

УДК 621.3.019.3

В. Г. Лисогор

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ЦИФРОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ЗА НАДІЙНІСНИМИ КРИТЕРІЯМИ

Розглянуто питання оптимізації систем контролю цифрових телекомунікаційних мереж за надійнісними критеріями, які використовуються в якості цільових функцій. Головною особливістю таких систем є те, що вони контролюють цифрові мережі через систему спільно-каналльної сигналізації SS7. Побудовано моделі і отримано розрахункові формули для основних варіантів систем, що дають змогу оцінити головні надійнісні показники. Запропоновано алгоритм оптимізації систем контролю за надійнісними критеріями.

Вступ

За сьогоденних умов бурхливого поширення та вдосконалення послуг цифрової телефонії великої актуальності набувають дослідження та розробки, що присвячені різним аспектам впровадження системних засобів контролю цифрових телекомунікаційних мереж (ЦТМ). Згідно з використовуваною концепцією [1, 2] системи контролю (СК) працюють не безпосередньо з сигналами зі телекомунікаційної мережі, а з сигналами зі спеціальної мережі сигналізації SS7, що є невід'ємною частиною сучасних ЦТМ. Вона має певні особливості, головна з яких – дуже високий рівень надійності (не менше 0,99998 за коефіцієнтом готовності мережі згідно з рекомендаціями (ITU – TQ.706 [2]).

Метою статті є розробка підходу до оптимізації ЦТМ за надійнісними критеріями, що сприяє збільшенню ефективності процесу проектування ЦТМ.

Постановка задачі

Як було відзначено, об'єкт контролю — мережа SS7 — характеризується надзвичайно високими вимогами до надійності. Це висуває, у свою чергу, досить високі вимоги до рівня надійності СК. Виходячи з характеристик мережі SS7 і вимог до її надійності, головним показником СК обрано коефіцієнт готовності K_r . Якщо зафіксувати мінімальне значення часу відновлення системи, то при заданому значенні коефіцієнта готовності може бути визначений мінімальний рівень середнього часу безвідмовної T_0 роботи СК [3, 4]

$$T_0 = \frac{K_r T_0}{1 - K_r}.$$

Система контролю має розподілену ієрархічну структуру, головним елементом якої є центр контролю і вимірювань (ЦКВ), що з'єднаний з локальними пунктами контролю і вимірювань (ЛПКВ).

Задача оптимізації надійності СК розділяється на дві складові:

1. Розподіл заданих показників надійності між складовими частинами (підсистемами) СК;
2. Оптимізація структур підсистем за критерієм надійності.

Надалі для поєднання міркувань ЦКВ і ЛПКВ будуть називатися підсистемами СК, а складові підсистем — елементами.

Підвищення рівня характеристик надійності відновлюваних виробів може бути досягнуте за рахунок застосування таких методів:

- використання надійніших елементів;
- резервування елементів;
- поліпшення обслуговування (оптимізація профілактичних і ремонтно-відновлювальних робіт, наявність запасних елементів тощо).

З урахуванням особливостей підсистем СК (велика вартість і габарити елементів, робота в ре-

льному часу, недопущення значних затримок функціонування у випадках відмови) як резервування доцільно вибрати навантажене дублювання з контролем працездатності основного і резервного елементів, що забезпечує мінімальні затримки переключень елементів у випадку відмови.

Таким чином, оптимізуючи СК за критерієм надійності необхідно розв'язати дві задачі:

1. Вибрати оптимальну структуру підсистеми.
2. Забезпечити необхідний рівень здатності до відновлення підсистеми.

Для розв'язання цих задач мають бути задані граничні значення характеристик надійності підсистеми: середній час безвідмовної роботи, середній час відновлення і характеристика підсистеми, що передбачається оптимізувати. За таку характеристику зазвичай обирають витрати на реалізацію системи.

Математичні моделі надійності підсистеми ЦКВ і ЛПКВ

ЦКВ складається з шести основних елементів (маршрутизатор, 2 комутатори, сервер програмного забезпечення, сервер СУБД, джерело безперебійного живлення) і допоміжних елементів керування, індексації і реєстрації, короткочасні перерви роботи яких у разі відмов не призводять до відмови підсистеми (за рахунок виконання ремонтно-відновлювальних робіт). ЛПКВ складається з семи елементів (блок синхронізації, маршрутизатор, перемикач, аналізатор, сервер ПЗ, сервер СУБД, джерело безперебійного живлення). Для спільності розрахунків показників надійності можна звести логічні схеми ЦКВ і ЛПКВ до однієї послідовної схеми, що складається з шести елементів, об'єднавши два елементи (блок синхронізації і маршрутизатор) у логічній схемі ЛПКВ.

