

УДК: 004.9

КОНЦЕПЦІЇ ПОБУДОВИ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ: АНАЛІЗ СТАНУ, ПРОБЛЕМИ І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ

В.М. ГУЖВА

Державний вищий навчальний заклад

«Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана»

Характерною ознакою сьогодення є те, що прогрес у галузі інформаційно-комунікаційних технологій і зростаюча конкуренція примушують виробничі підприємства змінювати свій спосіб просування бізнесу. В результаті цього виникають нові парадигми для побудови виробничих інженерних систем. У статті проведено стислий аналіз головних парадигм виробничих систем, виділено їх основні переваги та недоліки, а також окреслені проблеми та тенденції розвитку

Зростаюча нестабільність на глобальній діловій арені та все більш агресивна конкуренція спричиняють відповідне зростання складності інженерних систем і завдань, що стоять перед виробничими підприємствами.

Це спонукає до більш широкого та цілісного погляду на розподілені інженерні системи (наприклад, з урахуванням інженерно-управлінських аспектів, економічних та технічних питань, екологічних стимулів, соціальних наслідків). Саме тому в статті стисло розглянуті головні парадигми побудови виробничих систем, виділено їх основні переваги та недоліки, а також окреслені проблеми та тенденції розвитку.

Результати та їх обговорення

Виробничі системи

Спочатку розглянемо основні вимоги до виробничих інженерних систем.

1) Основні вимоги. Основні вимоги, яким повинна відповідати виробнича система, були підсумовані в роботах [2] і [3], і вони включають в себе: повну інтеграцію різноманітного програмного і апаратного забезпечення в рамках підприємств і всього ланцюга поставок; відкриту архітектуру системи для пристосування нових підсистем (апаратного або програмного забезпечення); зв'язок всередині підприємств і між підприємствами; втілення людського фактора у виробничі системи; швидке реагування на зовнішні зміни і несподівані порушення зовнішнього і внутрішнього виробничого середовища; терпимість до помилок в самій системі та на її різних рівнях (наприклад, для того, щоб виявити і швидко оговтатися від системних збоїв і мінімізувати їх наслідки для робочого середовища); спритність; здатність змінити конфігурацію системи; масштабованість. Крім того, сучасні виробничі підприємства стикаються з низкою проблем (наприклад, зміна клієнтами своїх вимог, велика різноманітність стандартів електронної комунікації, посилення конкуренції), з якими їм доводиться мати справу і залишатися конкурентноспроможними.

Не дивлячись на те, що поточні розробки у галузі виробничих і (розподілених) інженерних систем є достатньо вагомими, досягнуті результати поки що не задовольняють потреби сучасних виробничих підприємств. Деякі питання залишаються досі не вирішеними: безперервна функціональна взаємодія в мережах підприємств, масштабованість, оптимальне прийняття рішень, саморегулювання, самовдосконалення.

2) Стислий огляд парадигм виробничих систем. Існує декілька поглядів щодо класифікації періодів розвитку промисловості. Автор роботи [6] визначив шість епох виробництва шляхом аналізу

подій з точки зору підходів до процесу управління (наприклад, точність, чіткість, відтворення, стабільність, адаптивність, універсальність), в яких рівень розвитку технологій виступає основоположним фактором. Мерабі *та ін.* [7] розділили еволюцію виробничих систем з точки зору технології виготовлення, визначивши три епохи: доцифрове комп'ютерне управління (до 1970-х років), цифрове комп'ютерне управління (1970-1990 роки), коли з'явилися кілька технологій виробництва (наприклад, Кайзен, принцип «точно в строк», бережливе виробництво, загальне управління якістю), і епоха знань (після 1990). Головні парадигми виробничих інженерних систем (з акцентом на їх сильні та слабкі сторони), а також технології, що лежать в їх основі, представлені в табл. 1.

Системи централізованого планування та виробництва продукції спираються на централізовані комунікації, є жорсткими, їм бракує масштабованості та надійності, мають високу вартість інтеграції.

