

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Сучасна світова промисловість перебуває на етапі глобальної трансформації, що характеризується переходом від багатосерійного виробництва до дрібносерійного, або навіть одиничного типу виробництва. Споживчий попит вимагає від підприємств постійного оновлення асортименту, високої якості продукції та мінімальних термінів виходу на ринок. За таких умов традиційні жорсткі виробничі системи втрачають свою ефективність через тривалий і вартісний процес переналагодження.

Одним з інструментів вирішення цієї проблеми є впровадження роботизованих технологічних комплексів (РТК). Вони мають потенціал забезпечити необхідну гнучкість, автономність та точність виконання операцій. Проте, ефективність РТК у багатонаменклатурному виробництві критично залежить від їхньої структури – як апаратної (конфігурація маніпуляторів, типи захватів, системи сенсорики), так і компоувальної.

Більшість сучасних методів проектування РТК орієнтовані на циклічне виконання однотипних операцій. За частоті зміни номенклатури виробів виникають «вузькі місця», такі як неоптимальні траєкторії руху, простої обладнання під час переналагодження, надмірність або недостатність функціоналу модулів.

Створення високоефективних РТК потребує обґрунтованого аналізу складу їхньої елементної бази, особливостей будови й функціонування компонентів, а також їхнього компоувального розміщення та взаємозв'язків із виробничим оточенням. Дослідження базових варіантів побудови РТК показує, що комплекс може містити різну кількість технологічного обладнання (ТО), промислових роботів (ПР) та допоміжних пристроїв (ДП), які виконують подавально-приймальні, або окремо подавальні чи приймальні функції.

Залежно від кількості ТО та ДП виділяють такі типові початкові структури будови РТК [1]: одноверстатні структури з одним допоміжним пристроєм (рис. 1, а), це мінімальний базовий модуль для виконання локальних операцій; одноверстатні структури з двома допоміжними пристроями (рис. 1, б), які дозволяють чітко розмежувати зони подачі заготовок та приймання готових деталей; двоверстатні (і більше) структури з кількома допоміжними пристроями, що забезпечують складніші багатоопераційні технологічні цикли (рис. 1, в).

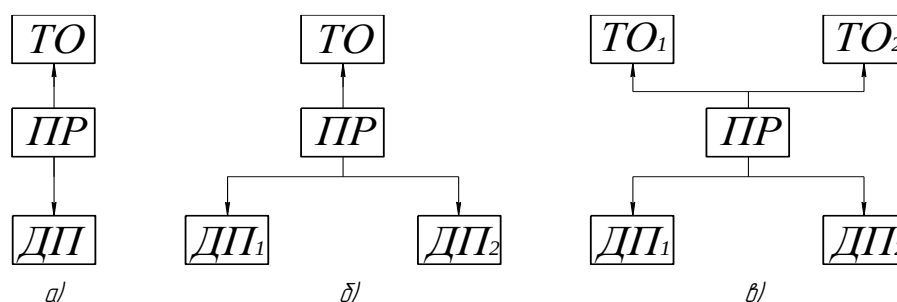


Рис. 1. Структура будови РТК [1]

При проектуванні РТК для умов багатонаменклатурного виробництва виникає значна складність через необхідність адаптації системи до частоті зміни об'єктів обробки. Зміна номенклатури деталей вимагає миттєвої перебудови структури переміщення компонентів всередині комплексу. Також широка номенклатура виробів вимагає від промислового робота

виконання складних рухів як по переміщенню, так і по орієнтуванню. Оскільки варіантів комбінацій компоновального розміщення, типів ТО та допоміжних пристроїв може бути дуже багато, визначення найбільш доцільного виконання перетворюється на важку комбінаторну задачу.

Отже, традиційні підходи до побудови жорстких однономенклатурних РТК є неефективними в сучасних ринкових умовах. Для подолання окреслених проблем та пошуку раціональних варіантів комплексів необхідне впровадження структурного підходу. Розробка та аналіз багатоваріантних структур функціонування є тією фундаментальною основою, яка дозволяє ще на початковому етапі проектування обґрунтовано визначати оптимальні планувальні та логічні параметри РТК для роботи з широкою номенклатурою виробів [2].

Проектування роботизованих комплексів для багатноменклатурного виробництва характеризується необхідністю одночасного врахування великої кількості взаємопов'язаних факторів, серед яких продуктивність, гнучкість, надійність, вартість, можливість модернізації та рівень автоматизації. На відміну від спеціалізованих виробничих систем, у багатноменклатурному виробництві структура комплексу повинна забезпечувати ефективне виконання широкого спектра технологічних операцій за мінімального часу переналагодження. Це обумовлює необхідність застосування системного підходу до структурної оптимізації, який дозволяє оцінювати не окремі елементи комплексу, а їх взаємодію в межах єдиної виробничої системи [3, 4].

Запропонований підхід передбачає послідовне виконання чотирьох взаємопов'язаних етапів: формування критеріїв оптимізації, побудову структурної моделі роботизованого комплексу, багатокритеріальну оптимізацію можливих структур та оцінювання альтернативних варіантів із вибором найбільш ефективного рішення.

