УДК 681.3.07

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГНУЧКИХ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ

А.І. Бронніков, Харківський національний університет радіоелектроніки

Важливим засобом підвищення гнучкості виробництва при освоєнні випуску нової продукції є застосування технологій швидкого переналагодження. Організаційним чинником, що сприяє підвищенню гнучкості виробничих систем при переході на випуск нової продукції, є стандартизація оснастки.

Важным средством повышения гибкости производства при освоении выпуска новой продукции является применение технологий быстрой переналадки. Организационным фактором, способствующим повышению гибкости производственных систем при переходе на выпуск новой продукции, является стандартизация оснастки.

An important means of increasing the flexibility of production when mastering the release of new products is the use of rapid changeover technologies. The organizational factor that contributes to increasing the flexibility of production systems in the transition to new products is the standardization of equipment.

Ключові слова: *гнучкість, переналагодження, функціональність, виробництво, автоматизація*

Вступ

Виробничі компанії в XXI столітті стикаються з дедалі частішими і непередбачуваними змінами на ринку, зумовленими глобальною конкуренцією, включаючи швидке впровадження нових продуктів і постійний різний попит на продукцію. Щоб залишатися конкурентоспроможними, компанії повинні проектувати виробничі системи, які не тільки виробляють високоякісну продукцію за низькою ціною, але також дозволяють швидко реагувати на зміни ринку і потреби споживачів. Реакція на зміни відноситься до таких операцій, з якою виробництво може відповідати цілям, які змінюються дуже швидко, а також створювати нові моделі. Переналагодження є новою інженерною технологією, яка відповідає на економічні та швидкісні зміни ринку і продуктів.

Реакція на зміни дозволяє виробничим системам швидко запускати нові продукти на існуючих системах та реагувати на:

– зміни на ринку, включаючи зміни в попиті на продукцію;

– зміни виробництва продуктів, включаючи зміни в виробництві як поточних, так і у впровадженні нових;

– системні збої (поточне виробництво, незважаючи на відмову обладнання).

Всі ці реакції обумовлені агресивною конкуренцією в глобальному масштабі, клієнтами, які є більш освіченими і вимогливими, а також швидкими темпами змін в продуктах і технологіях [1].

Основні вимоги до гнучких виробничих систем

Хоча гнучкі виробничі системи (ГВС) реагують на зміни виробництва продуктів, вони не призначені для великих структурних змін і тому не можуть реагувати на різкі коливання ринку, такі як різний попит і серйозні збої обладнання.

Швидкість реагування на такі зміни є новою стратегічною метою для підприємств–виробників. Хоча це поняття ще не приписується тому ж рівню важливості, що і вартість з якістю, його вплив на подальший розвиток гнучкого виробництва стає настільки ж необхідним. Воно є ключовою конкурентною перевагою в бурхливій глобальній економіці, в якій компанії повинні мати можливість швидко і економічно реагувати на зміни. Реактивність виробництва може бути досягнута шляхом встановлення виробничої системи, яка має невеликі початкові потужності і призначена для їх додавання в міру зростання ринку, додавання функціональності в міру зміни продукту.

Виробнича система, яка швидко реагує на зміни, являє собою систему, чиї виробничі потужності регулюються коливаннями попиту на продукцію і функціональність якої адаптується до виготовлення нових продуктів. Тому необхідні два основних типи переналагодження в виробничих системах – функціональності (деякі типи гнучких виробничих систем дозволяють змінювати функціональність) і виробничих потужностей. На рисунку 1 показано, як фактичний попит на продукцію A і B може відрізнятися від запланованого.

