

УДК 514.18

к.т.н. В.Г. Усенко,
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, Україна

РАЦІОНАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ НАДІЙНОСТІ В СИСТЕМАХ, ЩО МАЮТЬ ПОСЛІДОВНО-ПАРАЛЕЛЬНІ СТРУКТУРИ

Запропоновано метод раціонального нормування надійності в системі, що має послідовно-паралельну структуру. Структура розбивається на блоки, що складаються з послідовно з'єднаних елементів. Процедура нормування передбачає два етапи: нормування надійності блоків та нормування надійності елементів у кожному блоці.

Ключові слова: структурна надійність, послідовно-паралельні структури, нормування надійності.

Постановка проблеми. Нормування надійності елементів системи призначається перед прийняттям основних рішень про проектування чи модернізацію системи. Оптимальний рівень надійності ухвалюється коли вже визначено основні характеристики системи, її структура, а також обґрунтований рівень надійності її елементів. Нормування надійності дозволяє не лише досягти необхідного заданого рівня надійності окремого елемента чи підсистеми, але й забезпечує задану ймовірність безвідмовної роботи всієї системи.

При створенні сучасних технічних систем призначення вимог до надійності проводиться з використанням експертного аналізу. Обґрунтованість рішень залежить від рівня кваліфікації, наукової інтуїції інженерів та експертів. Перелік показників визначення вимог до надійності технічних систем встановлюють відповідні стандарти.

Щоб забезпечити задану ймовірність безвідмовної роботи технічної системи при мінімальних витратах на забезпечення її надійності, необхідно визначити деяке раціональне співвідношення між необхідним рівнем надійності та витратами для кожного елемента чи підсистеми. Суттєвою перешкодою до використання цього підходу є відсутність даних про витрати, необхідні для забезпечення заданого рівня надійності. Порібен також значний об'єм попередньої інформації про проєктовані об'єкти. Ці дані не завжди є на початкових етапах проєктування чи модернізації технічних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В літературі описано способи раціонального нормування елементів системи з паралельними, послідовними чи паралельно-послідовними

структурами [1,2,3,4]. Розглянені методи мають недоліки, якщо вони використовуються окремо один від одного. Об'єднання цих методів дає кращі результати, оскільки часто використовуються дані про аналогічні підсистеми, а також дані про нові підсистеми чи елементи, що розробляються в умовах впливу різних чинників. Не зустрічаються дослідження, що описують визначення раціонального нормування надійності для систем з послідовно-паралельною структурою.

Формулювання цілей та мета статті. Побудувати метод раціонального нормування надійності технічних систем з послідовно-паралельною структурою.

Основна частина. Нехай досліджувана система має послідовно-паралельну структуру (рис. 1). Надійність системи дорівнює P , причому це значення повинне задовольняти умові

$$P = P^*, \quad (1)$$

де P^* – новий необхідний рівень надійності системи.

Задача нормування надійності по елементах системи має вигляд

$$P(p_1, p_2, \dots, p_n) = P^*, \quad (2)$$

де p_i – значення надійності i -го елемента.

Постановка задачі: потрібно підвищити одне або декілька із значень надійності p_i настільки, щоб надійність системи стала рівною заданій: $P = P^*$. У зв'язку з цим необхідно виконати додаткові витрати засобів, що пов'язані з уведенням до системи нових елементів з вищою надійністю замість визначених у структурі.

Процедура нормування надійності системи з послідовно-паралельним з'єднанням елементів складається з двох етапів: нормування надійності блоків та нормування надійності елементів у кожному блоці.

