УДК 004.421.2:519.17

Р. А. Миколайчук, м.Київ

ПРОЦЕДУРА ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ З ДИНАМІЧНОЮ СТРУКТУРОЮ

.

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

Key words: dynamic structure, the movement of the elements, complex technical system.

Вступ. 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.

Постановка проблеми. 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 процедури оптимального переміщення елементів структури в ході функціонування системи.

Аналіз публікацій. Відповідно до [3], структуру системи можливо подати у вигляді простору параметрів $\mathrm{A} = \langle V, D, F \rangle$, 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 чи ном 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:

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

 © Р. А. Миколайчук

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 $\mathrm{A}^*_{(\varepsilon)} \subset \mathrm{A}$ що відрізняються потужністю бази ε пов'язаного з ними перестановочного багатогранника, окрім того для кожного елемента $\alpha^*_{(\varepsilon)} \in \mathrm{A}^*_{(\varepsilon)}$ 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 $A^{\pi^+}_{(\varepsilon)}$, ($A^{\pi^+}_{(\varepsilon)}, A^{\pi^-}_{(\varepsilon)} \subset \mathrm{A}$). Враховуючи той факт, що під час проведення оптимізації для усіх елементів множини $\mathrm{A}^*_{(\varepsilon)}$ отримані значення цільової функції, можливо задати відповідне бінарне відношення $\prec_W$, в результаті чого отримаємо ланцюг $\left\lfloor \mathrm{A}^*_{(\varepsilon)}, \prec_W \right\rfloor = \left\lfloor \alpha^*_{(\varepsilon_0)}, \alpha^*_{(\varepsilon_1)}, ..., \alpha^*_{(\varepsilon_i)}, ..., \alpha^*_{(\varepsilon_N)} \right\rfloor$ ($i = \overline{|\varepsilon_0|, |\varepsilon_N|}$ – потужність бази відповідної структури, $N = \left|\mathrm{A}^*_{(\varepsilon)}\right| - 1$ – 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.

Метою статті є розробка процедури переміщення елементів системи з динамічною структурою під час її функціонування.

Основна частина. Розглянемо певний інтервал функціонування системи $\mathrm{T} = [0, \tau]$. Відповідно визначимо підмножини $v_t \subset V, d_t \subset D, f_t \subset F, t \in \mathrm{T}$ 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 v_t, тому можливо записати $z(\alpha,t)\cong q(v_t)$, 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 рисунку 1 зображення процесу переміщення елементів системи з динамічною структурою.

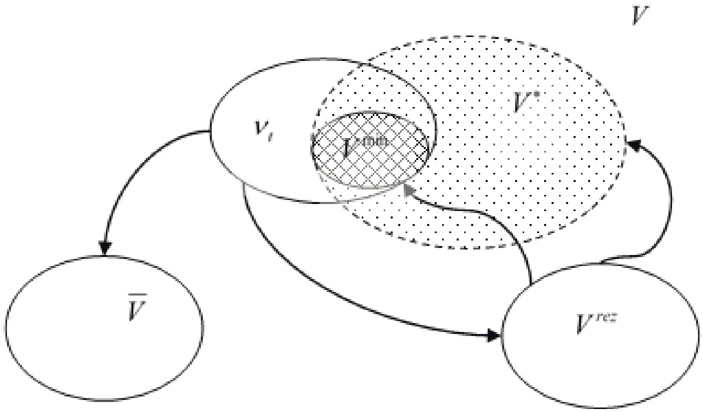

Рис. 1 – Переміщення елементів системи з динамічною структурою в ході функціонування.

Відповідно до рис.1, в ході функціонування системи елементам її структури може бути притаманне переміщення внаслідок виходу з ладу $v_t \to \overline{V}$, виведення в резерв $v_t \setminus V^{\max} \to V^{rez}$, відновлення $V^{rez} \to V^{\min} \setminus v_t$ та нарощування $V^{rez} \to V^* \setminus v_t$ [3], при чому внаслідок випадковості виходу елементів з ладу процес переміщення є недетермінованим. Окремо слід відзначити необхідність дотримання в ході функціонування системи умови $V^{\min} \setminus v_t = \varnothing$, тобто домінування процесу відновлення.

Позначимо поточний план переміщення елементів системи як сукупність відображень $O_t^{\alpha} = O_t^{\alpha}\left(v_t, V_t^{rez}, \Delta t\right) = \left(v_t \to v_{t+\Delta t}, V_t^{rez} \to V_{t+\Delta t}^{rez}\right)$, де Δt - час необхідний для переміщення елементів. Тоді задачу переміщення елементів в ході функціонування системи з динамічною структурою можливо сформулювати наступним чином: $O^{\alpha^*} = \left[O_0^{\alpha}, O_{\Delta t}^{\alpha}, ..., O_{\tau-\Delta t}^{\alpha}\right]$: $\max \sum\limits_{\mathrm{T}} W_t(\alpha, r)\cdot \Delta t$, або відповідно до описаного у [7] принципу оптимальності Беллмана:

$$O^{\alpha^*} = \left[O_0^{\alpha}, O_{\Delta t}^{\alpha}, ..., O_{\tau-\Delta t}^{\alpha}\right]: \forall O_t^{\alpha} \in O^{\alpha^*} \Rightarrow \max W_t(\alpha, r). \qquad (2)$$

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^{α^*}, 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 $z^{O^{\alpha}}$ (завчасне визначення O^{α^*}) та $z^{O_t^{\alpha}}$ (безпосереднє визначення O_t^{α}) у порівнянні з оптимальною траєкторією z^* наведено на рисунку 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.

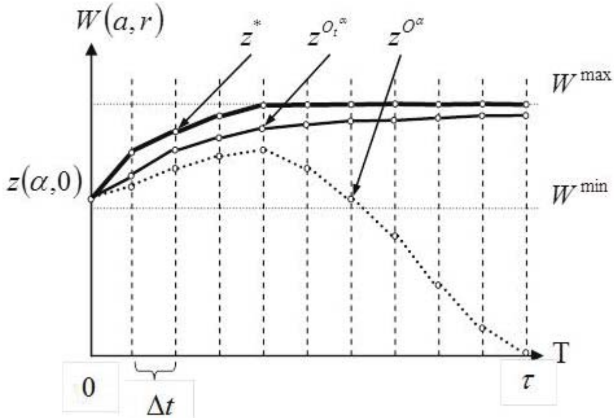

Рис.2 – Значення цільової функції в ході функціонування системи з динамічною структурою.

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, які позначимо через $h_i, i \in \overline{1, |V/H|}$. Нехай $n_i(V) = |\{v \in V : H(v) = h_i\}|$. Тоді матиме місце співвідношення:

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

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 :

$$l(\alpha_1, \alpha_2) = q(v_1) - q(v_2) = \sum_i (c_i \cdot n_i(v_1) \cdot h_i - c_i \cdot n_i(v_2) \cdot h_i). \qquad (4)$$

Тоді, позначивши підмножину структур системи з обчисленими значеннями цільової функції для різних варіантів просторово-часового розподілу об'єктів впливу $W(r)$, як $\mathrm{A}_{(\varepsilon)} = \mathrm{A}^*_{(\varepsilon)} \cup A^{\pi^+}_{(\varepsilon)} \cup A^{\pi^-}_{(\varepsilon)}$, $\mathrm{A}_{(\varepsilon)} \subset A$, отримаємо решітку $\left(\mathrm{A}_{(\varepsilon)}, \prec l, W(r)\right)$. Враховуючи той факт, що множина $\mathrm{A}_{(\varepsilon)}$ містить оптимальні та субоптимальні варіанти структури системи, які домінують над $A \setminus \mathrm{A}_{(\varepsilon)}$, зазначена решітка визначає оптимальний план переміщення для $\forall \alpha \in \mathrm{A}_{(\varepsilon)}$ відношенням $\forall \alpha_0 \in \mathrm{A}_{(\varepsilon)} : \alpha_0 \prec \alpha^*_{(\varepsilon_N)} \Rightarrow O^{\alpha_0}_{\mathrm{A}} = \left[a_0, ..., \alpha^*_{(\varepsilon_N)}\right] : \alpha_i \prec\!\prec \alpha_{i+1}$, 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 процедури переміщення елементів системи з динамічною структурою під час її функціонування принцип найшвидшого приведення поточної структури до $\left(\mathrm{A}_{(\varepsilon)}, \prec l, W(r)\right)$: $\forall z(\alpha,t) \big| O^{\alpha} = \left[\alpha, O^{\alpha_0}_{A}\right] : \min l(\alpha, \alpha_0), \alpha_0 \in \mathrm{A}_{(\varepsilon)}$.

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 $\dot{q}(V^{rez}) \cong f_r$. 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 $\mathrm{A}_{(\varepsilon)}$: $\mathrm{A}_{(\varepsilon)t} = \left\{\alpha \in \mathrm{A}_{(\varepsilon)} \middle| \varepsilon_t^{\max} \geq |\alpha|\right\}$.

Виходячи з вищенаведеного, процедура 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 $\mathrm{A}_{(\varepsilon)}$.
3. Початок циклу по T.
4. Визначення поточного стану системи $z(\alpha, t), \nu_t$.
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 $\Delta V_t^{rez} = \dot{q}\left(V^{rez}\right)_t \cdot \Delta t$, $\varepsilon_t^{\max} = |\alpha| + \left|\Delta V_t^{rez}\right|$, $\mathrm{A}_{(\varepsilon)t} = \left\{\alpha \in \mathrm{A}_{(\varepsilon)} \middle| \varepsilon_t^{\max} \geq |\alpha|\right\}$.
9. Формування $\left(\mathrm{A}_{(\varepsilon)t}, \prec l, W(r)\right)$.
10. Визначення плану переміщення $O_t^{\alpha} = \left[\alpha, O_A^{\alpha_0}\right]: \min l\left(\alpha, \alpha_0\right), \alpha_0 \in \mathrm{A}_{(\varepsilon)}$.
11. Переміщення $\left(\nu_t \to \nu_{t+\Delta t}, V_t^{rez} \to V_{t+\Delta t}^{rez}\right)$.
12. Кінець циклу по T.

Висновки. Таким чином, наведена процедура 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. Формування процедури проведено 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].

1. 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.
2. *Неделько С.Н.*, Неделько В.Н., Дубровский Е.А. Структурно-динамический подход к представлению решений в интеллектуальных автоматизированных системах обслуживания воздушного движения // Проблеми аеронавігації: Тематич. зб. наук. праць. - Вип. III. Част. II: Моделювання та управління в аеронавігаційних системах. - Кіровоград: ДЛАУ, 1998. - С. 5-12.
3. *Миколайчук Р.А.* Принципи побудови складних технічних систем з динамічною структурою / Миколайчук Р.А. // Збірник наукових праць ІПМ в Е ім. Г. Є. Пухова. – Вип. 63 – К. : ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова – 2012. – 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. – Вип. 22 – 1. – К. : ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова – 2003. – 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/ Неділько С.М., Кравченко Ю.В., Миколайчук Р.А. // Моделювання та інформаційні технології. – Вип. 64 – К. : ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова – 2012. – С. 41 – 51
7. *Вентцель Е. С.* Исследование операцій: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М.: КноРус, 2010. – 192 с.
8. *Неділько С. М.* Концепція забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем на прикладі системи управління повітряним рухом України / С. М. Неділько // Проблеми транспорту: збірник наукових проць. – К.: НТУ, 2011. – Вип. 3. – С 240 – 244.

Поступила 9.9.2013р.

УДК 504.064.3

Ю. Л. Забулонов, І. О. Золкін, м. Київ

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РАДІАЦІЙНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

*Abstract***.** Basic principles of radiation safety of the nuclear fuel cycle objects are considere d. The main requirements for creating of the automated system for radiation control of nuclear power facilities are presented in this article.

Екологічна ситуація, що виникла після аварії на Чорнобильській АЕС, а також велика кількість екологічно-небезпечних об'єктів ядерної енергетики

 © Ю. Л. Забулонов, І. О. Золкін