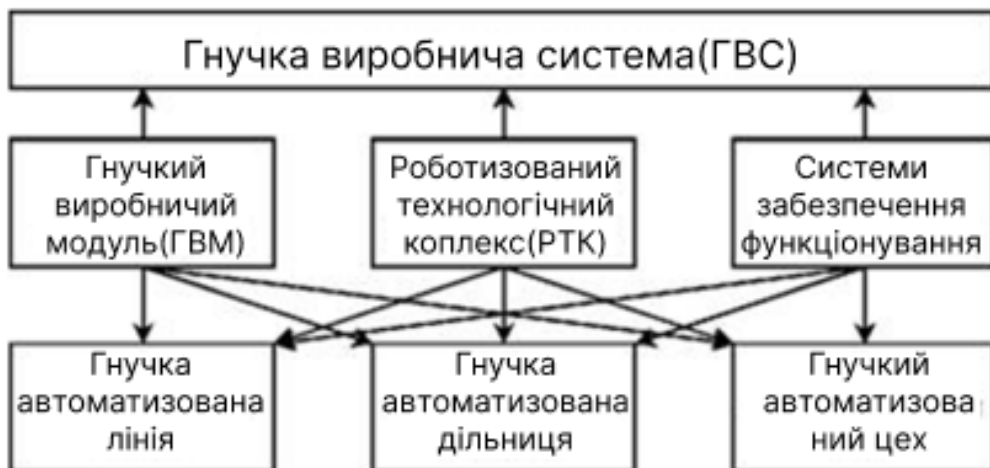


Рисунок 1 – Структура гнучкої виробничої системи

Класифікація гнучких виробничих систем (ГВС) є важливим елементом їх дослідження, оскільки дозволяє систематизувати різновиди таких систем залежно від рівня автоматизації,

типу виготовлюваної продукції, а також структури управління [2]. Такий підхід дає змогу краще зрозуміти функціональні можливості ГВС, оцінити їх ефективність у різних умовах виробництва та підібрати оптимальні рішення для впровадження на підприємстві.

Одним із основних критеріїв класифікації є ступінь автоматизації. За цим параметром ГВС поділяються на напівавтоматизовані та повністю автоматизовані. Напівавтоматизовані системи передбачають часткове залучення людини в процес виробництва. Деякі технологічні або допоміжні операції виконуються автоматизованими пристроями, тоді як інші – залишаються під контролем оператора. Такий підхід часто використовується на перехідному етапі до повної автоматизації, а також у випадках, коли повна автоматизація є економічно недоцільною. Наприклад, у дрібносерійному виробництві, де зміна продукції відбувається досить часто, залишення певної гнучкості у вигляді людського втручання може бути більш ефективним.

Натомість повністю автоматизовані ГВС орієнтовані на безперервне виконання виробничих циклів без необхідності участі людини. У таких системах усі елементи — від обробки деталей до їх транспортування і складання — працюють у режимі повної автоматизації. Управління відбувається за допомогою цифрових систем, з використанням ПЛК, промислових комп'ютерів, сенсорних мереж та штучного інтелекту. Подібні рішення особливо ефективні для серійного або масового виробництва, де висока продуктивність та стабільність процесів мають вирішальне значення [4].

Другим важливим критерієм класифікації є тип продукції, що виготовляється в межах системи. Одиначне виробництво передбачає створення індивідуальних виробів, часто з високим рівнем кастомізації або технічної складності. Такі системи застосовуються у галузях, де важлива гнучкість і здатність швидко адаптуватися до нових технічних вимог — наприклад, у авіабудуванні або виробництві дослідних зразків. У цьому випадку ГВС дозволяє забезпечити високу точність і контроль на кожному етапі виготовлення, а можливість перепрограмування обладнання забезпечує оперативність у переході від одного виробу до іншого [2].

Дрібносерійне виробництво об'єднує риси одиначного та серійного — виготовляються невеликі партії однакової продукції, але з частою зміною замовлень. ГВС у такому контексті дає змогу легко здійснювати переналадження виробничих процесів, використовуючи єдину платформу для обробки широкого спектра виробів.

У серійному виробництві ГВС дозволяє забезпечити масовий випуск стандартних виробів із періодичним оновленням моделей чи конфігурацій. Системи такого типу мають перевагу у стабільності виробництва, водночас залишаючи можливість для гнучкого налаштування процесів завдяки використанню програмного забезпечення, змінних модулів та автоматичних ліній.

Ще одним важливим критерієм класифікації є тип управління, який використовується в межах гнучкої виробничої системи. Існують три основні типи: централізовані, децентралізовані та гібридні.

Централізовані системи передбачають наявність єдиного центру управління, через який координуються всі виробничі процеси. Такий підхід забезпечує високий рівень контролю, простоту в управлінні та узгоджену взаємодію між усіма компонентами. Проте він має і свої недоліки — зокрема, залежність від єдиного керівного вузла. У разі його виходу з ладу вся система може втратити працездатність або зупинитися. Окрім того, централізовані рішення часто вимагають складного програмного забезпечення для інтеграції великої кількості функцій в одну систему.