Першим етапом є визначення системи критеріїв, які найбільш повно характеризують ефективність роботизованого комплексу. Оскільки жоден окремий показник не може відобразити всі особливості функціонування виробничої системи, оптимізацію доцільно проводити за сукупністю взаємодоповнюючих критеріїв.

До основних критеріїв можуть бути віднесені: продуктивність комплексу; коефіцієнт завантаження роботів та технологічного обладнання; тривалість виробничого циклу; рівень гнучкості щодо зміни номенклатури виробів; капітальні та експлуатаційні витрати; надійність і відмовостійкість структури; можливість масштабування та модернізації комплексу [5].

Оскільки окремі критерії можуть бути суперечливими (наприклад, максимальна продуктивність часто потребує значних капіталовкладень), їх одночасний розгляд дозволяє отримати компромісне рішення, що найбільшою мірою відповідає виробничим умовам.

Після визначення критеріїв формується структурна модель роботизованого комплексу. Вона повинна відображати склад обладнання, взаємозв'язки між окремими елементами та можливі варіанти організації матеріальних і інформаційних потоків.

Структуру комплексу доцільно розглядати як орієнтований граф:

$$G = (V, E), \quad (1)$$

де V – множина структурних елементів комплексу (роботи, технологічні модулі, транспортні системи, накопичувачі, контрольні пристрої тощо);

E – множина зв'язків між ними, що характеризують передачу матеріальних потоків, інформації або керуючих впливів.

Кожній вершині графа можуть бути поставлені у відповідність технічні характеристики обладнання (продуктивність, робоча зона, вантажопідйомність, надійність), а кожному зв'язку – параметри взаємодії між елементами (час транспортування, пропускна здатність, інтенсивність інформаційного обміну).

Такий спосіб представлення дозволяє формалізувати структуру комплексу та забезпечує можливість її математичного аналізу незалежно від конкретного технологічного призначення виробництва.

Враховуючи наявність кількох критеріїв ефективності, задача структурної оптимізації належить до класу багатокритеріальних задач прийняття рішень. Метою оптимізації є

знаходження такої структури комплексу, яка забезпечує найкраще співвідношення між продуктивністю, гнучкістю, вартістю та іншими показниками.

У загальному вигляді задача може бути записана як

$$F(X) = (f_1(X), f_2(X), \dots, f_n(X)) \rightarrow opt, \quad (2)$$

де X – множина структурних параметрів комплексу;

$f_i(X)$ – окремі критерії ефективності.

Для розв'язання таких задач можуть застосовуватися різні методи багатокритеріальної оптимізації, зокрема метод вагових коефіцієнтів, метод аналізу ієрархій, метод Парето-оптимальних рішень, еволюційні методи оптимізації тощо.

Вибір конкретного методу визначається складністю структури комплексу, кількістю альтернативних варіантів та доступністю вихідної інформації. Для багатоміністерського виробництва перспективним є застосування еволюційних алгоритмів, оскільки вони дозволяють ефективно досліджувати великий простір можливих структур і знаходити близькі до глобального оптимуму рішення.

Завершальним етапом є порівняння сформованих варіантів структури роботизованого комплексу. Для кожного варіанта визначаються значення прийнятих критеріїв ефективності, після чого здійснюється їх нормалізація та інтегральне оцінювання.

При цьому доцільно враховувати не лише номінальні значення показників, але й стійкість структури до зміни виробничих умов, можливість швидкої реконфігурації комплексу при появі нової продукції, а також резерв продуктивності для подальшого розширення виробництва.

За результатами аналізу формується множина структур, а остаточний вибір здійснюється з урахуванням стратегічних цілей підприємства, економічних обмежень та перспектив розвитку виробництва.

Таким чином, запропонований підхід забезпечує комплексне обґрунтування структури роботизованого комплексу ще на етапі його проектування, дозволяє мінімізувати ризик прийняття неоптимальних конструктивних рішень та створює передумови для підвищення ефективності функціонування роботизованих виробничих систем в умовах багатоміністерського виробництва. Він також є універсальним і може бути адаптований до різних типів роботизованих комплексів незалежно від виду технологічних процесів, що виконуються.

Список використаних джерел

1. Mazhara, V., Artiukhov, A., Hodunko, M., Shcherbyna, K., & Tenenka, S. (2025). Structural Design of Robotic Complexes.
2. Павленко І.І., Мажара В.А. Структура продуктивності верстатних роботизованих комплексів // Збірник наукових праць. – Вип. 17 Краматорськ: ДДМА, 2005. – С. 131 – 137.
3. Павленко І.І., Мажара В.А. Дослідження впливу використання двозахватних пристроїв на продуктивність роботи РТК // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе. В 5-ти томах. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. Т.5 – С. 282 – 287.
4. Павленко І.І., Мажара В.А. Конструктивно-кінематична структура двозахватних пристроїв промислових роботів. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : Збірник наукових праць. Вип. 19. Краматорськ; Київ, 2006. С. 104 – 109.
5. Мажара, В.А., Годунко, М.О. (2018). Основи гнучкого автоматизованого виробництва. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 32 с.