У кожній з підсистем можуть використовуватися елементи двох типів:

1. Елементи широкого застосування (тип А) з параметрами:

- інтенсивність відмов $\lambda_i^A, i = 1, \dots, n;$
- інтенсивність віднов $\mu_i^A, i = 1, \dots, n;$
- вартість $C_i^A, i = 1, \dots, n;$

2. Промислові елементи (тип Б) з параметрами $\lambda_i^B, \mu_i^B, C_i^B, i = 1, \dots, n.$

Для отримання загальних результатів розрахунків прийняте позначення n — кількість елементів у підсистемі. Очевидно, що $\lambda_{Ai}^A > \lambda_{Bi}^B, C_{Ai}^A < C_{Bi}^B$. Для підвищення надійності можуть бути використані дубльовані елементи типу А або елементи типу В (без резервування). В розрахунках характеристик надійності використовуються допущення про експонентний розподіл напрацювань до відмови.

Задача оптимізації полягає у виборі структури підсистеми, що забезпечує середній час безвідмовної роботи $T_O^{ПС}$ і мінімізацію вартості підсистеми $C^{ПС}$.

Для виконання розрахунків необхідні формули для показників надійності дубльованих елементів для випадку навантаженого резерву і необмеженого відновлення [3]:

— середній час напрацювання до відмови $T_O = \frac{1 + 3\gamma}{2\gamma\lambda};$

— середній час відновлення $T_{во} = \frac{1}{2\mu};$

— імовірність безвідмовної роботи протягом напрацювання t_0

$$P(t_0) = \frac{1}{x_1 - x_2} (x_1 e^{-x_2 t_0} - x_2 e^{-x_1 t_0});$$

— коефіцієнт готовності $K_r = \frac{1}{1 + \gamma_c}.$

У наведених формулах

$$x_{1,2} = \frac{\lambda}{2\lambda} \left[(1 + 3\gamma) \pm \sqrt{1 + 6\gamma + \gamma^2} \right]; \quad \gamma_c = \frac{\gamma^2}{1 + 2\gamma}, \quad \gamma = \frac{\lambda}{\mu}.$$

Проведемо аналіз варіантів реалізації підсистеми.

Варіант 1. Використовуються елементи широкого застосування без резервування (рис. 1).

Показники надійності і вартості визначаються з виразів

$$P^A(t) = \prod_{i=1}^n P_i^A(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i^A t};$$

$$T_0^A = \int_0^{\infty} P^A(t) dt = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^A}; \quad C^A = \sum_{i=1}^n C_i^A.$$



Рис. 1. Логічна схема для варіанта 1

Варіант 2. Використовуються промислові елементи (рис. 2).

Показники надійності і вартості для варіанта 2:

$$P^{A0}(t) = \prod_{i=1}^n P_i^{A0}(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i^B t};$$

$$T_0^{A0} = \int_0^{\infty} P^{A0}(t) dt = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^B}; \quad C^{A0} = \sum_{i=1}^n C_i^B.$$

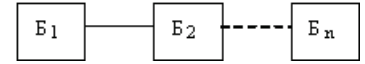


Рис. 2. Логічна схема для варіанта 2

Варіант 3. Використовується дублювання *i*-го елемента (рис. 3).

Показники надійності і вартості для варіанта 3:

$$P^{A1}(t) = \prod_{i=1}^n P_i^{A1}(t) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n e^{-\lambda_j^B t} \frac{1}{x_{1i}^A - x_{2i}^A} (x_{1i}^A e^{-x_{2i}^A t} - x_{2i}^A e^{-x_{1i}^A t});$$

$$T_0^{A1} = \int_0^{\infty} P^{A1}(t) dt = \frac{1}{x_{1i}^A - x_{2i}^A} \left(\frac{x_{1i}^A}{x_{2i}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{2i}^A}{x_{1i}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \lambda_j^B} \right);$$

$$C^{A1} = 2C_i^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n C_j^B.$$

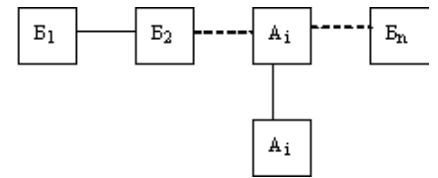


Рис. 3. Логічна схема для варіанта 3

Кількість можливих реалізацій варіанта 3: $N^{A1} = C_1^n = n$.