Системи масового виробництва націлені на повне використання виробничих потужностей та скорочення собівартості продукції. Цей виробничий підхід є результативним для підприємств, які працюють з незавершеним виробництвом та запасами готової продукції.

Системи автоматизованого проектування (CAD)/автоматизованого виробництва (CAM) – ці системи поєднують різні інструменти (наприклад, електронна пошта, мультимедійні повідомлення, 3 – вимірні програми перегляду конфігурацій в CAD-системах) в розподіленому мультимедіа-проектному середовищі за допомогою Інтернет. В CAD-системах комп'ютери використовуються для розробки та аналізу продуктів і процесів. У CAM-системах комп'ютери використовуються безпосередньо для контролю за обладнанням/процесами в режимі реального часу або автономно для підтримки виробничих операцій (наприклад, процесу планування).

Комп'ютерно-інтегроване виробництво (CIM) – такі системи впроваджують для інтеграції різних галузей та в рамках промислових підприємств. Вони використовують графічний інтерфейс в програмному середовищі та мультимедійні пакети з метою сприяння поширенню інформації про товар [8]. З розвитком інформаційних-комунікаційних технологій та стандартів, впровадженням Інтернету, зростаючою нестабільністю на бізнес-арені і посиленням конкуренції кордони виробничих систем розширилися від заводу до різнотипових мереж зв'язку. Як наслідок, також змінилися місія та бізнес-стратегія підприємства – раніше існувала орієнтація на конкурентні переваги товарів, але згодом вона трансформувалась у стратегію, яка направлена на створення сукупної доданої вартості. Перетворився і сам процес ведення бізнесу – має місце перехід від традиційної практики до електронного бізнесу, тобто інформація, пов'язана з виробничими процесами, передається через Інтернет. Таким чином, виникли різні парадигми (або філософії), такі, як бережливе виробництво, динамічне виробництво, гнучке виробництво, виробничі системи з перебудовуваною конфігурацією, електронне виробництво [9 - 10], самоорганізовані децентралізовані виробничі системи, голонічні виробничі системи, віртуально розподілені виробничі системи, збалансовані системи автоматизації виробництва, біонічні виробничі системи. Виробничі системи, що побудовані на концепції *бережливого виробництва*, спрямовані на постійне поліпшення якості продукції при зниженні її собівартості. *Гнучкі виробничі системи* спеціалізуються на виробництві великої кількості різноманітної продукції з використанням однієї і тієї ж системи. *Динамічним виробничим системам* характерне швидке реагування на зміни [11].

Хоча концепції бережливого та динамічного виробництва звучать майже однаково, в них реалізуються різні підходи до побудови виробничих інженерних систем. В той час як концепція

бережливого виробництва є реакцією на конкурентний тиск з використанням обмежених ресурсів, гнучке виробництво являє собою відповідь на складнощі, які викликані постійними змінами.

