

УДК 656.256: 681.32

Канд. техн. наук В.Ф. Кустов,  
Є.С. Олесін

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ДВОКОМПЛЕКТНОЇ СИСТЕМИ З ЗАГАЛЬНИМ РЕЗЕРВУВАННЯМ

Представив д-р техн. наук, професор А.Б. Бойнік

**Постановка проблеми.** Надійність є одним з найважливіших показників сучасної техніки. Від неї залежать такі показники, як якість, ефективність, безпека, ризик, готовність, живучість системи [1]. Підвищення інтенсивності руху поїздів, збільшення їх швидкості ставлять жорсткі вимоги до якості та надійності засобів забезпечення безпеки руху. Перш за все це відноситься до пристроїв автоматичних та напівавтоматичних систем управління рухом поїздів на перегонах, станціях та переїздах. Показники надійності технічних систем визначаються при їх проектуванні та виробництві. Для створення системи, що задовольняє вимоги безпеки, необхідно не тільки розрахувати показники надійності, але й створити методи їх забезпечення та технічної реалізації в процесі експлуатації.

Науково-технічний прогрес призводить до появи сучасних мікропроцесорних систем залізничної автоматики, які повинні забезпечити безперебійний пропуск поїздів, збільшити пропускну спроможність та надати обслуговуючому персоналу необхідну інформацію. Постає проблема доказу надійності, яка залежить від багатьох чинників. Є ряд критеріїв та показників, яким повинні відповідати технічні системи. Забезпечення надійності в процесі експлуатації визначається дисципліною обслуговування, кваліфікацією обслуговуючого персоналу,

економічними міркуваннями. При проектуванні сучасних систем важлива розрахункова оцінка показників безвідмовності та функційної безпечності. На основі отриманих результатів проектується система з оптимальною структурою та створюються методи її обслуговування та відновлення.

**Метою роботи** є розрахунок, дослідження та оцінка структур мікропроцесорних систем залізничної автоматики із загальним навантажувальним резервуванням.

Дослідження функційної безпечності. При експоненціальному законі розподілу небезпечних відмов ( $\lambda = \text{const}$ ) метод розрахунку функційної безпечності відновлювальних систем із загальним навантажувальним дублюванням заснований на теорії марковських процесів [1, 2]. Для розрахунку показників безпеки даним методом складається розрахунково-логічна схема та граф безпечності (рис. 1).

Для  $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$  граф безпечності зображений на рис. 2.

Небезпечна відмова системи настане тоді, коли відбудеться небезпечна відмова кожного з каналів резервування. Імовірність небезпечної відмови дорівнює ймовірності перебування об'єкта у стані  $S_H$

$$Q_H(t) = P_H(t), \quad (1)$$

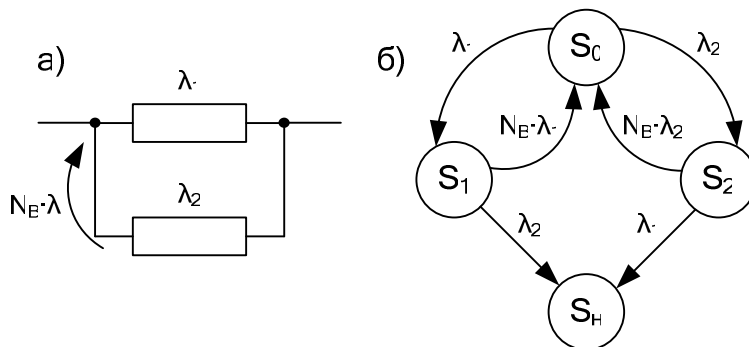


Рис. 1. Розрахунково-логічна схема та граф безпеки

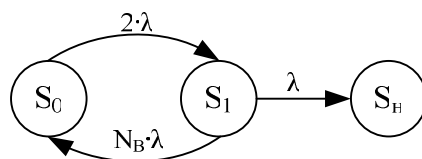


Рис. 2. Граф безпеки при  $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$

