

## ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ З ДИНАМІЧНОЮ СТРУКТУРОЮ

Features of construction of complex technical systems with a dynamic structure are determined. Decomposition of the structure of the system and the procedure for moving the elements of the system are considered. Approach to the synthesis of the structure of the system with a dynamic structure is proposed.

**Key words:** dynamic structure, features of construction, complex technical system.

**Вступ.** Під час вирішення завдань синтезу складних технічних систем широко використовуються методи дискретної оптимізації [1-3]. Разом з тим, часто виникає необхідність створення складних технічних систем адаптивного характеру, для досягнення необхідного рівня ефективності в умовах зміни просторово-часового розподілу об'єктів впливу (зовнішніх об'єктів, на які впливає система). При цьому, закономірностям зазначеного розподілу, як правило, характерна досить висока ступінь невизначеності. Нескладно дійти висновку, що в даному випадку найбільш перспективним є створення систем з динамічною структурою.

**Постановка проблеми.** Системам з динамічною структурою притаманна необхідність урахування постійної зміни розподілу об'єктів впливу, а також власне динамічність структури системи. У зв'язку з цим, виникає необхідність визначення особливостей побудови такого роду систем.

**Аналіз публікацій.** У роботах [4-7], для синтезу структури складних технічних систем (надалі - систем) використовуються серії градієнтних алгоритмів на матроїдних структурах. Облік апріорної інформації щодо характеру цільової функції системи і часткове упорядкування за окремими показниками множини припустимих рішень дозволяють значно зменшити необхідну кількість обчислень і забезпечують визначення оптимальної структури системи протягом заданого часу. При цьому, незважаючи на приблизний характер оптимізаційних алгоритмів, для класу порядкової-опуклих цільових функцій знаходиться точне рішення. Разом з тим, використання даного підходу до систем з динамічною структурою наштовхується на ряд труднощів, пов'язаних з необхідністю синтезу певної послідовності оптимальних в просторово-часовому відношенні структур з додатковим критерієм мінімізації витрат на їх трансформацію.

**Метою статті** є визначення особливостей побудови складних технічних систем з динамічною структурою, а також відповідного використання методів дискретної оптимізації для синтезу такого роду систем.

**Основна частина.** Відповідно до [5], структура системи може бути представлена у вигляді простору параметрів  $A = \langle V, D, F \rangle$ , де  $V$  - множина абстрактних елементів системи,  $D$  - множина абстрактних зв'язків між елементами,  $F$  - множина функцій абстрактних елементів і зв'язків. Тоді параметр  $\alpha$  буде характеризувати конкретний стан системи, причому  $\alpha = \langle v, d, f \rangle$ , де  $v \subseteq V, |v| \leq |V|, d \subseteq D, |d| \leq |D|, f \subseteq F, |f| \leq |F|$ . Аналогічно можливо формалізувати множину  $X$  показників зовнішніх факторів, що впливають на ефективність системи. Окремо виділяється множина об'єктів впливу системи  $R, R \subset X$ . Нехай  $W(\alpha, r)$  - цільова функція системи, де  $r \subseteq R$  - поточний варіант просторово-часового розподілу об'єктів впливу, тоді завдання синтезу оптимальної структури формулюється таким чином:

$$\alpha^* = \arg \max W(\alpha, r) \quad (1)$$

Як показали проведені дослідження, основні особливості вирішення задачі (1) для систем з динамічною структурою можуть полягати в наступному:

- побудова системи відповідно до розподілу об'єктів впливу;
- декомпозиція структури системи в просторово-часовому відношенні;
- спрямованість і багаторазовість процедури оптимізації;

використання проміжних результатів оптимізації безпосередньо в ході функціонування системи для визначення плану переміщення її елементів.

Розглянемо докладніше вищевказані особливості.

Позначимо доступний для створення системи час у рамках заданого періоду функціонування  $T$ , як  $t \in T$ . Виділимо його складові частини, а саме: до початку ( $t_0$ ) і в ході ( $t_x$ ) функціонування системи ( $t = t_0 + t_x, t > 0$ ).

Час, необхідний для створення даної структури позначимо через відповідне відображення  $h_t(\alpha), h_t(\alpha) > 0$ .

Найбільш цікавим співвідношенням необхідного і доступного часу буде:  $t_x < h_t(\alpha) \leq t$ , що викликає необхідність створення деякої частини системи завчасно.

Позначивши мінімально очікуваний  $r_{\min}$ , і прогнозований  $r_{pr}$  розподіл об'єктів впливу, відповідно до варіантів співвідношення  $t_x/t_0$ , проведемо декомпозицію структури системи для випадків  $r_{\min}, r_{pr} \setminus r_{\min}, r \setminus r_{pr}$ :

$$\alpha^{*\{r\}} = \alpha^{*\{r_{\min}\}} \cup \alpha^{*\{r_{pr} \setminus r_{\min}\}} \cup \alpha^{*\{r \setminus r_{pr}\}},$$

$$t_0 \rightarrow h_t \left( \alpha^{*\{r_{\min}\}} \cup \alpha^{*\{r_{pr} \setminus r_{\min}\}} \right), h_t \left( \alpha^{*\{r \setminus r_{pr}\}} \right) \rightarrow t_x. \quad (2)$$

Декомпозиція структури системи у відповідності з виразом (2) дасть можливість забезпечити мінімальні втрати ефективності порядку  $W \left( \alpha^{*\{r_{pr} \setminus r\}}, r \right)$ , при будь-якому просторово-часовому розподілі об'єктів впливу. Крім цього, проведемо декомпозицію структури системи в просторово-часовому відношенні, для чого пропонується ввести решітку сегментів простору  $(E, <)$  і ланцюг інтервалів часу  $T, T = \{\tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_n < \dots < \tau_{|T|-1}\}$ , тоді для класу порядкової-опуклих цільових функцій задача (1) запишеться у вигляді:  $\alpha^* = \alpha(T)^* = \arg \max \sum_T \sum_E W \left( \alpha_{E_i}(\tau_n), r_{E_j}(\tau_n) \right)$ .