Таблиця 1. Головні парадигми виробничих інженерних систем

№ п/п	Парадигма / виробнича система	Ціль	Переваги	Недоліки	Технологія / підхід
1	Масове виробництво	Зниження собівартості продукції; повне використання виробничих потужностей	Повне використання виробничих потужностей	Негнучкість; Не відповідає вимогам і потребам сьогодення	
2	Комп'ютерно-інтегроване виробництво (СІМ)	Інтеграція комп'ютерів та комп'ютеризованих інструментів	Використання комп'ютерів для технічної підтримки виробництва (наприклад, розробка)	Не відповідає вимогам і потребам сьогодення	
3	Гнучка виробнича система	Виробництво різних продуктів в одній системі	Високий рівень диверсифікації продукції, що виробляється	Дороге; (зазвичай) включає в себе непотрібні посадові обов'язки/ апаратне забезпечення. Обладнання схильне до спрацювання	
4	Виробнича система з перебудову - ваною конфігура - цією	Швидка перебудова виробничого потенціалу і функціональності	Модульність; інтегрованість; оборотність; діагностованість; задоволення потреб замовника	Включає в себе непотрібні посадові обов'язки/ апаратне забезпечення. Обладнання схильне до спрацювання	
5	Інтелектуаль - на виробнича система	Системи вдосконалені людським розумом (наприклад, процес прийняття рішень)	Прийнятність	Відсутній доступ до тіла системи для взаємодії та отримання потрібної інформації з навколишнього середовища	Агенти
6	Голонічна виробнича система	Голони	Зберігає переваги гетерархічної та ієрархічної структур	Централізований контроль	Агенти, мережі Петрі
7	Збалансована система автоматизації виробництва	Оптимальне поєднання машин і людей	Баланс автоматизованих та людських видів діяльності		Агенти
8	Біонічна виробнича система	Заснована на біологічно інспірованих підходах	Висока пристосовуваність, гнучкість; ефективна навіть тоді, коли бажане завдання погано визначено	На ранніх етапах, необхідна подальша розробка	Агенти, обчислювальна техніка на основі біоніки, еволюційні обчислення

Як зазначається в роботі [12], бережливе виробництво являє собою сукупність оперативних методів, які зосереджені на продуктивному використанні ресурсів, в той час як гнучке виробництво – це загальна стратегія, спрямована на процвітання в непередбачуваному бізнес-середовищі.

Виробничі системи з перебудовуваною конфігурацією призначені для швидкого пристосування своїх виробничих та функціональних потужностей в залежності від нових умов (наприклад, зміни в попиті на товар, виробництво нового продукту за допомогою існуючих систем, впровадження нових технологічних процесів в існуючі системи виробництва) за рахунок перегляду або зміни його компонентів (наприклад, [14], [7]). Гнучкі, динамічні виробничі системи та системи з перебудовуваною конфігурацією по різному адаптуються до нових ринкових умов. В той час як гнучкі виробничі системи вчасно реагують на очікувані зміни, динамічні виробничі системи ефективно пристосовуються до непередбачуваних змін або подій.

Інтелектуальні виробничі системи – це виробничі системи, які вдосконалені людськими можливостями (наприклад, можливістю прийняття рішень з точки зору людської поведінки). Детальну інформацію стосовно виробничих систем, що засновані на інтернет-технологіях з акцентом на розподілене інтелектуальне виробництво, можна знайти в джерелі [8], а розгляд питання про застосування системи агентів в інтелектуальній виробничій системі в роботі [3].

Голонічні (комплексні) виробничі системи спираються на концепцію голонічної системи, яка представлена в [15]. Відповідно до даної концепції, голон являє собою ідентифіковану частину системи з унікальною ідентичністю, і складається з субординованих (підлеглих) частин, які входять у єдине ціле. В голонічній виробничій системі голон – це автономний та скоординований виробничий блок для перетворення, транспортування, зберігання/перевірки на достовірність інформації та фізичних об'єктів [16 - 17]. Незважаючи на великі перспективи голонічних (і мультиагентних) систем, вони не досягли значних успіхів на підприємствах, які сьогодні ними користуються (наприклад, [18]), головним чином внаслідок: відсутності загально визнаних стандартів; їх впровадження частково покриває виробничі масштаби; використання власних стандартів і механізмів; важко затвердити концепцію централізованого прийняття рішень.

Для *збалансованої системи автоматизованого виробництва* характерне оптимальне поєднання автоматизованих та людських видів діяльності. Вони розроблені з урахуванням соціально-економічних умов, а також інших факторів, зокрема: собівартості продукції, рівня необхідної гнучкості, бажаної якості продукції [19].