Варіант 4. Використовується дублювання двох блоків: A_c і A_d (рис. 4).

Показники надійності і вартості для варіанта 4:

$$P^{A2}(t) = \prod_{i=1}^n P_i^{A2}(t) = \prod_{i=c,d} \frac{1}{x_{1i}^A - x_{2i}^A} (x_{1i}^A e^{-x_{2i}^A t} - x_{2i}^A e^{-x_{1i}^A t}) \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d}}^n e^{-\lambda_j^B t};$$

$$T_0^{A2} = \int_0^{\infty} P^{A2}(t) dt = \frac{1}{\prod_{i=c,d} (x_{1i}^A - x_{2i}^A)} \left(\frac{x_{1Ac}^A x_{1Ad}^A}{x_{2c}^A + x_{1d}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{2d}^A x_{1c}^A}{x_{2c}^A + x_{1d}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d}}^n \lambda_j^B} \right);$$

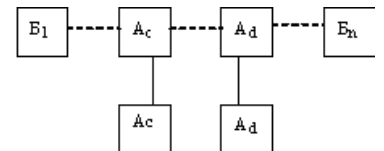


Рис. 4. Логічна схема для варіанта 4

$$\left. \begin{aligned} & - \frac{x_{2c}^A x_{1d}^A}{x_{1c}^A + x_{2d}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d}}^n \lambda_j^B} + \frac{x_{2c}^A x_{2d}^A}{x_{1c}^A + x_{2d}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d}}^n \lambda_j^B} \end{aligned} \right\};$$

$$C^{A2} = C_c^A + C_d^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d}}^n C_j^B.$$

Кількість можливих реалізацій варіантів 4:

$$N^{A2} = C_2^n.$$

Варіант 5. Використовується дублювання 3-х блоків:

A_c, A_d, A_e . (рис. 5).

Показники надійності і вартості для варіанта:

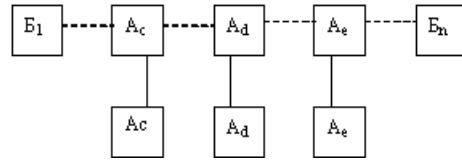


Рис. 5. Логічна схема для варіанта 5

$$P^{A3}(t) = \prod_{i=1}^n P_i^{A3}(t) = \prod_{i=c,d,e} \frac{1}{x_{1i}^A - x_{2i}^A} \left(x_{1i}^A e^{-x_{2i}^A t} - x_{2i}^A e^{-x_{1i}^A t} \right) \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e}}^n e^{-\lambda_j^B t};$$

$$T_0^{A3} = \int_0^\infty P^{A3}(t) dt = \frac{1}{\prod_{i=c,d,e} (x_{1i}^A - x_{2i}^A)} \left(\frac{x_{1c}^A x_{1d}^A x_{1e}^A}{x_{2c}^A + x_{2d}^A + x_{2e}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{1c}^A x_{1d}^A x_{2e}^A}{x_{2c}^A + x_{2d}^A + x_{1e}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{1c}^A x_{2d}^A x_{1e}^A}{x_{2c}^A + x_{1d}^A + x_{2e}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e}}^n \lambda_j^B} + \frac{x_{2c}^A x_{1d}^A x_{1e}^A}{x_{1c}^A + x_{2d}^A + x_{2e}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{2c}^A x_{1d}^A x_{2e}^A}{x_{1c}^A + x_{2d}^A + x_{1e}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e}}^n \lambda_j^B} + \frac{x_{2c}^A x_{2d}^A x_{1e}^A}{x_{1c}^A + x_{1d}^A + x_{2e}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{2c}^A x_{2d}^A x_{2e}^A}{x_{1c}^A + x_{1d}^A + x_{1e}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e}}^n \lambda_j^B} \right);$$

$$C^{A3} = 2 \sum_{i=c,d,e} C_i^A + \sum_{j \neq c,d,e} C_j^B.$$

Кількість можливих реалізацій варіантів 5: $N^{A3} = C_3^n$.

