УДК 004.421.2:519.17

Р.А. Миколайчук

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ

МЕТОД ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ З ДИНАМІЧНОЮ СТРУКТУРОЮ

Розроблено метод переміщення елементів складної технічної системи з динамічною структурою. Зазначений метод дозволяє проводити переміщення елементів системи в ході її функціонування для забезпечується дотримання максимально значення цільової функції.

Ключові слова: *динамічна структура, переміщення елементів, складна технічна система.*

Вступ

Постановка проблеми. Сучасний стан розвитку інформаційних технологій призводить до виникнення необхідності створення складних технічних систем, які повинні забезпечити досягнення необхідного рівня ефективності в умовах зміни просторово-часового розподілу об'єктів впливу (зовнішніх об'єктів, на які впливає система) з високим рівнем невизначеності [1, 2].

В даному випадку найбільш перспективним є використання систем з динамічною структурою, тобто таких систем, структура яких змінюється в залежності від просторово-часового розподілу об'єктів впливу.

Особливостями побудови системи з динамічною структурою є необхідність урахування постійної зміни розподілу об'єктів впливу, а також власне динамічність структури системи.

У зв'язку з цим, виникає необхідність визначення методу оптимального переміщення елементів структури в ході функціонування системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до [3], структуру системи можливо подати 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 α характеризуватиме конкретний стан системи, причому

$$\alpha = \langle v, d, f \rangle,$$

де $v \subseteq V$, $|v| \le |V|$, $d \subseteq D$, $|d| \le |D|$, $f \subseteq F$, $|f| \le |F|$.

Аналогічним чином можливо формалізувати множину X показників зовнішніх факторів, які впливають на ефективність системи.

Окремо позначимо множину об'єктів впливу системи $R, R \subset X$.

Запропонований в роботі [4] підхід до побудови складних технічних систем дозволяє вирішувати завдання синтезу оптимальної структури α^* системи на множині припустимих рішень A для випадку опуклості цільової функції $W(\alpha, r)$, де $r \subseteq R$ – просторово-часовий розподіл об'єктів впливу:

$$\alpha^* = \max_{\forall \alpha \in A} W(\alpha, r). \quad (1)$$

При вирішенні задачі (1) для систем з динамічною структурою відповідно до [5] запропоновано використовувати метод послідовного збільшення бази перестановочного багатогранника, аналог якого описано в роботі [6]. В результаті застосування даного методу отримується множина оптимальних структур $A^*_{(\varepsilon)} \subset A$, що відрізняються потужністю бази ε пов'язаного з ними перестановочного багатогранника, окрім того для кожного елемента $\alpha^*_{(\varepsilon)} \in A^*_{(\varepsilon)}$ множина структур «попередників» $\left\{\pi^-\left(\alpha^*_{(\varepsilon)}\right)\right\}$ та «наступників» $\left\{\pi^+\left(\alpha^*_{(\varepsilon)}\right)\right\}$, отримані на відповідних кроках градієнтного алгоритму, які позначимо відповідно $A^{\pi^-}_{(\varepsilon)}$ та $A^{\pi^+}_{(\varepsilon)}$, причому

$$A^{\pi^+}_{(\varepsilon)}, A^{\pi^-}_{(\varepsilon)} \subset A.$$

Враховуючи той факт, що під час проведення оптимізації для усіх елементів множини $A^*_{(\varepsilon)}$ отримані значення цільової функції, можливо задати відповідне бінарне відношення $\prec_W$, в результаті чого отримаємо ланцюг

$$\left[A^*_{(\varepsilon)}, \prec_W\right] = \left[\alpha^*_{(\varepsilon_0)}, \alpha^*_{(\varepsilon_1)}, \ldots, \alpha^*_{(\varepsilon_i)}, \ldots, \alpha^*_{(\varepsilon_N)}\right],$$

де $i = \overline{|\varepsilon_0|, |\varepsilon_N|}$ – потужність бази відповідної структури, $N = \left|A^*_{(\varepsilon)}\right| - 1$ – максимальна потужність бази перестановочного багатогранника отримана в ході розрахунків), що визначає оптимальну фазову траєкторію системи у фазовому просторі Z: $z^*(\alpha, t) \in Z$.