Біонічна виробнича система покликана вирішувати проблеми в складному (непередбачуваному) виробничому середовищі на основі біологічних підходів, і базується на аспектах самоорганізації, навчання, розвитку та адаптації (наприклад, [20], [21]). Вони легко пристосовуються до непередбачуваних змін у виробничому середовищі, зазвичай ефективні навіть тоді, коли бажане завдання погано визначено, і досягають глобальних змін шляхом взаємодії (багатьох) одиниць (наприклад, [22]). Відповідно до цього, в такій технічній системі відсутній центральний конструктор, натомість існує сукупність альтернатив, які конкурують одна з одною у спробі вирішити дану проблему, і в процесі природного відбору затверджуються кращі рішення. Найбільш характерні технології і підходи для біонічних інженерних систем: агенти, біонічна обчислювальна техніка, еволюційні обчислення, біо-роботи тощо. До числа невирішених проблем можна віднести автоматизоване проектування біонічних інженерних систем, автоматичне регулювання (наприклад, щоб функціонування продовжувалось, якщо один з підрозділів перестане працювати або у випадку раптових змін у виробничому середовищі) та здатність системи відновити функції.

Детальне дослідження виробничих систем дозволило виявити основні *поточні тенденції* для виробничих систем, які можна підсумувати наступним чином: спеціалізація, якій притаманне зосередження уваги на основній компетенції; аутсорсинг; перехід від вертикальної до горизонтальної структури (наприклад, система управління), від систем з високим ступенем централізації до децентралізованих структур (наприклад, коли окремих елемент, підрозділ або субпідрозділ доповнюється можливостями прийняття рішень); еволюція в бік самоврядування властивостей або самозабезпечення (наприклад, самоадаптація), яка зазвичай відбувається на нижчих рівнях. Виробничі системи з цими характеристиками мають високий рівень інтеграції, легко модифікуються, здатні до еволюції та адаптації (наприклад, до нових ринкових умов).

У зв'язку з цим було визначено наступний ряд *проблем*, які повинні вирішуватися при розробці нових парадигм створення виробничих систем: забезпечення постійної сумісності, так як доступність інформації та електронного зв'язку мають важливе значення для розподілених гетерогенних виробничих інженерних систем; розвиток технологій та прикладних програм для задоволення всіх вимог чинних розподілених виробничих систем; конкурентоспроможність: підприємства повинні залишатися конкурентоспроможними з точки зору витрат (наприклад, життєвий цикл витрат, інвестицій) та окупності; обладнання та машини (наприклад, датчики) повинні відповідати новим парадигмам виробництва; стійкий розвиток (наприклад, вирішення екологічних проблем); підбір технологій, обладнання та виробничих систем (наприклад, для оцінки різних конфігурацій систем на основі економічного життєвого циклу, якості, надійності системи); інтеграція людей з машинами і програмним забезпеченням; нефункціональні властивості, наприклад, відмовостійкість (збереження працездатності системи у випадку пошкодження деяких елементів); відкритість, самоадаптація; кожна одиниця/підрозділ/елемент виробничої системи повинні самостійно і незалежно приймати оптимальні *розумні* рішення (наприклад, використання ресурсів, включаючи алгоритми складання розкладу, методи планування і контролю виконання), маючи в основі стратегію автоматичного вирішення задач та поведінку, яка заснована на принципах співпраці; оцінка продуктивності.

Висновки

Разючі зміни в галузі інформаційно-комунікаційних технологій та постійний тиск з боку конкурентів примушують вищий менеджмент промислових підприємств постійно шукати нові підходи до управління та побудови виробничих систем. Такий вибір тісно пов'язаний з аналізом стану та виявленням поточних і можливих майбутніх тенденцій в розвитку концепцій виробничих інженерних систем. Їх стислому огляду та аналізу і присвячена дана стаття.