Варіант 6. Використовується дублювання 4-х блоків: A_c, A_d, A_e, A_m (рис. 6).

Показники надійності і вартості для варіанта 6:

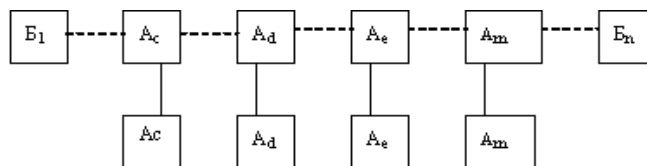


Рис. 6. Логічна схема для варіанта 6

$$\begin{aligned}
 P^{A4}(t) &= \prod_{i=1}^n P_i^{A4}(t) = \prod_{i=c,d,e,m} \frac{1}{x_{1i}^A - x_{2i}^A} \left(x_{1i}^A e^{-x_{2i}^A t} - x_{2i}^A e^{-x_{1i}^A t} \right) \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n e^{-\lambda_j^B t}; \\
 T_0^{A4} &= \int_0^\infty P^{A4}(t) dt = \frac{1}{\prod_{i=c,d,e,m} (x_{1i}^A - x_{2i}^A)} \left(\frac{x_{1c}^A x_{1d}^A x_{1e}^A x_{1m}^A}{x_{2c}^A + x_{2d}^A + x_{2e}^A + x_{2m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} - \right. \\
 &- \frac{x_{1c}^A x_{1d}^A x_{1e}^A x_{2m}^A}{x_{2c}^A + x_{2d}^A + x_{2e}^A + x_{1m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{1c}^A x_{1d}^A x_{2e}^A x_{1m}^A}{x_{2c}^A + x_{2d}^A + x_{1e}^A + x_{2m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} + \\
 &+ \frac{x_{1c}^A x_{1d}^A x_{2e}^A x_{2m}^A}{x_{2c}^A + x_{2d}^A + x_{1e}^A + x_{1m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{1c}^A x_{2d}^A x_{1e}^A x_{1m}^A}{x_{2c}^A + x_{1d}^A + x_{2e}^A + x_{2m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} + \\
 &+ \frac{x_{1c}^A x_{2d}^A x_{1e}^A x_{2m}^A}{x_{2c}^A + x_{1d}^A + x_{2e}^A + x_{1m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{1c}^A x_{2d}^A x_{2e}^A x_{1m}^A}{x_{2c}^A + x_{1d}^A + x_{1e}^A + x_{2m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} - \\
 &- \frac{x_{1c}^A x_{2d}^A x_{2e}^A x_{2m}^A}{x_{2c}^A + x_{1d}^A + x_{1e}^A + x_{1m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{2c}^A x_{1d}^A x_{1e}^A x_{1m}^A}{x_{1c}^A + x_{2d}^A + x_{2e}^A + x_{2m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} + \\
 &+ \frac{x_{2c}^A x_{1d}^A x_{1e}^A x_{2m}^A}{x_{1c}^A + x_{2d}^A + x_{2e}^A + x_{1m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} + \frac{x_{2c}^A x_{1d}^A x_{2e}^A x_{1m}^A}{x_{1c}^A + x_{2d}^A + x_{1e}^A + x_{2m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} - \\
 &- \frac{x_{2c}^A x_{1d}^A x_{2e}^A x_{2m}^A}{x_{1c}^A + x_{2d}^A + x_{1e}^A + x_{1m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} + \frac{x_{2c}^A x_{2d}^A x_{1e}^A x_{1m}^A}{x_{1c}^A + x_{1d}^A + x_{2e}^A + x_{2m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} - \\
 &- \frac{x_{2c}^A x_{2d}^A x_{1e}^A x_{2m}^A}{x_{1c}^A + x_{1d}^A + x_{2e}^A + x_{1m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} - \frac{x_{2c}^A x_{2d}^A x_{2e}^A x_{1m}^A}{x_{1c}^A + x_{1d}^A + x_{2e}^A + x_{1m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} + \\
 &+ \left. \frac{x_{2c}^A x_{2d}^A x_{2e}^A x_{2m}^A}{x_{1c}^A + x_{1d}^A + x_{1e}^A + x_{1m}^A + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c,d,e,m}}^n \lambda_j^B} \right); \\
 C^{A4} &= 2 \sum_{i=c,d,e,m} C_i^A + \sum_{j \neq c,d,e,m} C_j^B.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Кількість можливих реалізацій варіанта 6: $N^{A4} = C_4^n$.