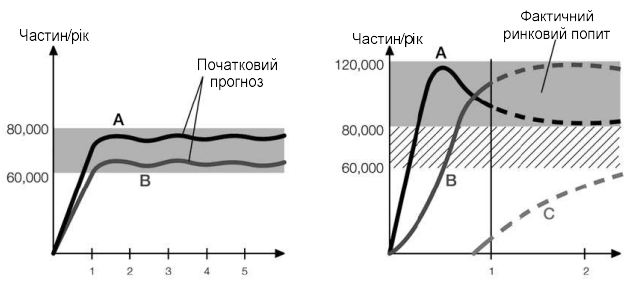

Рис. 1. Прогноз у порівнянні з фактичним попитом на продукцію. Більш високий початковий попит, ніж очікується, для обох продуктів, а виробництво продукту C – менше, ніж очікувалося

Продуктивність системи повинна бути скоригована, щоб справлятися з коливаннями попиту на продукцію. Такий тип налаштування вимагає швидких змін у виробничих потужностях системи – так звана масштабованість системи.

© А.І.Бронніков

Традиційні виробничі системи – як виділені лінії, так і ГВС, не зовсім підходять вимогам, які обумовлені новим конкурентним середовищем [2].

Dedicated manufacturing lines (спеціалізовані виробничі лінії (СВЛ)) засновані на недорогій фіксованій автоматизації, яка випускає основні продукти або деталі компанії протягом тривалого періоду часу і при великому обсязі, як показано на рисунку 2. Кожна виділена лінія зазвичай призначена для виробництва однієї деталі на високій швидкості виробництва. Це досягається за рахунок використання всіх інструментів одночасно. Коли попит на продукт високий, витрати на кожну деталь особливо низькі. СВЛ є економічно ефективними, якщо вони можуть працювати на повну потужність, але з посиленням тиску з боку глобальної в усьому світі спеціалізовані лінії зазвичай не працюють на повну потужність.

Гнучкі виробничі системи можуть виробляти продукти різного призначення в одній і тій же системі. Як правило, ГВС складаються з машин загального призначення з числовим програмним керуванням (ЧПК) і інших програмованих форм автоматизації.

Оскільки машини з ЧПК характеризуються роботою з одним інструментом, пропускна здатність ГВС набагато нижче, ніж у СВЛ. Поєднання високої вартості обладнання та низької пропускної здатності робить вартість виробництва однієї частини з використанням ГВС відносно високою [3]. Таким чином, виробнича потужність ГВС зазвичай набагато нижче, ніж у виділених (рисунок 2).

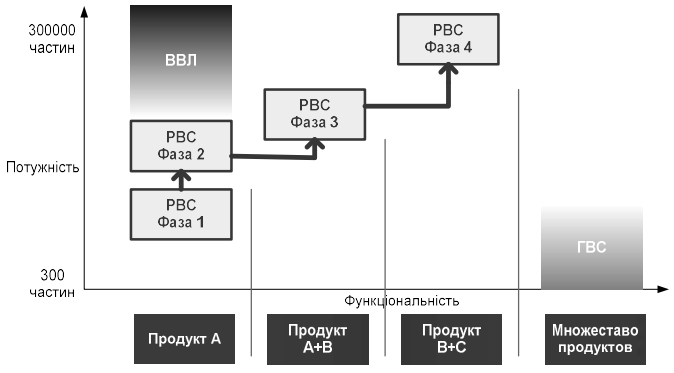

Рис. 2. Взаємозв'язок між системами

Переналагодження виробничих систем – новий клас систем

Економічно ефективна відповідь на зміни ринку вимагає нового виробничого підходу. Такий підхід не тільки повинен поєднувати високу пропускну здатність СВЛ з гнучкістю ГВС, а й бути здатним реагувати на зміни ринку, швидко і ефективно адаптувати виробничу систему і її елементи. Ці можливості охоплюють Reconfigurable manufacturing systems (виробничі системи, що переналагоджуються (ПВС)), чия здатність і функціональність можуть бути змінені точно, коли це необхідно, як показано на рисунку 2.

Три функції – потужність, функціональність і вартість відрізняють три типи виробничих систем: ПВС, СВЛ і ГВС. Хоча СВЛ і ГВС зазвичай фіксуються на площині функціональності, як показано на рисунку 2, ПВС не обмежена пропускною здатністю або функціональністю і здатна з часом змінюватися у відповідь умов ринку.

