

## МЕТОДИ КОМПОЗИЦІЇ ОПТИМАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ГВС

*Анотація:* Запропоновані формальні методи та алгоритми формування оптимальних в заданому розумінні просторово-структурних варіантів організації ГВС на основі існуючих баз знань.

*Ключові слова:* гнучки виробничі системи, просторово-структурна організація, бази знань.

**Вступ.** Одним із сучасних шляхів розвитку науково-технічного прогресу є створення гнучких виробничих систем (ГВС), які реалізують безлюдні технології. Ці системи можна віднести до розряду складних технічних систем, що мають складну розгалужену структуру з розвиненими функціями і взаємозв'язками між підсистемами. На відміну від прийнятих методів проектування порівняно простих технічних систем при розробці ГВС виникають проблеми, які в меншій мірі пов'язані з розглядом властивостей і законів їх функціонування, а в більшій – з вибором найкращої структури, оптимальної організації взаємодії підсистем, визначенням необхідних режимів функціонування системи в цілому [1].

Складність проектування ГВС характеризується проблематичністю визначення очікуваних властивостей і показників ефективності системи в цілому по характеристиках її елементів, що пов'язано з неможливістю зведення властивостей системи до суми властивостей її підсистем. У зв'язку з цим, при розробці ГВС пропонується застосування композиційних методів системного проектування [2], які, в значній мірі, дозволяють вирішити ці проблеми.

Для практичної реалізації методів композиційного проектування повинен бути вирішений ряд задач [3], серед яких найбільш вагоме місце займає задача створення автоматизованих методів композиції, що забезпечують направлене формування оптимальної в заданому розумінні просторово-структурної організації ГВС на основі існуючої бази знань.

**Аналіз попередніх досліджень.** Вирішення задачі оптимальної композиції в загальному випадку передбачає вибір найкращого в заданому сенсі рішення з врахуванням основних технологічних, організаційних та структурних показників розроблюваної ГВС. Відомі методи прийняття рішень при багатьох критеріях засновані на відображенні простору можливих рішень (дій) в простір результатів (наслідків), який описується прийнятною сукупністю критеріїв. Розрізняються задачі прийняття рішень в умовах визначеності, коли кожній альтернативі відповідає відомий результат, і ймовірнісний випадок, коли результат в просторі результатів відомий тільки в ймовірнісному сенсі [4].

При вирішенні задачі оптимальної композиції в  $n$ -мірному критеріальному просторі вказані вище умови не задовольняються, так як апріорно

не відома як множина можливих альтернативних рішень, так і відповідний простір результатів [5]. Тому, з'являється необхідність в попередньому вирішенні задачі направлено пошуку конкурентоспроможних варіантів структурної організації ГВС і відповідної області в просторі результатів. Для цього на першому етапі послідовно вирішуються задачі оптимальної композиції розроблюваної системи по кожному критеріальному показнику окремо і на їх основі здійснюється побудова області результатів в прийнятому  $n$ -мірному критеріальному просторі, а на наступних етапах реалізується процес структурно-параметричної оптимальної самоорганізації конкурентоспроможних варіантів розроблюваної системи до моменту задоволення заданих обмежень на показники ефективності системи і вибір найкращого рішення.

**Мета роботи.** Розробка автоматизованих методів композиції оптимальних в заданому розумінні варіантів просторової організації проектованої ГВС.

**Матеріал і результати дослідження.** Для виявлення конкурентоспроможних варіантів розроблюваної ГВС необхідно визначати границі відповідної області ефективних рішень (ОЕР) в критеріальному просторі результатів. Під ефективним рішенням в даному випадку розуміється рішення, при якому числові значення критеріальних показників синтезованого варіанту структурної організації проектованої ГВС не виходять за межі метричного простору, обмеженого відповідними показниками найкращих (оптимальних) варіантів по кожному із критеріїв, що враховуються.