Аналіз формул дозволяє вивести загальну формулу для середнього часу напрацювання до від-

мови для різних варіантів резервування

$$T_0^{(q)} = \frac{1}{\prod_{l=1}^q \Delta X_l} \sum_{j=0}^{2^q-1} \frac{(-1)^{r_j} \prod_{l=1}^q (x_{1l} b_{lj}) (x_{2l} \bar{b}_{lj})}{\sum_{l=1}^q [(x_{1l} \bar{b}_{lj}) + (x_{2l} b_{lj})] + \sum_{k=1}^{n-q} (\lambda_k^B \bar{a}_k)}, \quad (2)$$

де l — номер елемента, що резервується $l = 1 \dots q$; q — кількість елементів, що резервуються; j — номер доданка суми, $j = 0 \dots 2^q - 1$; k — номер елементів, що резервуються $k = 1 \dots (n - q)$; n — кількість елементів у даній підсистемі; $\Delta X_l = x_{1l} x_{2l}$; a_k — розрядна цифра в k -му розряді двійкового коду номера варіанта резервування Na ; b_{lj} — розрядна цифра в l -му розряді номера доданка суми j ; r_j — коефіцієнт, обумовлений кількістю в двійковому представленні j . Для парної кількості одиниць $r = 0$, для непарної — $r = 1$.

Нехай, наприклад, $q = 4$, $n = 6$, $j = 3$, $N_b = 0011$, код номера варіанта резервування $Na = 110101$. В результаті отримуємо складову суми (2)

$$\frac{x_{19} x_{16} x_{21} x_{23}}{x_{11} + x_{13} + x_{25} + x_{26} + \lambda_2^B + \lambda_4^B},$$

яка відповідає 4-й складовій у виразі (2).

Аналогічно для ймовірності безвідмовної роботи.

$$P^{(q)}(t) = \frac{1}{\prod_{l=1}^q \Delta X_l} \sum_{j=0}^{2^q-1} (-1)^{2j} \prod_{l=1}^q (x_{1l} b_{lj}) (x_{2l} \bar{b}_{lj}) e^{\left\{ \sum_{l=1}^q [(x_{1l} \bar{b}_{lj}) + (x_{2l} b_{lj})] + \sum_{k=1}^{n-q} (\lambda_k^B \bar{a}_k) \right\} t}. \quad (3)$$

Коефіцієнт готовності і вартість підсистеми визначаються за формулами

$$K_r^{(q)} = \prod_{l=1}^q \left(\frac{1}{1 + \gamma_{cl}} \right) \prod_{k=1}^{n-q} \left(\frac{1}{1 + \gamma_k} \right); \quad (4)$$

$$C^{(q)} = 2 \sum_{l=1}^q C_l^A + \sum_{k=1}^{n-q} C_k^B. \quad (5)$$

Використовуючи виведені формули, можна отримати такі формули для показників надійності системи контролю, що складається з m підсистем:

$$P_{CK}(t) = \prod_{S=1}^m P_S(t) = \prod_{s=1}^m \prod_{l=1}^n P_{ls}(t) = \frac{1}{\prod_{s=1}^m \prod_{l=1}^n \Delta X_{ls}} \prod_{s=1}^m \left\{ \sum_{js=1}^{2^{qs}-1} (-1)^{r_{js}} \prod_{ls=1}^{qs} (x_{1ls} b_{lsjs}) (x_{1ls} \bar{b}_{lsjs}) \times \right. \\ \left. \times e^{-\left\{ \sum_{ls=1}^{qs} [(x_{1ls} \bar{b}_{lsjs}) + (x_{2ls} b_{lsjs})] + \sum_{ks=1}^{n-qs} (\lambda_{ks}^B \bar{a}_{ks}) \right\} t} \right\};$$