Децентралізовані системи побудовані на принципі автономного функціонування окремих модулів. Кожен модуль — обробний, транспортний, або керуючий — має власний контролер,

який забезпечує виконання завдань на локальному рівні. Така структура дозволяє зменшити навантаження на центральну систему, підвищує відмовостійкість і полегшує масштабування виробництва. Недоліком може бути складність у синхронізації роботи між модулями, особливо при великій кількості одночасно діючих елементів.

Гібридні системи поєднують елементи централізованого управління з локальними автономними блоками. Це дозволяє досягти балансу між контролем, ефективністю та гнучкістю. Наприклад, центральна система може відповідати за загальне планування і моніторинг, тоді як локальні контролери забезпечують автономне виконання специфічних завдань на окремих етапах. Подібна структура забезпечує високу адаптивність до змін у виробничих умовах, але водночас вимагає ретельного проєктування й налагодження каналів зв'язку, а також ефективного управління інформаційними потоками [4].

У результаті, поділ гнучких виробничих систем за ступенем автоматизації, типом продукції та типом управління дає змогу не лише краще зрозуміти особливості їх функціонування, а й вибрати найбільш ефективну конфігурацію для конкретних умов застосування. Врахування цих класифікаційних ознак є ключовим етапом у процесі проєктування, впровадження та подальшої оптимізації гнучких виробничих систем на сучасних підприємствах.

Гнучкі виробничі системи (ГВС) є ключовим компонентом сучасного промислового середовища, особливо в умовах стрімкого розвитку технологій та зростання вимог до індивідуалізації продукції. Однією з основних переваг таких систем є їхня висока гнучкість та адаптивність. Це означає, що підприємства, які впроваджують ГВС, здатні швидко перебудовувати виробничі процеси залежно від змін у типі продукції або обсягах замовлень, не втрачаючи при цьому ефективності. ГВС дає змогу легко переключатися між різними видами виробів без потреби у тривалій переналадці обладнання, що особливо важливо для підприємств, що працюють у режимі дрібносерійного або індивідуального виробництва.

Окрім гнучкості, ще однією важливою перевагою є оптимізація виробничих витрат. Завдяки високому рівню автоматизації зменшується потреба в людських ресурсах, знижується ймовірність помилок, пов'язаних з людським фактором, і підвищується загальна стабільність процесу [5]. Зменшення витрат стосується також ресурсного споживання, часу циклу виготовлення продукції та вартості технічного обслуговування. Автоматизоване управління процесами дозволяє знизити обсяг відходів, підвищити ефективність використання матеріалів та енергії, а також краще контролювати якість на кожному етапі виробництва.

Ще однією вагомою перевагою є забезпечення високої точності обробки та стабільності якості продукції. За допомогою числового програмного керування, роботизованих систем і вбудованих сенсорів досягається точне дотримання технологічних параметрів, що особливо актуально для галузей із підвищеними вимогами до якості — таких як медицина, електроніка чи авіабудування. Автоматизовані системи дозволяють зменшити варіації між партіями продукції та забезпечити суворе дотримання технічних умов.

Час на переналадку та запуск нових виробничих програм у ГВС значно скорочується порівняно з традиційними системами. Завдяки програмованості устаткування, оператор може швидко змінити параметри виробничого процесу або завантажити нову конфігурацію з цифрового інтерфейсу без потреби у фізичному втручанні. Це забезпечує не тільки економію часу, а й підвищену оперативність підприємства в реагуванні на запити ринку.

Варто також відзначити інтеграцію ГВС з цифровими технологіями, такими як цифрові двійники, інтернет речей (IoT), штучний інтелект, машинне навчання та хмарні сервіси. Це дозволяє створювати розумні виробничі середовища, у яких процеси самостійно аналізуються, оптимізуються й адаптуються у реальному часі [5]. Наприклад, цифрові двійники дають змогу змоделювати виробничу лінію у віртуальному середовищі, протестувати різні сценарії та налаштування до їх впровадження у реальній системі. Інтернет речей забезпечує постійний

моніторинг параметрів обладнання, зчитування даних про навантаження, знос або стан навколишнього середовища, що дозволяє здійснювати своєчасне технічне обслуговування та запобігати аваріям.

Проте, попри численні переваги, гнучкі виробничі системи мають і низку недоліків та викликів, які необхідно враховувати при їх впровадженні [2-3]. Однією з основних проблем є висока вартість початкових інвестицій. Встановлення автоматизованого обладнання, програмного забезпечення, мережевої інфраструктури та систем безпеки потребує значних фінансових витрат. Це може стати бар'єром для малих і середніх підприємств, які не мають достатніх фінансових резервів.

Проектування та впровадження ГВС є складним інженерним завданням. Необхідність врахування широкого спектру технічних аспектів — від вибору обладнання до розробки алгоритмів керування — потребує участі висококваліфікованих спеціалістів. Такі системи мають бути не лише функціональними, а й стабільними, безпечними та масштабованими, що додає складності на етапі розробки.