Таким чином, вирішення задачі оптимальної композиції просторово-структурної організації ГВС по своїй суті відповідає етапу евристичного пошуку проектувальником деякої множини варіантів розроблюваної системи, які потім підлягають проектній проробці і зіставній оцінці. Однак в даному випадку вибір таких варіантів здійснюється автоматизованими методами серед всього різноманіття можливих структурних організацій створюваної системи при наявній базі гнучких виробничих модулів (ГВМ). Це дозволяє гарантувати, що всі можливі раціональні рішення містяться у виділеній підмножині ефективних рішень і дійсно оптимальний варіант входить в цю підмножину.

Якщо відомий характер залежності критеріальних показників розглядуваної ГВС від відповідних критеріальних показників її ГВМ, то можливе пряме вирішення задачі композиції конкурентоздатних варіантів цієї системи з використанням нормованого узагальненого показника її ефективності. В такому випадку можна було б уникнути послідовного перебору можливих варіантів структур проектованої ГВС, здійснюючи направлену композицію конкурентоспроможних варіантів цієї системи з врахуванням всієї множини прийнятих критеріальних умов. Однак, для цього необхідно знати числові значення критеріальних показників варіантів проектованої системи, оптимальних по кожному з визначених критеріїв, для отримання яких необхідно вирішити задачу оптимальної композиції проектованої ГВС по кожному критерію окремо без врахува-

ння обмежень, які накладаються на інші критеріальні показники, що відповідає направленому пошуку безумовних екстремумів деяких функціоналів, які послідовно розглядаються як цільові.

Таким чином, у випадку ГВС характер залежності критеріальних показників всієї системи від відповідних критеріальних показників її ГВМ хоч і відомий, але не дає можливості знаходження якогось одного узагальненого показника ефективності, по якому можна було б здійснити направлену композицію такого варіанту системи, який би входив до ОЕР по кожному з критеріальних показників. Тому, окрім вирішення задачі оптимальної композиції проектованої ГВС по кожному критерію, необхідно виконати композицію отриманих структур в одну, з метою отримання результату який би входив до ОЕР всіх відповідних критеріальних показників. Тобто, якщо сформована бібліотека гнучких виробничих модулів  $GM = \{gm_i\}, i [1, N]$ , яка охоплює всі модулі, які практично можуть бути використані при розробці просторово-структурної організації ГВС, то з'являється можливість, застосувавши автоматизовані методи оптимальної композиції, спроектувати цю систему як цілісний технічний комплекс.

Попередньо розглянемо задачу формування оптимальної структурної композиції  $g_{OTC}^{opt}$  по кожному з критеріальних показників.

Як уже відмічалось [6], задача формування оптимальної структурної композиції  $g_{OTC}^{opt}$  може бути вирішена топологічними методами об'єднання вершин маршрутних графів  $G(z_i(p_i))$  виготовлення відповідних об'єктів виробництва (ОВ)  $(z_i(p_i) = \langle z_{12}^i, z_{23}^i, z_{34}^i, \dots, z_{(d-1)d}^i \rangle$  – кортеж зв'язків маршруту руху  $i$ -го ОВ на множині  $GM$  в рамках технологічного процесу його виготовлення:  $i$ - прямих зв'язок,  $j$  – зворотній зв'язок), значення зв'язків елементів  $gm_i \in GM$  яких вказують на доцільність вступу цих елементів у взаємодію. Формалізоване відображення сформованої таким чином оптимальної структурної композиції  $g_{OTC}^{opt}$  представляє собою дерево (або послідовність), дуги якого відповідають вибраній комбінації елементів  $gm_i \in GM$ .

Для вирішення поставленої задачі доцільно використовувати достатньо ефективні потокові алгоритми, що базуються на процедурах розподілу потоків продукту від витоків до стоків заданої мережі оптимальним в необхідному сенсі чином. Однак в даному випадку мережа не задана, а повинна бути сформована в результаті виконання операцій оптимальної композиції, тому можливий підхід до вирішення даної задачі в значній мірі залежить від характеру потоків необхідного кінцевого продукту і характеру “цінових” залежностей елементів сформованого потоку.