ЛІТЕРАТУРА

1. D. Rhodes and D. Hastings, «The case for evolving systems engineering as a field within engineering systems», *1st MIT Engineering Symposium*, Boston, MA, USA, March 31, 2004.
2. W. Shen and D. Norrie, «Agent-based systems for intelligent manufacturing: a state-of-the art survey», *International Journal of Information Systems*, Vol. 1, No 1, 1999, pp 129-156.
3. W. Shen, Q. Hao, H. Yoon and D.H. Norrie, «Applications of agent systems in intelligent manufacturing: an updated review», *International Journal of Advanced Engineering Informatics*, Vol. 20, No 4, 2006 pp 415-431.
4. C.-M. Chituc, *Interoperability in Collaborative Networks: A framework proposal*, Doctor of

- Philosophy Dissertation in Electrical and Computers Engineering, Faculty of Engineering of the University of Porto (FEUP/DEEC), Portugal, July 2008.
5. C.-M. Chituc, C. Toscano *et al.*, «Interoperability in collaborative networks: Independent and industry specific initiatives – The case of the footwear industry», *Computers in Industry*, Vol. 59 No 7, 2008, pp 741-757.
 6. R. Jaikumar, «200 years to CIM», *IEEE Spectrum*, Nol. 30, No 9, 1993, pp 26-27.
 7. M.G. Mehrabi, A.G. Ulsoy, and Y. Koren, «Reconfigurable manufacturing systems: Key to future manufacturing», *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 11, No 4, 2000, pp 403-419.
 8. 8 G.Y. Tian, G.O. Yin and D. Taylor, «Internet-based manufacturing: A review and a new infrastructure for distributed intelligent manufacturing», *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 13, No 5, 2002, pp 323-338.
 9. M. Koc, J. Ni and J. Lee, «Introduction of e-manufacturing», in *Proceedings of the International Conference on Frontiers on Design Manufacturing*, Dalia, China, July 2002.
 10. J. Lee, «E-manufacturing – fundamental, tools, and transformation», *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 19, No. 6, 2003, pp 501-507.
 11. 11. J.H. Sheridan, Agile manufacturing: step beyond lean manufacturing, *Industry Week*, 1993, pp 30-46.
 12. 12. L.M. Sanchez and R. Nagi, «A review of agile manufacturing systems», *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No 16, 2001, pp 3561-3600.
 13. 13. Y.Y. Yusuf, M. Sarhadi and A. Gunasekaran, «Agile manufacturing: The drivers, concepts and attributes», *International Journal of Production Economics*, Vol. 62, No. 1-2, 1999, pp 33-43.
 14. 14. Y. Koren and A.G. Ulsoy, *Reconfigurable Manufacturing Systems*, Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems (ERC/RMS) Report 1, The University of Michigan, Ann Arbor, 1997.
 15. 15. A. Koestler, *The Ghost in the Machine*, Arkana Books, London, 1969.
 16. 16. A. Giret and V. Botti, «Engineering Holonic Manufacturing Systems», *Computers in Industry*, doi:10.1016/j.compind.2009.02.007, 2009 (in press).
 17. P. Leitao and F.J. Restivo, «ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing», *Computers in Industry*, Vol. 57, No 2, 2006, pp 121-130.
 18. F. Jammes and H. Smit, «Service-oriented paradigms in industrial automation», *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 1, No 1, 2005, pp 62-70.
 19. A. Adlemo and S.-A. Andresson, «Balanced automation in flexible manufacturing systems», *Studies in Informatics and Control*, Vol. 5, No 2, 1996, pp 179-187.
 20. K. Ueda, «A concept for bionic manufacturing systems based on DNA-type information». *IFIP Transactions Vol. B-3*, Proc. PROMALAT Conference on Human Aspects in Computer Integrated Manufacturing, 1992, pp. 853-863.
 21. K. Ueda, I. Hatono, N. Fujii and J. Vaario, «Reinforcement learning approaches to biological manufacturing systems», *CIRP Annals–Manufacturing Technology*, Vol.49, No1,2000, pp 343–346.
 22. J. Bongard, «Biologically Inspired Computing», *IEEE Computer*, April 2009, pp 95–98.

Надійшла 21.10.2010