Для визначення ймовірностей  $P_0(t)$ ,  $P_1(t)$  і  $P_H(t)$  складають систему диференціальних рівнянь Колмогорова, яка з

урахуванням співвідношення  $N = \mu / \lambda$  має вигляд [2]

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -2 \cdot \lambda \cdot P_0(t) + N \cdot \lambda \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = 2 \cdot \lambda \cdot P_0(t) - \lambda \cdot P_1(t) - N \cdot \lambda \cdot P_1(t), \\ \frac{dP_H(t)}{dt} = \lambda \cdot P_1(t) \end{cases} \quad (2)$$

Задана система диференціальних рівнянь розв'язується за допомогою перетворень Лапласа. Враховуючи що час відновлення  $T_B$  буде значно меншим часу  $T_H$  – середнє напрацювання до небезпечної відмови одного каналу резервування, то ймовірність безпечної роботи, подана автором в роботі [2], рівна

$$P_0(t) = e^{-\frac{2\lambda}{N_0+3}t}, \quad (3)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність небезпечних відмов одного каналу резервування;

$N_0$  – індекс відновлення,  $N_0 = \mu / \lambda = T_H / T_B$  ( $\mu$  – інтенсивність відновлення небезпечних відмов із основних каналів резервування системи,  $T_{on}$  та  $T_B$  – відповідно середнє напрацювання до небезпечної відмови та середній час відновлення із небезпечного стану кожного каналу резервування).

Звідси ймовірність небезпечної відмови рівна

$$Q_H(t) = 1 - P_0(t) = 1 - e^{-\frac{2\lambda}{N_0+3}t}. \quad (4)$$

За допомогою вищезнайденої формули побудуємо графік залежності ймовірності небезпечної відмови від часу

(рис. 3). Для цього приймемо, що індекс відновлення  $N_e = 100$ , кількість елементів в системі  $k = 10000$ .

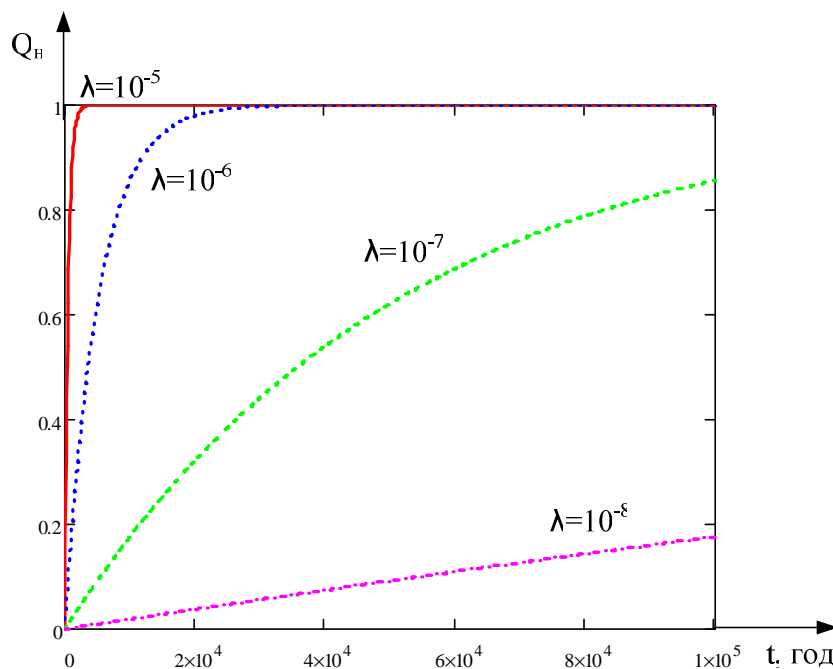


Рис. 3. Графік залежності ймовірності небезпечної відмови від часу

Очевидно, що малонадійні елементи навіть при дублюванні каналів не відповідають потрібним вимогам функційної безпечності. Звідси слідує, що потрібно використовувати тільки високонадійні елементи. Але для покращення показників надійності також можна зменшувати час відновлення, використовувати меншу кількість елементів або збільшити кількість каналів резервування.