Для вибору оптимального варіанту кожного із зазначених вище елементів структури системи пропонується використовувати метод поетапного збільшення бази перестановочного багатогранника, аналог якого описаний в роботі [7]. Сутність даного методу полягає в отриманні послідовності оптимальних рішень задачі (1) шляхом збільшення на кожному етапі потужності бази  $\varepsilon$  перестановочного багатогранника до моменту виходу за раніше встановлені обмеження. Особливостями застосування даного методу для випадку систем з динамічною структурою полягає в тому, що спочатку проводиться пошук оптимальної структури для отриманих в результаті декомпозиції елементів системи. У результаті виходить множина оптимальних структур  $A_{(\varepsilon)}^* \subset A$ , а для кожного  $\alpha_{(\varepsilon)}^* \in A_{(\varepsilon)}^*$  – множини «попередніх»  $A_{(\varepsilon)}^{\pi^-}$  та «подальших»  $A_{(\varepsilon)}^{\pi^+}$  структур, отримані на відповідних кроках градієнтного алгоритму ( $A_{(\varepsilon)}^{\pi^+}, A_{(\varepsilon)}^{\pi^-} \subset A$ ).

Отримана множина  $A_{(\varepsilon)} = A_{(\varepsilon)}^* \cup A_{(\varepsilon)}^{\pi^+} \cup A_{(\varepsilon)}^{\pi^-}$  оптимальних і субоптимальних структур системи використовується як область припустимих рішень для повторного використання зазначеного вище методу з метою одержання оптимальної структури системи в цілому. Крім цього, множину  $A_{(\varepsilon)}$  може бути використано для пошуку оптимального плану  $O^\alpha$  переміщення елементів структури системи в ході її функціонування. З цією метою проводиться упорядкування елементів  $A_{(\varepsilon)}$  з використанням метрики  $l$  і визначеного раніше показника ефективності  $W$ , що призводить до

отримання оптимального плану  $O_A^{\alpha_0}$  для  $\forall \alpha_0 \in A_{(\varepsilon)}$  на решітці  $(A_{(\varepsilon)}, \prec, l, W)$ .

Для випадку  $\alpha \notin A_{(\varepsilon)}$  використовується принцип найшвидшого входження в  $A_{(\varepsilon)}$ :  $O^\alpha = \left[ \alpha, O_A^{\alpha_0} \right]: \min l(\alpha, \alpha_0), \alpha_0 \in A_{(\varepsilon)}$ .

Таким чином, до початку функціонування системи пропонується проводити формування множини оптимальних (субоптимальних) структур системи в сегментах простору та визначення оптимальної структури системи в цілому за допомогою методу збільшення бази перестановочного багатогранника. У ході функціонування системи здійснюється переміщення її елементів з урахуванням параметрів просторово-часового розподілу об'єктів впливу для забезпечення відповідності системи прийнятим критеріям.

**Висновки** Запропонований порядок використання методів дискретної оптимізації, з урахуванням особливостей побудови систем з динамічною структурою, дозволить успішно вирішувати завдання (1) в умовах невизначеності розподілу об'єктів впливу. При цьому досягається значне зниження необхідних обчислювальних ресурсів, особливо в ході функціонування системи. Застосування запропонованого підходу до синтезу систем з динамічною структурою дозволить обґрунтувати рекомендації щодо створення як окремих елементів, так і системи в цілому.

1. Баранов Г. Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г. Л. Баранов, А. В. Макаров. – К.: Наукова думка, 1986. – 272 с.
2. Большие технические системы: проектирование и управление / Л. М. Артюшин, Ю. К. Зиатдинов, И. А. Попов, А. В. Харченко / Под ред. И. А. Попова. – Харьков: Факт, 1997. – 284 с.
3. Ковалев М. М. Дискретная оптимизация (целочисленное программирование) / М. М. Ковалев. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 192 с.
4. Ковалев М. М. Матроиды в дискретной оптимизации / М. М. Ковалев. - Минск : Изд-во «Университетское», 1987. - 222 с.
5. Кравченко Ю. В. Методология многокритериальной дискретной оптимизации сложных технических систем на матроидных структурах / Ю. В. Кравченко, В. В. Афанасьев // Збірник наукових праць ПІМ в Е ім. Г. Є. Пухова. – Вип. 22 – 1. – К.: ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова – 2003. – С. 73 – 78.
6. Емеличев В. А. Многогранники, графы, оптимизация (комбинаторная теория многогранников)/ В. А. Емеличев, М. М. Ковалев, М. А. Кравцов. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 344 с.
7. Кравченко Ю. В. Применение метода последовательного увеличения ранга k-однородного матроида в задаче синтеза структуры псевдоспутниковой радионавигационной системы / Ю. В. Кравченко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К.: 2008. – №2(2). – С. 19 – 22.

*Поступила 2.10.2013р.*