$$T_{ock} = \int_0^b P_{ck}(t) dt = \frac{1}{\prod_{s=1}^m \prod_{l=1}^{qs} \Delta X_{ls}} \int_0^b \prod_{s=1}^m \left\{ \sum_{js=0}^{2^{qs}-1} (-1)^{r_{js}} \prod_{ls=1}^{qs} (x_{1ls} b_{lsjs}) (x_{1ls} \bar{b}_{lsjs}) \times \right. \\ \left. \times e^{-\left\{ \sum_{ls=1}^{qs} [(x_{1ls} \bar{b}_{lsjs}) + (x_{2ls} b_{lsjs})] + \sum_{ks=1}^{n-qs} (\lambda_{ks}^B \bar{a}_{ks}) \right\} t} \right\} dt.$$

Якщо системи ідентичні, то

$$P_{CK}(t) = \frac{1}{\left(\prod_{l=1}^q \Delta X_l\right)^m} \left\{ \sum_{j=0}^{2^q-1} (-1)^{r_j} \prod_{l=1}^q (x_{1l} b_{lj}) (x_{2l} \bar{b}_{lj}) e^{-\left\{ \sum_{l=1}^q [(x_{1l} \bar{b}_{lj}) + (x_{2l} b_{lj})] + \sum_{k=1}^q (\lambda_k^B \bar{a}_k) \right\} t} \right\}^m ;$$

$$T_{ock} = \frac{1}{\left(\prod_{l=1}^q \Delta X_l\right)^m} \int_0^\infty \left\{ \sum_{j=0}^{2^q-1} (-1)^{r_j} \prod_{l=1}^q (x_{1l} b_{lj}) (x_{2l} \bar{b}_{lj}) e^{-\left\{ \sum_{l=1}^q [(x_{1l} \bar{b}_{lj}) + (x_{2l} b_{lj})] + \sum_{k=1}^{n-q} (\lambda_k^B \bar{a}_k) \right\} t} \right\}^m dt.$$

Для ідентичних підсистем коефіцієнт готовності і вартість системи контролю визначаються такими виразами:

$$K_{rck} = \left[\prod_{l=1}^q \left(\frac{1}{1 + \gamma_{cl}} \right) \prod_{k=1}^{n-q} \left(\frac{1}{1 + \gamma_k} \right) \right]^m ; \tag{6}$$

$$C_{ck} = m \left(2 \sum_{l=1}^q C_l^A + \sum_{k=1}^{n-q} C_k^B \right). \tag{7}$$

Вибір методу оптимізації СК за критерієм надійності

Очевидно, що необхідна надійність має бути забезпечена з мінімальними витратами. Як витрати можуть бути розглянуті такі характеристики системи: вартість, вага або габаритні розміри. Вибір характеристики визначається конкретним видом системи і її призначенням. За найважливішу характеристику системи контролю мережі SS7 доцільно вибрати вартість.

Якщо за основні показники надійності системи, які потрібно поліпшити, взято імовірність безвідмовної роботи системи за певний час або коефіцієнт готовності, що можуть бути виражені у вигляді добутку відповідних показників надійності, то розв'язання задачі оптимізації може бути точним. Якщо ж за показник надійності системи обрано середній час безвідмовної роботи, то розв'язання задачі в загальному випадку буде наближеним. Надалі передбачається необмежене обслуговування системи, що є необхідним для взаємозалежності елементів системи в процесі відновлення.

Формулювання задачі для випадку одного обмеження і показника надійності типу імовірності безвідмовної роботи або коефіцієнта готовності

Характерною рисою цих задач є те, що показник надійності системи виражається у вигляді добутку відповідних показників надійності окремих ділянок цієї системи

$$R(x_1, \dots, x_m) = \prod_{i=1}^m R_i(x_i),$$

де $R(x_1, \dots, x_m)$ — показник надійності системи, логічна схема якої визначається структурою (x_1, \dots, x_m) елементів системи: якщо, наприклад, $x_i = A_i$, то на i -й ділянці системи застосовуються елементи типу А з резервуванням, якщо ж $x_i = B_i$, то на i -й ділянці системи застосовуються високонадійні елементи типу Б без резервування; $R_i(x_i)$ — показник надійності i -ї ділянки системи.

За наявності одного обмежувального фактора можлива постановка двох задач оптимізації.