При обліку системних витрат і потужності використання СВЛ залишається постійним при максимальній потужності, яка запланована; вся спеціалізована лінія повинна бути побудована, коли потрібна велика потужність виробництва. Паралельна ГВС масштабується з постійною швидкістю (додавши машини паралельно), як показано на рисунку 3. Але, як заявили Лі та Стіккі, ГВС дорогі: «ГВС вимагає великих капіталовкладень, а велика частина цих інвестицій здійснюється на ранній стадії проектування». ПВС є масштабованою, але тільки коли вона залежить від початкового проектування і ринкових умов.

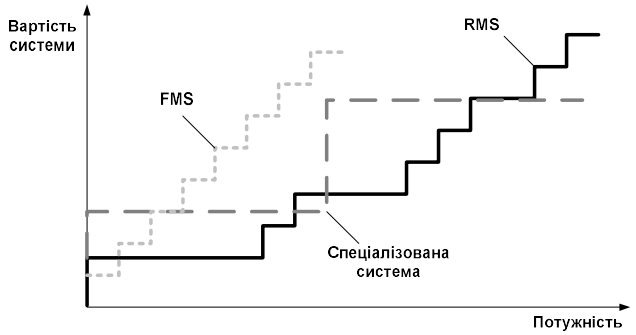

Рис. 3. Вартість виробничої системи проти потужності

Виробниче обладнання переналагоджується, якщо відповідь на наступні два питання позитивна.

– Чи була ця виробнича система або обладнання сконструйовано так, щоб його фізичну структуру можна було легко змінити?

– Чи була ця виробнича система або обладнання, призначене для виробництва або перевірки конкретного сімейства деталей?

Приклади змін у фізичній структурі системи включають в себе швидке додавання нового виробничого ресурсу економічно ефективним способом (наприклад, нову станцію з ЧПК або подовжувач конвеєра), зміна інструментів або зміна напрямку осі руху [4].

У ГВС є гнучкість, необхідна для змін між видами продукту, що виробляються, але ця гнучкість є не такою економічно вигідною, як при використанні СВЛ. Навпаки, використання СВЛ відрізняється високою продуктивністю, але без гнучкості. Виробнича система, що може переналагоджуватись, охоплює кращі якості обох типів. Це не тільки економічно вигідно з гнучкими виробничими можливостями, а й структура виробництва також може бути змінена як на рівні системи, так і на рівні машини. Саме цьому переналагодження може відповідати несподіваним змінам ринку.

Розробка СВЛ фокусується на конкретній деталі, яку потрібно створити. Таким чином, якщо частина не визначена, СВЛ не може бути спроектована. Навпаки, типові ГВС складаються з верстатів з ЧПК і призначені для виробництва будь-якого продукту. Процедура планування процесу виробництва необхідна для відповідності обробки кожної конкретної частини існуючої ГВС. Проектування ГВС фокусується на виробництві всього продукту, а не на його частині, що є однією з причин втрат і низької продуктивності технології ГВС.

У різних типів однієї і тієї ж продукції є багато відмінностей, але у них також є багато схожих деталей. Зосередження уваги на сімействі деталей дозволяє проектувальнику планувати систему, яка враховує різні варіанти однієї і тієї ж частини сімейства з мінімальним переходом на схему виробництва. Цей підхід використовує високу продуктивність проектування машин, використовуючи СВЛ, і є набагато економічним, ніж загальна функціональність ГВС.

Як показано в таблиці 1, ПВС представляють собою новий клас систем, що характеризуються регульованою структурою і зосереджують увагу на розробці.

Таблиця 1

Порівняння сучасних виробничих систем між собою

	Виділений	ПВС	ГВС / ЧПК
Структура системи	Фіксована	Змінюється	Змінюється
Структура машини	Фіксована	Змінюється	Фіксована
Фокус системи	Часткове	Частина сімейства	Машина
Масштабова-ність	Ні	Так	Так
Гнучкість	Ні	Індивідуальна (навколо частини сімейства)	Головна
Одночасно працюючі інструменти	Так	Можливо	Ні
Продуктивність	Дуже висока	Висока	Низька
Ціна за частину	Низька (для однієї частини, коли використову-ється повністю)	Середня (частини зі змінним попитом)	Обґрунтована (декілька частин одночасно)

Система, яка має змінну структуру, забезпечує масштабованість і гнучкість, а також фокусується на сімействі деталей, створюючи, таким чином, чутливу систему, що переналагоджується. ПВС забезпечує гнучкість, необхідну для обробки всього або часткового сімейства деталей на виробництві.