Розрахуємо показники функційної безпечності при використанні двокомплектної дубльованої системи з розв'язувальними елементами «І» та «АБО». Допускаємо що ймовірність відмови елемента узгодження значно менша, ніж ймовірність відмови системи, тому ним можна знехтувати і він не враховується в розрахунково-логічній схемі. Структурна та розрахунково-логічна схеми з узгоджувачем елементом «АБО» наведені на рис. 4.

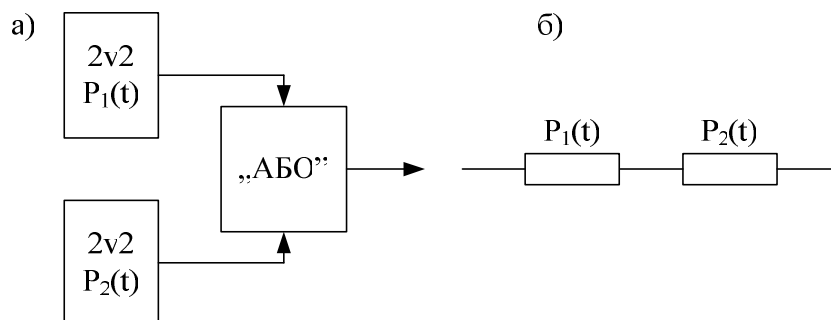


Рис. 4. Структурна та розрахунково-логічна схеми з узгоджувачем елементом «АБО»

При такому з'єднанні елементів загальна ймовірність небезпечної відмови розраховується за формулою

$$Q_{H(АБО)}(t) = 1 - P_1(t) \cdot P_2(t). \quad (5)$$

При однакових ймовірностях безпечної роботи обох систем  $P_1(t) = P_2(t) = P_6(t)$  формула набуває вигляду

$$Q_{H(АБО)}(t) = 1 - P_6(t)^2 = 1 - \left(e^{-\frac{2\lambda}{N_6+3}t}\right)^2 = 1 - e^{-\frac{4\lambda}{N_6+3}t}. \quad (6)$$

За допомогою структурної та розрахунково-логічної схем (рис. 5) розраховуються показники функційної

безпеки при з'єднанні двох дубльованих комплектів за схемою «І».

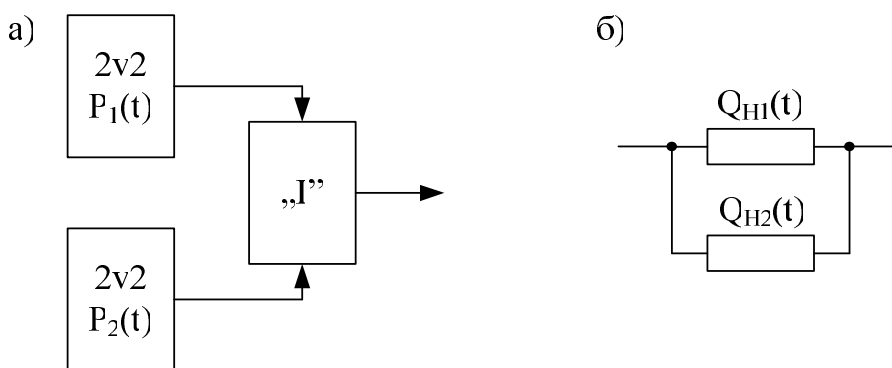


Рис. 5. Структурна та розрахунково-логічна схеми з узгоджувачим елементом «І»

Ймовірність небезпечної відмови в даному випадку рівна добутку небезпечних відмов у кожному з комплектів. При

однакових ймовірностях безпечної роботи обох систем  $P_1(t) = P_2(t) = P_6(t)$  формула набуває вигляду

$$Q_{H(I)}(t) = Q_{H1}(t) \cdot Q_{H2}(t) = (1 - P_6(t))^2 = \left(1 - e^{-\frac{2\lambda}{N_6+3}t}\right)^2, \quad (7)$$

Використавши вищезнайденої формули, побудуємо графіки залежності ймовірності небезпечної відмови від часу для трьох структур (дубльованої системи та двох комплектів дубльованої системи з елементами узгодження «І» та «АБО») та порівняємо показники. Для розрахунків приймемо, що індекс відновлення  $N_6 = 100$ , кількість елементів у системі  $k = 10000$ , а

інтенсивність відмови  $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$  (1/год). Графік залежності подано на рис. 6.