Розглянемо матеріальні потоки між модулями ГВС. У нашому випадку дані потоки є однорідними потоками ОВ без втрат, а також в потоці може бути тільки один споживач кінцевого продукту, оскільки в результаті має бути сформована послідовність, а не дерево модулів. Отже, стоком є модуль який стоїть останнім в послідовності, а витоком – перший, хоча ОВ можуть входити до системи не тільки через перший модуль, і виходити не тільки через останній. Щоб знайти перший і останній модуль

лі послідовності необхідно знайти модулі, через які, відповідно, входить і виходить найбільше ОВ. Оптимальна композиція системи здійснюється з точки зору користі певного модуля на даній позиції в послідовності, що синтезується. Тобто, для кожного модуля існує певне значення оцінки, яке в залежності від критеріального показника, по якому здійснюється композиція, може обчислюватись як перед початком проектування, так і перед початком нової ітерації. Другий випадок зумовлений залежністю оцінки модуля від уже сформованої на попередніх ітераціях частини системи.

Для вирішення означеної вище задачі може бути використаний ітераційний метод синтезу оптимального маршруту з послідовними викликом із бібліотеки моделей ГВМ (математичних описів елементів  $gm_i \in GM$ ), обчисленням оцінки їх користі на  $i$ -й позиції, і прийняттям рішення відносно використання даного модуля на даній позиції.

Процес композиції графового відображення структури  $g_{OTC}^{opt}$  доцільно починати від споживача кінцевого продукту (тобто, останнього модуля в послідовності), оскільки він знаходиться на початку процесу композиції.

Побудова оптимального структурної композиції  $g_{OTC}^{opt}$  досягається в результаті виконання наступних операцій.

**Крок 0.** Із бібліотеки ГВМ запитується опис модулів  $gm_i \in GM$ ; здійснюється пошук модуля, в якого кількість вхідних потоків  $V_i^{ex}$  початкового продукту є найбільшою. Даний модуль приймається як початковий.

**Крок 01.** Із бібліотеки ГВМ запитується опис модулів  $gm_i \in GM$ ; здійснюється пошук модуля, в якого кількість вихідних потоків  $V_j^{su}$  кінцевого продукту є найбільшою. Даний модуль приймається як кінцевий в структурній композиції, що формується.

**Крок 1.** Із бібліотеки ГВМ запитується опис модулів  $gm_i \in GM$ , які ще не беруть участі в сформованому комплексі. Обчислюються оцінювані показники вартості  $Kp^e(gm_i)$  елементів  $gm_i \in GM$ . Визначається  $\min \{Kp_{ij}^e\}$ ,  $j \in J_{gm_i}$ ,  $i \in I_{gm_i}$ , і на це значення зменшуються значення критеріальних показників вартості  $Kp^e(gm_i)$  всіх модулів, які були одержані на початку кроку.

Виконується перехід до кроку 2.

**Крок 2.** Модуль, в якого показник вартості  $Kp^e(gm_i)$  прийняв нульове значення вноситься до структури, що проектується.

Якщо після цього, всі модулі беруть участь в сформованій структурі, то задачу оптимальної композиції вирішено. Якщо ця умова не виконується, то здійснюється перехід до кроку 1, який виконується для наступної позиції у послідовності що формується.

В результаті виконання викладених операцій здійснюється композиція ланцюга  $L_{OTC_j}^{opt}$  між заданим витокком і стоком, в якого сума показників вартості  $\{Kp_{ij}^e\}$  мінімальна.

Як вже відмічалось, композиція конкурентоспроможних варіантів  $G_{OTC}^k$  проектованого комплексу дозволяє достатньо обґрунтовано виключити із подальшого розгляду велику кількість можливих варіантів структури цього комплексу, в яких показники якості не задовольняють

прийнятим умовам конкурентоздатності. Тому, на наступних етапах композиційного проектування повинна здійснюватись оптимальна реконструкція сформованих конкурентоспроможних композицій  $G_{OTC}^K$  з метою знаходження узагальненого варіанту, який був би відносно оптимальний по всіх заданих критеріальних показниках, і входив до визначених областей їх ефективних рішень.