Разом з тим, відповідно до [3], в ході функціонування системи відбуватиметься вихід з ладу її окремих елементів, їх відновлення з резерву, а також нарощування структури, відповідно до поточного значення показників X, зокрема просторово-часового розподілу елементів R. Тому поточна фазова точка системи може не лежати на оптимальній траєкторії.

Це викликає потребу до корегування поточної фазової траєкторії системи $z(\alpha,t)$ за умовою $z^*(\alpha,t)-z(\alpha,t)\to\min$, що в свою чергу призводить до необхідності визначення процесів переміщення елементів між резервом та різними частинами структури системи із урахуванням обмежень щодо наявності та працездатності.

Постановка завдання. Метою статті є розробка методу переміщення елементів системи з динамічною структурою під час її функціонування.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо певний інтервал функціонування системи $T=[0,\tau]$. Відповідно визначимо підмножини $\nu_t \subset V, d_t \subset D, f_t \subset F, t\in T$ параметрів структури системи $z(\alpha,t)$ на певний момент t функціонування системи в межах визначеного інтервалу.

Враховуючи особливості побудови системи з динамічною структурою, відмічені у [5], наявність елементів множин d_t, f_t однозначно визначається множиною ν_t, тому можливо записати $z(\alpha,t)\cong q(\nu_t)$, де q – деяке відображення.

Тоді, позначивши нижче наведені підмножини V: $V^{\min}$ – мінімально припустиму, V^* – оптимальну $\left(\alpha^*=q\left(V^*\right)\right)$, V^{rez} – резервних елементів та $\overline{V}$ – виведених з ладу елементів, отримаємо наведене на рис. 1 зображення процесу переміщення елементів системи з динамічною структурою.

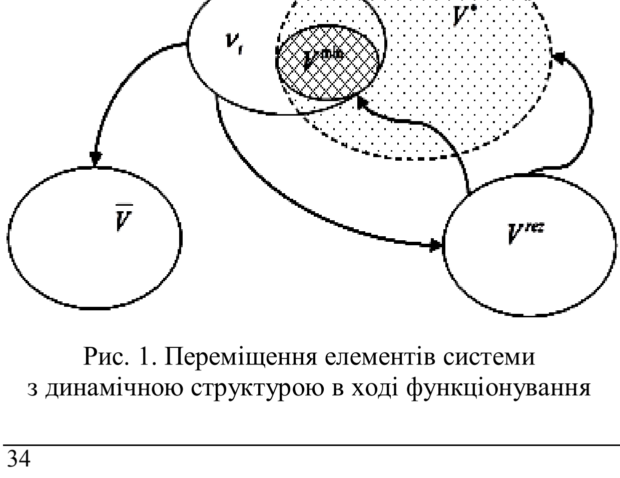

Рис. 1. Переміщення елементів системи з динамічною структурою в ході функціонування

Відповідно до рис. 1, в ході функціонування системи елементам її структури може бути таке:

притаманне переміщення внаслідок виходу з ладу $\nu_t \to \overline{V}$,

виведення в резерв $\nu_t \setminus V^{\max} \to V^{rez}$,

відновлення $V^{rez} \to V^{\min} \setminus \nu_t$,

нарощування $V^{rez} \to V^* \setminus \nu_t$ [3],

причому внаслідок випадковості виходу елементів з ладу процес переміщення є недетермінованим.

Окремо слід відзначити необхідність дотримання в ході функціонування системи умови $V^{\min} \setminus \nu_t = \varnothing$, тобто домінування процесу відновлення.

Позначимо поточний план переміщення елементів системи як сукупність відображень

$$O_t^\alpha = O_t^\alpha\left(\nu_t, V_t^{rez}, \Delta t\right) = \left(\nu_t \to \nu_{t+\Delta t}, V_t^{rez} \to V_{t+\Delta t}^{rez}\right),$$

де Δt – час, необхідний для переміщення елементів.