**Висновок.** Проаналізувавши графік, зрозуміло, що двокомплектна дублююча система з розв'язувальним елементом «І» (графік функції  $Q_{H(I)}(t)$ ) має кращі показники функційної безпеки, а при використанні узгоджувачого елемента «АБО» (графік функції  $Q_{H(АБО)}(t)$ ) показники безпеки погіршуються, проте

покращуються показники безвідмовності та готовності. Ймовірність відмови однокомплектної системи з дублюючим резервуванням (графік функції  $Q_H(t)$ ) має кращі показники функційної безпечності в порівнянні з двокомплектним варіантом з елементом узгодження «АБО», тому проектування останньої в системах

автоматики на залізничному транспорті є недоцільним. За допомогою отриманих виразів визначається ймовірність небезпечної відмови, а за допомогою формул взаємозв'язку, наведених в роботах [1, 2], знаходяться інші показники функційної безпечності, на основі яких проектується оптимальна структура системи.

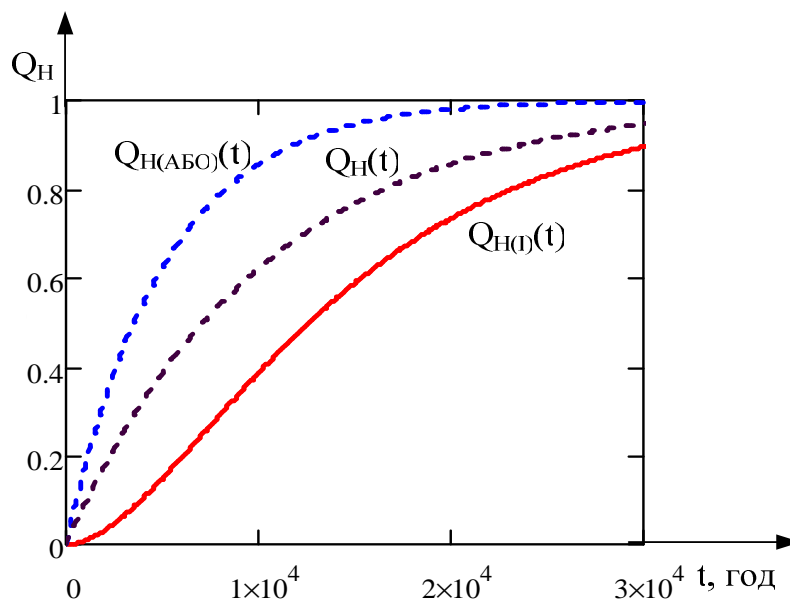


Рис. 6. Графік залежності ймовірностей небезпечних відмов від часу

### Список літератури

1. Половко, А.М. Основы теории надежности [Текст] / А.М. Половко, С.В. Гуров. – 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
2. Кустов, В.Ф. Основы теории надёжности та функційної безпечності систем залізничної автоматики [Текст]: навч. посібник для вузів / В.Ф. Кустов. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 218 с.

**Ключові слова:** функційна безпечність, ймовірність небезпечної відмови, безвідмовність, інтенсивність небезпечних відмов.

### Анотації

Досліджено залежність ймовірності небезпечної відмови від структури в двокомплектних мікропроцесорних системах залізничної автоматики із загальним резервуванням та елементами узгодження «І» та «АБО».

Исследована зависимость вероятности опасного отказа от структуры в двухкомплектных микропроцессорных системах железнодорожной автоматики с общим резервированием и элементами согласования «И», «ИЛИ».

The dependence of the probability of dangerous failure of the structure in two complete microprocessor systems, railway automation with a total redundancy and matching elements "AND" and "OR"