Високопродуктивні, економічно ефективні системи створюються за допомогою зосередження на часткових членах і індивідуальній гнучкості, яка дозволяє одночасну роботу різних інструментів. Системи ПВС призначені для того, щоб справлятися з ситуаціями, коли важливі продуктивність і оперативність системи. Кожна система з ПВС призначена для виробництва певного сімейства деталей. Основними компонентами ПВС для обробки є верстати з ЧПК і верстати, які можуть переналагоджуватись. Елементи управління, які реагують на переналагодження виробництва, інтегровані в середовище відкритої архітектури, яке може координувати і керувати верстатами ЧПК та має вирішальне значення для успіху використання ПВС. Таким чином, виробнича система, що може переналагоджуватись, може бути визначена наступним чином: з самого початку ПВС розроблені для швидкої зміни структури, а також апаратних і програмних компонентів, щоб швидко налаштувати виробничі потужності і функціональність у відповідь на раптові зміни ринкових чи нормативних вимог.

Якщо система і її машини не розроблені спочатку для переналагодження, цей процес виявиться довгим і недоцільним [5].

Характеристики та принципи переналагодження

ПВС має шість основних функцій, які можуть бути переналагоджені, як представлено у таблиці 2.

Таблиця 2

Функції ПВС

Функції	Позначення
Налаштування (гнучкість обмежена частиною сімейства)	Гнучкість системи або машини обмежена одним сімейством продуктів, що дозволяє отримати індивідуальну гнучкість
Конвертованість (зміни функціональності)	Можливість легко переналагодити функціональність існуючих систем відповідно до нових виробничих вимог
Масштабованість (проектування для зміни потужності)	Можливість легко змінювати виробничі потужності шляхом додавання або віднімання ресурсів та/або зміна компонентів системи
Модульність (компоненти модульні)	Поділ операційних функцій на одиниці, які можуть бути змінені між альтернативними схемами виробниц-тва для оптимального розташування
Інтегрованість (інтерфейси для швидкої інтеграції)	Можливість швидко та точно інтегрувати модулі за допомогою набору механічних, інформаційних та керуючих інтерфейсів, які полегшують інтеграцію та комунікацію
Діагностика (розробка для легкої діагностики)	Можливість автоматичного читання поточного стану системи для виявлення та діагностики основних причин дефектів виробу та швидкого виправлення дефектів роботи.

Налаштування, масштабованість і конвертованість є критичними характеристиками переналагодження. Модульність, інтегрованість і діагностика дозволяють швидко переналагодити, але вони не гарантують модифікацій виробничих можливостей і

функціональності. Персоналізація і інші істотні характеристики, засновані на розробці сімейства деталей або сімейства продуктів, концепція, вже згадана іншими дослідниками. Шість ключових характеристик ПВС зменшують час і витрати на переналагодження і, отже, підвищують оперативність системи. Ці характеристики можуть надійно знизити вартість життя, дозволяючи системі постійно змінюватися протягом її терміну служби, «залишатися в живих», незважаючи на зміни в ринках, споживчому попиті і технологіях.

Виробничі системи, які переналагоджуються, розроблені відповідно до принципів основних принципів переналагодження. Три з цих принципів призначені для збільшення швидкості переналагодження і, отже, швидкості реагування на (i) непередбачувані зовнішні події (наприклад, зміни ринку), (ii) зміни моделі до запланованого виробництва продуктів і (iii) несподівані внутрішні системні події (наприклад, несподіваний довгий збій машини).