Тоді задачу переміщення елементів в ході функціонування системи з динамічною структурою можливо сформулювати таким чином:

$$O^{\alpha*} = \left[O_0^\alpha, O_{\Delta t}^\alpha, ..., O_{\tau-\Delta t}^\alpha\right] : \max \sum_T W_t(\alpha, r)\cdot\Delta t,$$

або відповідно до описаного у [7] принципу оптимальності Беллмана:

$$O^{\alpha*} = \left[O_0^\alpha, O_{\Delta t}^\alpha, ..., O_{\tau-\Delta t}^\alpha\right] :$$

$$\forall O_t^\alpha \in O^{\alpha*} \Rightarrow \max W_t(\alpha, r). \quad (2)$$

Особливість вирішення задачі (2) полягає у часовій зміні множин $\overline{V}$ та r, тобто необхідно врахувати вихід елементів системи з ладу та просторово-часовий розподіл об'єктів впливу. Зазначені чинники призводять до неможливості завчасного визначення елементів $O^{\alpha*}$, тобто визначають необхідність визначення $O_t^\alpha \in O^{\alpha*}$ безпосередньо в ході функціонування системи.

Значення цільової функції в ході функціонування системи для фазових траєкторій z^{O^α} (завчасне визначення $O^{\alpha*}$) та $z^{O_t^\alpha}$ (безпосереднє визначення O_t^α) у порівнянні з оптимальною траєкторією z^* наведено на рис. 2.

Відповідно до рис. 2, безпосереднє визначення поточного плану переміщення елементів системи забезпечує більш високі значення цільової функції за рахунок урахування поточного стану структури системи та відповідного корегування фазової траєкторії з метою її наближення до оптимальної.

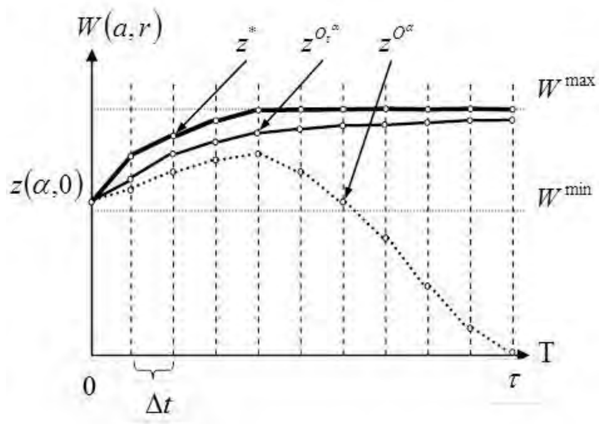

Рис. 2. Значення цільової функції в ході функціонування системи з динамічною структурою

Введемо відношення еквівалентності H на множині V, що забезпечує класифікацію елементів структури системи:

$$H : V \to V / H,$$

де V/H – відповідна фактормножина, елементами якої є класи еквівалентності відношення H.

Позначимо зазначені класи еквівалентності через $h_i, i \in \overline{1,|V/H|}$.

Припустимо, що фазова траєкторія системи визначатиметься кількістю елементів у кожному класі $n_i(V)$.

Нехай $n_i(V) = \left|\{v \in V : H(v) = h_i\}\right|$.

Тоді матиме місце співвідношення між фазовою траєкторією системи та елементами системи, класифікованими відповідно до H:

$$z(\alpha,t) \cong q(v_t) = \sum_i c_i \cdot n_i(v_t) \cdot h_i, \qquad (3)$$

де c – вектор коефіцієнтів важливості класів еквівалентності V/H, $c = f(r)$.

Зазначене у виразі (3) співвідношення дає можливість визначити метрику l між двома варіантами структури системи α_1, α_2:

$$\begin{aligned} l(\alpha_1,\alpha_2) &= q(v_1) - q(v_2) = \\ &= \sum_i \left(c_i \cdot n_i(v_1) \cdot h_i - c_i \cdot n_i(v_2) \cdot h_i\right). \end{aligned} \qquad (4)$$