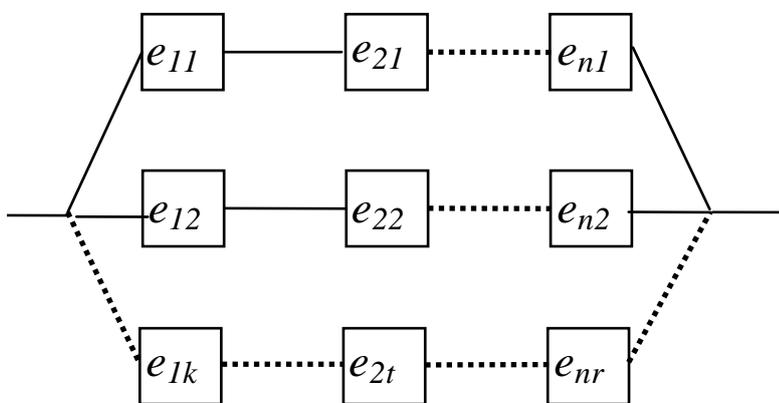


Рис. 1. Послідовно-паралельне з'єднання елементів у системі

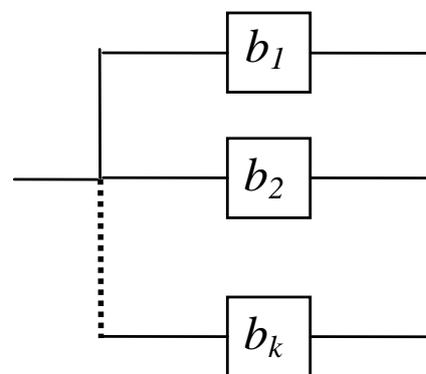


Рис. 2. Паралельне з'єднання блоків у системі

На першому етапі структура розбивається на k блоків (ланцюгів) з'єднаних паралельно (рис. 2). Ймовірність безвідмовної роботи системи з паралельно з'єднаними блоками описується рівнянням [1, 2, 3, 4]

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i). \quad (3)$$

Коли потрібно підвищити надійність одночасно декількох блоків b_1, b_2, \dots, b_i до необхідного рівня при незмінних значеннях надійності інших блоків $b_{i+1}, b_{i+2}, \dots, b_k$ надійність кожного блока нормується за формулою

$$p_{1,i}^* = \left(1 - \frac{1 - P^*}{(1 - p_{i+1}) \cdot (1 - p_{i+2}) \cdot \dots \cdot (1 - p_k)} \right)^{1/i}, \quad i=1, 2, \dots, k, \quad (4)$$

де $p_{1,i}^*$ – необхідна надійність блоків при їх паралельному сполученні, k – число блоків у системі. Новий рівень надійності блока не повинен бути меншим за існуючий при послідовному збільшенні індекса i . Тому цей індекс визначається за умови, що $p_i^* > p_i$. Значення надійності блоків розташовуються у послідовності, за якою вони не зменшуються: $p_1 \leq p_2 \leq \dots \leq p_n$.

Однак, для більш ефективного результату потрібно підвищити значення надійності тільки одного блока, того, що має найбільше значення надійності $p_i = \max(p_1, p_2, \dots, p_n)$, до рівня [4]

$$p_i^* = 1 - \frac{1 - P^*}{(1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot \dots \cdot (1 - p_{i-1}) \cdot (1 - p_{i+1}) \cdot \dots \cdot (1 - p_{n-1}) \cdot (1 - p_n)}, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Нове значення надійності системи дорівнює

$$1 - (1 - p_1^*) \cdot (1 - p_2^*) \cdot \dots \cdot (1 - p_n) = P^*, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

На другому етапі кожний блок b_i системи з послідовно-паралельною структурою розглядається як підсистема з n_i елементів $i=1, 2, \dots, r$, що мають послідовне з'єднання (рис. 3).

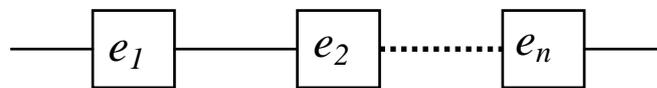


Рис. 3. Послідовне з'єднання елементів у блоці b_i

Значення надійності елементів у блоці b_i потрібно розташувати у послідовності, при якій вони не зменшуються: $p_1 \leq p_2 \leq \dots \leq p_n$. Щоб отримати підвищення надійності блока до рівня P_{bi}^* , кожне із значень надійності елемента e_i збільшується до величини p_i^* , а значення надійності інших елементів залишаються незмінними. При цьому