Іншим викликом є потреба в добре розвиненій IT-інфраструктурі. ГВС генерує значні обсяги даних, які необхідно зберігати, обробляти й аналізувати [4]. Це вимагає використання серверів, мережеских рішень, спеціалізованого програмного забезпечення, а також заходів із кібербезпеки для захисту даних та управління доступом.

Крім того, у разі використання застарілого або несумісного обладнання можуть виникати труднощі з масштабованістю системи. Оновлення одного модуля не завжди узгоджується з рештою інфраструктури, особливо якщо використовується обладнання від різних виробників або програмне забезпечення з несумісними протоколами. Це створює додаткові труднощі у підтримці системи в актуальному стані.

Таким чином, гнучкі виробничі системи є потужним інструментом для модернізації виробництва, підвищення його ефективності, якості та адаптивності до змін. Проте успішне впровадження ГВС потребує серйозного підходу до планування, наявності технічних і кадрових ресурсів, а також стратегічного бачення щодо розвитку підприємства у цифрову епоху.

ВИСНОВКИ. Гнучкі виробничі системи (ГВС) є важливим компонентом сучасного автоматизованого виробництва, який забезпечує високу адаптивність, ефективність та універсальність виробничих процесів. ГВС дозволяють швидко реагувати на зміни в попиті, скорочувати час на переналадку обладнання, оптимізувати витрати та покращувати якість продукції.

Розглянута класифікація гнучких виробничих систем — за ступенем автоматизації, типом продукції та типом управління — дозволяє глибше зрозуміти їхню внутрішню організацію, функціональні особливості та сфери застосування. Визначені переваги використання таких систем підкреслюють їхню доцільність у контексті Індустрії 4.0 та цифрової трансформації промисловості.

Попри очевидні переваги, впровадження ГВС супроводжується певними викликами, зокрема високою вартістю реалізації, складністю проектування та необхідністю в кваліфікованому персоналі. Проте подальші дослідження й розвиток технологій відкривають нові можливості для оптимізації та масштабування гнучких виробничих систем як у промисловому, так і в освітньо-дослідницькому середовищі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Збірник студентських наукових статей «ADED» | Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки. *Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки | Сайт кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій,*

автоматизації та робототехніки ХНУРЕ. URL: <https://tapr.nure.ua/dijalnist-kafedri/naukova-robita/zbirnik-studentskih-naukovih-statej-avtomatizacija-ta-priladobuduvannja-automation-and-development-of-electronic-devices> (дата звернення: 17.04.2025).

2. Особливості створення та експлуатації гнучких виробничих систем. *Pidru4niki*. URL: https://pidru4niki.com/1830050353518/menedzhment/osoblivosti_stvorennja_ekspluatatsiyi_gnuchkih_virobnichih_sistem (дата звернення: 17.04.2025).

3. Нові і специфічні принципи ГВС :. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/8918303/page:36/> (дата звернення: 17.04.2025).

4. Hayes A. Flexible manufacturing system (FMS): definition and how it works. *Investopedia*. URL: <https://www.investopedia.com/terms/f/flexible-manufacturing-system.asp> (дата звернення: 17.04.2025).

5. Flexible manufacturing systems: adapt to any conditions. *Autodesk*. URL: <https://www.autodesk.com/solutions/flexible-manufacturing-system> (date of access: 17.04.2025).

6. Підручники для вузів онлайн. URL: https://pidru4niki.com/imag/manag/kap_orp/image038.jpg (дата звернення: 17.04.2025).

7. Chala, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2025). MATHEMATICAL MODEL BASED ON MULTI-AGENT REINFORCEMENT LEARNING (MARL) AND PARTIALLY OBSERVABLE MARKOV DECISION PROCESS (POMDP) FOR MODELING CARGO MOVEMENT FOR A MOBILE ROBOTS GROUP. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(4), 480-489.

8. Maksymova, S., Yevsieiev, V., & Abu-Jassar, A. (2025). MICROCHIP MARKING RECOGNITION AND IDENTIFICATION USING A COMPUTER VISION SYSTEM MATHEMATICAL MODEL. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(4), 321-330.

9. Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2025). A METHOD DEVELOPMENT FOR MODELING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF PRINTED CIRCUIT BOARD PRODUCTION BASED ON THE Q-SCHEME. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(4), 9-21.

10. Chala, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2025). USING THE HUMAN FACE RECOGNITION METHOD BASED ON THE MOBILENETV2 NEURAL NETWORK IN AUTHENTICATION SYSTEMS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(3), 882-895.

11. 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.

12. Невлюдов, І. ІІ., Євсєєв, В. В., & Гурін, Д. В. (2025). MODEL DEVELOPMENT OF DYNAMIC REPRESENTATION A MODEL DESCRIPTION PARAMETERS FOR THE ENVIRONMENT OF A COLLABORATIVE ROBOT MANIPULATOR WITHIN THE INDUSTRY 5.0 FRAMEWORK. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*, 1(79), 42-48.

Науковий керівник: Гурін Дмитро Валерійович, старший викладач кафедри КІТАР. Харківського національного університету радіоелектроніки.