Чим більше ці принципи використовуються у виробничій системі, тим більш вона здатна до переналагодженння. Цими трьома принципами є:

– система, яка використовує ПВС, забезпечує регулювання виробничих ресурсів для реагування на непередбачувані зміни ринку і внутрішні системні заходи:

а) потужність ПВС може бути швидко масштабуватися з невеликими приростами;

б) функціональність ПВС може бути швидко адаптована до виготовлення нових продуктів;

в) вбудовані можливості настройки ПВС дозволяють швидко реагувати на непередбачені збої обладнання.

– система, яка використовує ПВС розроблена навколо сімейства продуктів з достатньою гнучкістю для створення всіх членів цього сімейства.

– основні характеристики системи, яка використовує ПВС повинні бути вбудовані в систему в цілому, а також в її компоненти.

Навколишнє середовище багатьох виробничих компаній характеризується непередбачуваними змінами на ринку. Зміни в замовленнях вимагають зміни вихідної потужності і функцій обробки виробничої системи. Впровадження характеристик ПВС і принципів при проектуванні системи призводить до досягнення кінцевої мети – створення «живої фабрики», яка може швидко коригувати свою виробничу потужність, зберігаючи при цьому високий рівень якості. Ця адаптивність гарантує високий довгостроковий прибуток, зменшення витрат та швидке повернення інвестицій в такі системи (див.рис. 3).

У великих системах виробництво включає в себе безліч етапів. Продукт частково обробляється на одному етапі, а потім переноситься на наступний, поки всі операції не будуть завершені [6].

Конфігурація системи може полегшити або ускладнити її продуктивність, чутливість, конвертованість і масштабованість, а також вплинути на щоденні операції. Багатоступінчасті системи виробництва можуть передбачати кілька робочих конфігурацій, в залежності від того, як машини розташовані на етапах і як вони підключені через систему обробки матеріалів. Також виробничі системи, які переналагоджуються, можуть буди сконфігуровані різними способами тому для цього є можливість розрахунку конфігурацій ПВС на основі кількості машин в системі.

Висновки

Управління такими складними об'єктами, як ГВС, що складаються з модулів різного призначення, ділянок і цехів, які об'єднують в собі декілька підсистем управління, є складним багатогранним завданням великої розмірності.

Проте, підхід до розробки системи передбачає, що нова виробнича система повинна розроблятися щоразу, коли вводиться новий продукт. Оскільки життєві цикли продуктів стають коротшими і коротшими, цей підхід стає неефективним.

Ефективне рішення повинно враховувати еволюцію продуктів по кільком поколінням моделей і проектування конфігурацій виробничих систем, які є економічно ефективними для розвитку продукту. Цей підхід до розробки системи продуктів являє собою новий напрямок досліджень, яке може забезпечити швидкий запуск продукту з меншими витратами на заміну нових продуктів – таким методом є впровадження виробничих систем, які можуть швидко переналагоджуватись.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1.Koren, Y. Computer control of manufacturing systems [Электронный ресурс]/ Y. Koren. - McGraw-Hill; 1983.

2.Koren, Y. Design of reconfigurable manufacturing systems [Электронный ресурс]/ Y. Koren, M. Shpitalni // Journal of Manufacturing Systems doi:10.1016/j.jmsy.2011.01.001.

3.Stecke, K.E. Formulation and solution of nonlinear integer production planning problems for flexible manufacturing systems. [Электронный ресурс]/ K.E. Stecke// Management Science 1983;29(3):273–88.

4.Stecke, K.E Loading and control policies for a flexible manufacturing system. [Электронный ресурс]/ K.E. Stecke, J. Solberg // International Journal of Production Research 1981;19(5):481–90.

5. Son, Y.K, Economic measure of productivity, quality and flexibility in advanced manufacturing systems. [Электронный ресурс]/ Y.K. Son C.S.// Park Journal of Manufacturing Systems 1987; 6(3):193–207.

6. Cochran, DS, A decomposition approach for manufacturing system design. [Электронный ресурс]// D.S. Cochran,J.F. Arinez, J.W Duda, J. Linck // Journal of Manufacturing Systems 2001–2002; 20(6):371–89