Тоді, позначивши підмножину структур системи з обчисленими значеннями цільової функції для різних варіантів просторово-часового розподілу об'єктів впливу $W(r)$ як $A_{(\varepsilon)} = A^*_{(\varepsilon)} \cup A^{\pi^+}_{(\varepsilon)} \cup A^{\pi^-}_{(\varepsilon)}$, $A_{(\varepsilon)} \subset A$, отримаємо решітку $\left(A_{(\varepsilon)}, \prec l, W(r)\right)$. Враховуючи той факт, що множина $A_{(\varepsilon)}$ містить оптимальні та субоптимальні варіанти структури системи, які домінують над $A \setminus A_{(\varepsilon)}$, зазначена решітка визначає оптимальний план переміщення для $\forall \alpha \in A_{(\varepsilon)}$ відношенням

$$\forall \alpha_0 \in A_{(\varepsilon)} : \alpha_0 \prec \alpha^*_{(\varepsilon_N)} \Rightarrow$$

$$O_A^{\alpha_0} = \left[a_0, \ldots, \alpha^*_{(\varepsilon_N)}\right] : \alpha_i \prec\!\prec \alpha_{i+1},$$

де $\alpha_i \prec\!\prec \alpha_{i+1} \Rightarrow \neg\exists\beta : \alpha_i \prec \beta \cap \beta \prec \alpha_{i+1}$. Це дає змогу покласти в основу методу переміщення елементів системи з динамічною структурою під час її функціонування принцип найшвидшого приведення поточної структури до

$$\left(A_{(\varepsilon)}, \prec l, W(r)\right) : \forall z(\alpha,t) \middle| O^\alpha = \left[\alpha, O_A^{\alpha_0}\right] :$$

$$\min l(\alpha,\alpha_0), \alpha_0 \in A_{(\varepsilon)}.$$

З іншого боку, постає питання розподілу ресурсу V^{rez} протягом інтервалу функціонування системи T. Враховуючи стохастичний характер процесу функціонування системи та його протяжність у часі, нескладно прийти до висновку щодо необхідності рівномірного витрачання V^{rez}. Разом з тим, значення цільової функції системи $W(\alpha,r)$ залежатимуть від просторово-часового розподілу об'єктів впливу r. Нехай відображення $f_r = f_r(r,t)$ характеризує зміну розподілу r протягом T. Тоді впорядкувавши множину V^{rez} за допомогою виразу (3), можливо записати принцип відповідності швидкості витрачання резерву елементів системи швидкості зміни $\dot{q}\left(V^{rez}\right) \cong f_r$.

Слідування зазначеному принципу, який витікає з принципу відповідності структури значенням зовнішніх факторів [3], забезпечить раціональне використання ресурсу V^{rez}. Тоді можливо визначити максимально припустиму величину використання резерву на кожному кроці процедури переміщення елементів структури

$$\Delta V_t^{rez} = \dot{q}\left(V^{rez}\right)_t \cdot \Delta t.$$

Це, в свою чергу, забезпечує можливість визначення максимальної бази структури системи після поточного кроку процедури $\varepsilon_t^{\max} = |\alpha| + \left|\Delta V_t^{rez}\right|$, а також відповідного зменшення $A_{(\varepsilon)}$:

$$A_{(\varepsilon)t} = \left\{\alpha \in A_{(\varepsilon)} \middle| \varepsilon_t^{\max} \geq |\alpha|\right\}.$$

Виходячи з вищенаведеного, послідовність реалізації переміщення елементів системи з динамічною структурою під час її функціонування запишеться наступним чином:

1. Визначення вихідних даних: T, f_r, V^{rez}, Δt.

2. Проведення синтезу структури системи, визначення $A_{(\varepsilon)}$.

3. Початок циклу по T.

4. Визначення поточного стану системи $z(\alpha, t)$, ν_t.

5. Перевірка умови $V^{min} \setminus \nu_t = \varnothing$: так – перехід до п.7; ні – перехід до п.6.

6. Перевірка умови $V^{min} \setminus \nu_t \setminus V^{rez} = \varnothing$: так – $\alpha := \alpha \cap V^{min} \setminus \nu_t$, перехід до п.4; ні – завершення процедури через нестачу резервних елементів.

7. Визначення поточного вигляду $f_r, V^{rez}, \dot{q}\left(V^{rez}\right)_t$.