Нехай в результаті попередньої композиції конкурентоспроможних варіантів було отримано  $m$  варіантів організаційно-технологічної структури, кожен з яких є оптимальний по одному з критеріїв  $Kp_{OTC_i}^{opt}$ . Необхідно на основі цих даних, отримати єдину структуру, яка одночасно була б оптимальною по всіх критеріях, тобто значення по кожному критерію входили б до, знайденої раніше, області ефективних рішень.

Дана задача, на перший погляд може вирішуватись пошуком усередненої структури, яка знаходиться шляхом визначення середнього арифметичного позиції кожного модуля у сформованих структурах. Але дані значення можуть співпадати для декількох ГВМ. Також при вирішенні поставленої задачі не можна не враховувати матеріальні потоки між модулями, тобто потоки ОВ. Вони можуть існувати не тільки між сусідніми модулями, а й між будь-якими двома модулями. Тому необхідно брати до уваги взаємне положення модулів в межах системи в цілому.

Алгоритм вирішення даної задачі складається з наступних кроків.

**Крок 1.** Виділити набір взаємних положень модулів, спільний для всіх синтезованих структур. Це здійснюється шляхом запису всіх комбінацій зв'язків і пошуком двох і більше однакових. Більш пріоритетними є ті, які зустрічаються частіше.

Здійснити перехід до кроку 2.

**Крок 2.** Згенерувати всі можливі варіанти структури, враховуючи взаємні положення модулів, які було отримано на першому кроці. В гіршому випадку кількість сформованих структур буде  $n!$ , в кращому – 1.

**Крок 3.** Обчислити чисельні значення кожного з критеріїв і визначити оптимальний варіант. Варіантів може бути декілька, у випадку, якщо не можливо визначити який з них кращий, необхідно вибрати один основний критерій, наприклад, економічної ефективності.

В результаті виконання вказаного підходу, отримується синтезована оптимальна організаційно-технологічна структура ГВС, яка задовольняє встановленим обмеження на її технологічні, організаційні та структурні критеріальні показники.

Даний алгоритм може бути модернізований в залежності від критеріїв оптимальності, які беруться до уваги.

**Висновки.** Наведені вище методи композиції, забезпечують направлене формування оптимальної в заданому розумінні просторово-структурної організації ГВС на основі існуючої бази знань, яка відображає ознаки енергетичної, матеріальної, інформаційної, просторової і параметричної сумісності цих функціональних операцій, а також характе-

ристики, що відповідають прийнятим показникам ефективності їх технічної реалізації.

Результатом запропонованих методів є побудована просторово-структурна модель проєктованої ГВС, яка відображає склад підсистем, їх розміщення в просторі, числові значення параметрів підсистем, а також інформаційні, матеріальні і енергетичні зв'язки між підсистемами, які відповідають прийнятим умовам оптимальності ГВС при дотриманні обмежень на її фізико-технологічні та економічні показники.

### Література

1. Ткач М.М. Основні концепції методології структурного системного аналізу і проєктування ГВС // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Адаптивні системи автоматичного управління”. - Дніпропетровськ: ДНВП Системні технології, 2003. – Вип. 6(26). - С.90-93.
2. Лазарев И.А. Композиционное проектирование сложных агрегативных систем. – М.: Радио и связь, 1986. – 312с.
3. Ткач М.М. Реалізація процесу прийняття рішень при виборі організаційно-технологічних структур ГВС // Автомобільний транспорт. – Жарків: ХНАДУ, 2009. – Вип. 25. – С.270-273.
4. Ивахненко А.Г. Принятие решений на основе самоорганизации. – М.: Сов. Радио, 1984. – 280с.
5. Кани Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1981. – 560с.
6. Ткач М.М., Костюк В.І., Красничук А.В. Оптимізація організаційно-технологічних структур ГВС // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Адаптивні системи автоматичного управління”. - Дніпропетровськ: ДНВП Системні технології, 2010. – Вип. 16(36). - С.122-129.

Отримано 11.12.2010 р.