$$p_i^* = \frac{P_{bi}^*}{p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_{i-1} \cdot p_{i+1} \cdot \dots \cdot p_{n-1} \cdot p_n}, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Найменший необхідний приріст надійності елементів e_1, e_2, \dots, e_i до заданого значення надійності системи P^* при такому почерговому підвищенні визначається

$$\Delta p_{min} = \min_{(\Delta p_1, \Delta p_2, \dots, \Delta p_i)} \sum_{k=1}^i \Delta p_k, \quad \Delta p_k = p_k^* - p_k \quad (8)$$

де $\Delta p_i = p_i^* - p_i$. Тобто затрати будуть найменшими у випадку, коли підвищується надійність одного найменш надійного елемента e_i до значення p_i^* .

Ще нижчий необхідний сумарний приріст надійності досягається з підвищенням надійності групи елементів e_1, e_2, \dots, e_i до рівня

$$p_{1,i}^* = \left(\frac{P_{bi}^*}{p_{i+1} \cdot p_{i+2} \cdot \dots \cdot p_n} \right)^{1/i}, \quad (9)$$

де $p_{1,i}^*$ – це необхідний рівень надійності групи елементів блока при послідовному сполученні, P_{bi}^* – заданий рівень надійності блока, n – число елементів у блоці. При цьому надійність інших елементів блока $e_{i+1}, e_{i+2}, \dots, e_n$ залишається незмінною. Індекс i визначається за умови, що: $p_i^* > p_i$. Тобто новий рівень надійності елемента не повинен бути меншим за існуючий при послідовному збільшенні індекса i . Найменший необхідний приріст надійності елементів e_1, e_2, \dots, e_i до заданого значення надійності блока P_{bi}^* при такому почерговому підвищенні визначається

$$\Delta p_{min} = \min (\Delta p_1, \Delta p_2, \dots, \Delta p_n), \quad \Delta p_i = p_i^* - p_i \quad (10)$$

Надійність блока після знаходження (8) задовольнятиме заданій вимозі (2), бо його нове значення дорівнює

$$P = P_{bi}^* = p_1^* \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n. \quad (11)$$

Висновки. Для нормування надійності елементів чи підсистем технічної системи, що має послідовно-паралельну структуру процедуру нормування надійності рекомендується розбити на два етапи: нормування надійності блоків (підсистем) та нормування надійності елементів у кожному блоці. Для досягнення максимального ефекту надійності системи потрібно підвищувати надійність p_i одного блока, що має максимальне значення цієї величини до рівня (5) на першому етапі. На другому етапі потрібно підвищувати надійність p_i групи елементів до рівня (9).

Література

1. Надежность и эффективность в технике: Справ. в 10 т./Ред. совет: В.С. Авдуревский (пред.) и др.; Под ред. В.И. Патрушева, А.И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1987–1990.
2. Надежность технических систем: Справ./ Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1983. 608 с.
3. Труханов В.М. Надежность в технике. М.: Машиностроение, 1999. 598 с.
4. Усенко В.Г. Метод раціонального розподілу надійності між елементами системи з паралельними зв'язками. // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Міжвідомчий науково-технічний збірник; вип. 89 – К.: КНУБА, 2012. – С. 358-363.

Аннотация

Предложен метод рационального нормирования надежности в системе, имеющей последовательно-параллельную структуру. Структура разбивается на блоки, которые состоят из последовательно соединенных элементов. Процедура нормирования предусматривает два этапа: нормирование надежности блоков и нормирование надежности элементов в каждом блоке.

Ключевые слова: структурная надежность, последовательно-параллельные структуры, нормирование надежности.

Abstract

The method of the rational setting of norms of reliability is offered in the system, having a successive-parallel structure. A structure is divided on blocks which consist of the consistently connected elements. Procedure setting of norms foresees two stage: setting of norms of reliability of blocks and setting of norms of reliability of elements is in every block.

Keywords: structural reliability, consistently-parallel structures, setting of reliability norms.