8. Визначення $\Delta V_t^{rez} = \dot{q}\left(V^{rez}\right)_t \cdot \Delta t$, $\varepsilon_t^{max} = |\alpha| + \left|\Delta V_t^{rez}\right|$, $A_{(\varepsilon)t} = \left\{\alpha \in A_{(\varepsilon)} \middle| \varepsilon_t^{max} \geq |\alpha|\right\}$.

9. Формування $\left(A_{(\varepsilon)t}, \prec l, W(r)\right)$.

10. Визначення плану переміщення $O_t^{\alpha} = \left[\alpha, O_A^{\alpha_0}\right] : \min l(\alpha, \alpha_0), \alpha_0 \in A_{(\varepsilon)}$.

11. Переміщення $\left(v_t \to v_{t+\Delta t}, V_t^{rez} \to V_{t+\Delta t}^{rez}\right)$.

12. Кінець циклу по T.

Висновки

Таким чином, наведений метод дає змогу здійснювати переміщення елементів системи з динамічною структурою в ході її функціонування з метою забезпечення вирішення задачі (1) із урахуванням зазначених обмежень та умов. При цьому забезпечується з одного боку дотримання максимально можливого значення цільової функції, а з іншого – недопущення зниження ефективності системи менше припустимого рівня.

Дослідження проведені з використанням відомих оптимізаційних методів, що дає змогу зробити висновок щодо достатнього ступеню наближення отриманого рішення до оптимального.

В ході подальших досліджень передбачається розробити методику побудови складних технічних систем з динамічною структурою на основі критерію функціональної стійкості [8].

Список літератури

1. Большие технические системы: проектирование и управление / Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиатдинов, И.А. Попов, А.В. Харченко; под ред. И.А. Попова. – Х.: Факт, 1997. – 284 с.

2. Барабаш О.В. Реалізація принципів координації в системі планування розподілу повітряного простору / О.В. Барабаш, Д.М. Обідін, Р.В. Хращевський // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 5 (103). – С. 2-6.

3. Миколайчук Р.А. Принципи побудови складних технічних систем з динамічною структурою / Р.А. Миколайчук // Збірник наукових праць ІПМ в Е ім. Г.Є. Пухова. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова, 2012. – Вип. 63. – С. 17-21.

4. Кравченко Ю.В. Методология многокритериальной дискретной оптимизации сложных технических систем на матроидных структурах / Ю.В. Кравченко, В.В. Афанасьев // Збірник наукових праць ІПМ в Е ім. Г.Є. Пухова. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова, 2003. – Вип. 22. – 1. – С. 73-78.

5. Кравченко Ю.В. Концептуальний підхід до синтезу складних технічних систем з динамічною структурою / Ю.В. Кравченко, Р.А. Миколайчук // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К.: 2012. – №2(14). – С. 31-36.

6. Неділько С.М. Метод поетапного зменшення потужності бази перестановочного багатогранника в дискретній оптимізації / С.М. Неділько, Ю.В. Кравченко, Р.А. Миколайчук // Моделювання та інформаційні технології. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова, 2012. – Вип. 64. – С. 41-51.

7. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – М.: КноРус, 2010. – 192 с.

8. Обідін Д.М. Ознаки та критерії функціональної стійкості інтелектуалізованої системи автоматичного управління польотом літака / Д.М. Обідін, О.В. Барабаш // Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал. – Х.: ХУПС, 2012. – № 1 (29). – С. 133-136.

Надійшла до редколегії 10.01.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Вишнівський, Державний університет телекомунікацій, Київ.

МЕТОД ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ С ДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Р.А. Миколайчук

Разработан метод перемещения элементов сложной технической системы с динамической структурой. Данный метод позволяет проводить перемещение элементов системы в ходе ее функционирования для достижения максимального значения целевой функции.

***Ключевые слова**: динамическая структура, перемещение элементов, сложная техническая система.*

THE METHOD OF THE ELEMENTS OF A SYSTEM WITH A DYNAMIC STRUCTURE MOVING

R.A. Mykolajchuk

The method of the elements of a complex engineering system with a dynamic structure moving has been developed. This method allows the movement of the elements of the system in the course of its operation to maximize the value of the objective function.

***Keywords:** dynamic structure, the movement of the elements, complex technical system.*