1. Шляхом вибору структури логічної схеми системи домогтися того, щоб показник надійності був не меншим R_0 з мінімальною вартістю системи. Цю задачу можна записати у вигляді

знайти $C(x_1, \dots, x_m)$, де $C(x_1, \dots, x_m) = \sum_{i=1}^m C_i(x_i)$ за умови $R(x_1, \dots, x_m) \geq R_0$.

2. Шляхом вибору структури системи домогтися того, щоб за умови максимально можливого

показника надійності системи R , вартість системи не перевищила заданого значення C_0 . Цю задачу можна записати у вигляді:

знайти $\max R(x_1, \dots, x_m)$ за умови $C(x_1, \dots, x_m) \leq C_0$.

У [3] розглянуті методи розв'язання однієї задачі вибору оптимального методу резервування, коли застосовуються невідновлювані елементи одного рівня надійності і визначається кратність резервування (кількість резервних елементів) на кожній їхній ділянці. Якщо відомі статистичні характеристики надійності окремих елементів системи і характер залежності показників надійності від збільшення кількості резервних елементів, точне значення кількості резервних елементів може бути визначене за допомогою методу динамічного програмування. Якщо не відомі точні статистичні характеристики окремих елементів або ж складена математична модель є досить грубим наближенням до реальної системи, наближене розв'язання задачі може бути здійснено за допомогою методу найшвидшого спуску.

Формулювання задачі для випадку одного обмеження і показника надійності типу середнього часу безвідмовної роботи

У цьому випадку показник надійності системи дорівнює

$$T(x_1, \dots, x_m) = \int_0^{\infty} P(t/x_1, \dots, x_m) dt = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^m P_i(t/x_i) dt,$$

де $P(t/x_1, \dots, x_m)$ — ймовірність безвідмовної роботи системи зі структурою (x_1, \dots, x_m) за час t ; $P_i(t/x_i)$ — ймовірність безвідмовної роботи i -ї ділянки системи.

У даному випадку можуть бути сформульовані дві такі оптимізаційні задачі

1. Шляхом вибору оптимальної структури домогтися того, щоб середній час безвідмовної роботи T_0 був не меншим від заданого за умови мінімально можливої вартості системи. Цю задачу можна записати у формі:

знайти $\min C(x_1, \dots, x_m)$ за умови $T(x_1, \dots, x_m) \geq T_0$.

2. Шляхом вибору оптимальної структури домогтися того, щоб за максимально можливий середній час безвідмовної роботи, вартість системи не перевищувала заданого значення C_0 . Цю задачу можна записати у формі:

знайти $\max T(x_1, \dots, x_m)$ за умови $C(x_1, \dots, x_m) \leq C_0$.

Строге розв'язання цієї задачі може бути отримано лише шляхом прямого перебору. У [3] наведено грубий розв'язок для ненавантаженого резерву без відновлення із застосуванням нормального розподілу ймовірностей. Можна відзначити два основних випадки:

1) Якщо всі величини (або більшість з них) приблизно рівні між собою, то справжнє значення ближче до нижньої границі.

2) Якщо серед величин $T_i(x_i)$ одна (або невелике число) істотно менша величин $T_i(x_i)$ ніж інші компоненти, то справжнє значення ближче до верхньої границі.

З огляду на вимоги до показників надійності система контролю характеризується такими особливостями:

1. Показники надійності повинні бути дуже високими.

2. Розрахункові формули навіть для показників надійності підсистем досить громіздкі. Вирази (1), (2) можуть складатися з 64 доданків. Формули (3), (4) для показників надійності системи контролю ще громіздкіші. При цьому необхідно враховувати, що наведені формули складені для наближеної моделі надійності. У цьому зв'язку розрахунки повинні виконуватися з високою точністю.

3. Досить складно одержати вихідні статистичні характеристики показників надійності елементів.

4. У літературі не наводяться розв'язки задач оптимізації показників надійності об'єктів з такими характеристиками.

У зв'язку з цим доцільно оптимізаційну задачу з урахуванням досліджень, результати яких викладено у цій статті, розв'язувати в такому порядку:

1. Провести аналіз спрощеної моделі надійності підсистем системи контролю. При цьому забезпечити можливість моделювання зміни показників надійності елементів.
2. