

АНАЛІЗ ПИТАНЬ СТРУКТУРНОЇ НАДЛИШКОВОСТІ У ПРОБЛЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка, Україна,
Технічний університет Молодови, Молдова*

У статті розглядаються питання забезпечення структурної надійності систем із застосуванням надлишкових елементів (структурного резервування). Зазначено, що ряд властивостей системи зв'язків у структурі приводять до необхідності пошуку шляхів побудови оптимальної форми структури. Показано, що множина варіантів форм визначається способами побудови додаткових паралельних зв'язків, вимогами до функціональних особливостей компонентів та умов застосування їх складових. Приводяться умови формоутворення системи паралельних зв'язків у структурі.

Ключові слова: структурне моделювання, ймовірність зв'язності, надійність системи з різною надійністю елементів.

Постановка проблеми. У процесі структурного резервування важливих технічних систем використовуються додаткові складові частини у системі (елементи, блоки, підсистеми) [10] для забезпечення необхідного рівня її надійності [8, 9]. Проте цей спосіб завжди збільшує розмірність, складність, вартість та інші властивості системи. У літературних джерелах опрацьовується важливе питання оптимального резервування – максимізація надійності об'єкта дослідження в умовах заданих обмежень на витрати ресурсів [1, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження задач оптимального резервування й аналіз надійності різних систем, методів резервування їх частин висвітлено в ряді наукових праць: [2, 7, 9, 12, 13]. У роботах [7, 12] опрацьовано загальну постановку задачі оптимізації надійності послідовних структур систем.

Формулювання цілей та завдання статті. Висвітлити особливості досліджень структурного резервування систем для розв'язання задач оптимізації їх надійності.

Основна частина. Нехай система, утворюється n послідовно сполученими компонентами i , $i \in J = \{1, 2, \dots, n\}$ [8, 9]. Всі ці компоненти можуть бути складеними у різних варіантах $a_j \in A_j$, де A_j – ряд деяких

варіантів i -го компонента. До варіантів a_j i -го компонента входять елементи: $e_{ik} \in E_i = \{e_{ik}\}$, $i \in I$, де E_i – множина елементів. Елементи e_{ik} мають надійність $p_i(e_{ik})$, а також інші властивості (розміри, вартість, вага): $v_{ij}(e_{ik})$, $i \in I$, $j \in J = \{1, 2, \dots, m\}$. Існує певне число додаткових елементів до цих складових $\rho_{ik} \in [t_{ik}, l_{ik}]$, де ρ_{jk} , t_{ik} і l_{ik} екстремальна кількість надлишкових компонентів.

Властивості компонентів системи визначаються елементами певної частини її структури $a_i = (\rho_{i1}, e_{i1}, \dots, \rho_{ik_i}, e_{ik_i})$, кількості додаткових складових та способу, яким утворюються нові надлишкові частини структури [8, 9]:

$$p_i(a_i) = p_i(\rho_{i1}, e_{i1}, \dots, \rho_{ik_i}, e_{ik_i}), v_{ij}(a_j) = v_{ij}(\rho_{i1}, e_{i1}, \dots, \rho_{ik_i}, e_{ik_i}), \quad (1)$$

$$a_i = (\rho_{i1}, e_{i1}, \dots, \rho_{ik_i}, e_{ik_i}), \quad i \in I,$$

де $p_i(a_i)$ – надійність i -го варіанта структури системи; $v_i(a_i)$ – властивість i -го варіанта (у тому числі вартість); ρ_{ik_i} – кількість складових; e_{ik_i} – складова частина структури системи.

Множина варіантів форм $a_i \in A_i$ визначається способами побудови додаткових паралельних зв'язків, вимогами до функціональних особливостей компонентів та умов використання їх складових [9, 12]. Для проведення оптимізації послідовного сполучення необхідно визначити варіант $a \in A = \prod_{i \in I} A_i$ структури системи з найбільшою надійністю та за певних обмежень:

$$P(a) = P(p_1(a_1), \dots, p_n(a_n)) = \prod_{i \in I} p_i(a_i) \rightarrow \max$$

$$V(a) = V(v_{i1}(a_1), \dots, v_{jn}(a_n)) \leq O_j, \quad j \in J \quad (2)$$

$$\prod_{i \in I} A_i = (a_1, \dots, a_n),$$

де $P(a)$ – структурна надійність системи; p_i – надійність i -го елемента; $V(a)$ – властивості системи; A_i – множина варіантів форм структури системи; O_j – обмеження на витрату ресурсів.

Уведення додаткових елементів у структуру з послідовним сполученням n компонентів використовується для забезпечення заданого рівня надійності системи [12]. Наприклад, на (рис. 1) кожний компонент $k \in K$ у структурі системи має додаткові одновимірні елементи $d_i \in k_j$, що

сполучені між собою паралельно. У свою чергу одновимірні елементи $d \in D$ сполучають інші нульвимірні елементи $u \in U$ (вузли структури).

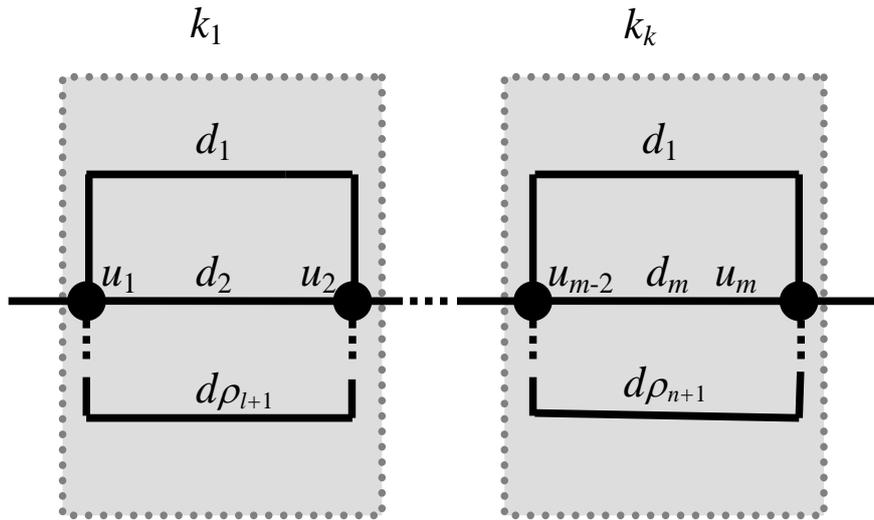


Рис. 1. Структура послідовно-паралельної системи

Надійність i -го компонента, що має ρ_i+1 паралельно сполучених одновимірних елементів $d \in D$ дорівнює [9]

$$p_i(\rho_i) = 1 - (1 - p_i)^{\rho_i+1}, \quad (3)$$

де p_i , – надійність елемента i -го компонента; ρ_j – число його паралельних елементів, де $\rho_j \in [t_j, l_j]$, ρ_i , t_{ik} , l_{ik} – цілі числа. Формоутворення системи паралельних зв'язків у структурі проводиться за таких умов:

$$P(a) = P(p_1(\rho_1), \dots, p_n(\rho_n)) \rightarrow \max, \\ V(\rho) = V(v_{i1}(\rho_1), \dots, v_{jn}(\rho_n)) = \sum_{i \in I} v_{ij}(\rho_i) \leq O_j, \quad i \in I, \quad (4) \\ \rho = (\rho_1, \dots, \rho_n),$$

де $P(a)$ – надійність системи; p_i , – надійність елемента i -го компонента; ρ_j – число його паралельних елементів, $\rho \in [t_i, l_i]$, ρ_i – цілі числа; v_{ij} – властивості компонентів структури (розміри, вартість тощо); O_j – обмеження на витрату ресурсів для побудови системи.

Різні методи структурного резервування (уведення додаткових елементів) (4) висвітлюються у наукових джерелах [9, 12]. Важливою є побудова ще більш досконалих моделей та способів розв'язання задач (2)

та (4). У науковій праці [1] освітлено питання синтезу послідовно-паралельних структур та способи оцінювання їх надійності, а також опрацьовані в публікації [13] із застосуванням способів оптимізації.

В інженерній практиці часто використовуються системи, котрі знаходяться виключно у станах або повної працездатності або непрацездатності [2, 11, 12]. Спосіб дерева відмов [2, 11] часто використовується на практиці [2, 11] для дослідження взаємозв'язків між складовими частинами системи й допомагає ефективно визначати причини відмов [2, 11]. Визначення мінімальних перетинів та шляхів та застосування дерева відмов допомагає знаходити помилки, допущені на етапі проектування [2, 11] та ступінь важливості елементів у системі [9]. Ряд властивостей та особливостей системи зв'язків у структурі приводять до пошуку ефективних шляхів конструювання оптимальної форми структури.

Актуальність і складність поставлених задач зумовлюють підвищені вимоги до надійності важливих систем. Тим самим стимулюється побудова методів ієрархічних й багаторівневих моделей оптимального резервування [5, 11]. Задача оптимізації працездатності складних технічних систем формулюється наступним чином [2, 5]. Нехай існує система, що утворюється n компонентами. Усі складові частини структури системи, незалежно від інших, можуть перебувати в одному з двох протилежних станів [8, 9]:

$$\begin{aligned} x_i &= 1 \text{ коли } i\text{-й компонент працездатний,} \\ x_i &= 0 \text{ коли } i\text{-й компонент відмовив,} \end{aligned} \quad (5)$$

де x_j – змінна величина стану i -го компонента, $x = (x_1, \dots, x_n)$, де n -вимірний вектор стану системи. Стани системи x відповідають показнику ймовірності $L(x)$ життєдіяльності системи [2, 5], $L(x) = [0 \dots 1]$.

Необхідно знайти форму $a = (a_1, \dots, a_n) \in A$ структури системи з максимальною надійністю $P(a)$ й обмеженнями на витрату ресурсів O_j :

$$\begin{aligned} P(a) &= P(p_1(a_1), \dots, p_i(a_i), \dots, p_n(a_n)) \rightarrow \max, \\ V(a) &= V(v_{i1}(a_1), \dots, v_{ij}(a_j), \dots, v_n(a_n)) \leq O_i, \quad i \in I \\ a &= (a_1, \dots, a_n), \end{aligned} \quad (6)$$

де $a = (a_1, \dots, a_n)$ – вектор варіантів форми структури; $v_{ij}(a)$ – вартість ij -го варіанту структури. У свою чергу складові частини системи також залежать від конструктивних параметрів елементів, і це визначає способи побудови множини варіантів структури та її складових компонентів [5, 9]. Для монотонних та непослідовних систем (систем складної структури) надійність $P(a)$ варіанта форми $a = (a_1, \dots, a_n)$ обчислюється так [5, 9]:

$$P(a) = \sum_{x \in X} L(x) \prod_{i \in I} p_i(a_i)^{x_i} (1 - (1 - p_i(a_i)))^{1-x_i}, \quad (7)$$

де X – множина працездатних станів структури системи; $L(x)$ – показник життєдіяльності системи; p_i – надійність її елементів; a_i – форма структури системи.

Висновки. Існуючий ряд способів аналізу працездатності систем зі складною структурою, що застосовують оптимізацію надійності та методи структурного резервування, указує на важливість цієї проблеми. Разом з цим постають складні задачі побудови більш досконалих методів та моделей, які краще враховують важливі властивості резервованих систем та їх структурну складність.

Перспективи подальших досліджень. Сьогодні є актуальними задачі прогнозування та оптимізації структурної надійності систем. Проведений аналіз вказує на практичну необхідність й актуальність створення нових та удосконалення відомих геометричних моделей структурного резервування для забезпечення необхідного рівня надійності складних технічних систем.

Література

1. Банди Б.Д. *Методы оптимизации. Пер. с англ.* / Б.Д. Банди – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
2. Барлоу Р. *Математическая теория надежности* / Р. Барлоу, Ф. Прошан / Под. ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Сов. радио, 1969. – 488 с.
3. Барлоу Р. *Статистическая теория надежности и испытания на безотказность* / Р. Барлоу, Ф. Прошан – М.: Наука, 1984. – 328 с.
4. Беккербах Э. *Прикладная комбинаторная математика. Пер. с англ.* / Э. Баккербах. – М.: Мир, 1968. – 361 с.
5. Волкович В.Л. *Модели и алгоритмы оптимизации надежности сложных систем* / В.Л. Волкович, А.Ф. Волошин, В.А. Заславский, И.А. Ушаков / Под ред. академика В.С. Михалевича. – К.: Наукова думка, 1992. – 312 с.
6. Дринфельд Г.И. *Интерполирование и способ наименьших квадратов* / Г.И. Дринфельд. – К.: Вища школа, 1984. – 103 с.
7. Месарович М. *Теория иерархических многоуровневых систем.* / М. Месарович, Д. Мано, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
8. *Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т.* / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) – и др. – М.: Машиностроение, 1986.
9. *Надежность технических систем: справочник* / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
10. *Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94.* – К.: Держстандарт України, 1994. – 92 с.
11. Рябинин И.А. *Надежность и безопасность структурно-сложных*

- систем / И.А. Рябинин. – СПб.: Изд. СПб университета, 2007. – 278 с.
12. Харченко В.С. Многоверсионные системы, технологи, проекты / В.С. Харченко, В.Я. Жихарев, В.М. Илюшко, Н.В. Нечипорук. Под. ред. д-ра техн. наук, проф. В.С.Харченко. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет «Харьковский авиационный институт», 2003. – 486 с.
13. Jenney B.W. Open and short circuits reliability of systems of identical items / B.W. Jenney, D.J. Sherwin // IEEE Trans. reliab. – 1986. – 35(5).– P. 388–394.

АНАЛИЗ ВОПРОСОВ ИЗБЫТОЧНОСТИ В ПРОБЛЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ

В.Г. Усенко, И.И. Штирбул, Д.Ф. Погорелый, И.С. Усенко

В статье рассматриваются вопросы обеспечения структурной надежности систем с применением избыточных элементов (структурного резервирования). Отмечено, что ряд свойств системы связей в структуре приводят к необходимости поиска путей построения оптимальной формы структуры. Показано, что множество вариантов форм определяется способами построения дополнительных параллельных связей, требованиями к функциональным особенностям компонентов и условий применения их составляющих. Приводятся условия формообразования системы параллельных связей в структуре.

Ключевые слова: структурное моделирование, вероятность связности, надежность системы с разной надежностью элементов.

THE ANALYSIS OF EXCESS QUESTIONS IN THE PROBLEM OF ENSURING THE SYSTEMS RELIABILITY

V.G. Usenko, I.I. Stirbul, D.F. Pogorilly, I.S. Usenko

This paper deals with issues of systems structural reliability with the use of redundant elements (structural redundancy). It is noted that a number of properties of the system connections in the structure leads to the need to find ways to construct an optimal form of structure. It is shown that the set of variants of forms is determined by methods of construction of additional parallel links, requirements to functional peculiarities of the components and conditions of application of their constituents. The conditions of formation of a system of parallel connections in the structure are given.

Keywords: structural design, failsafety with different reliability of elements.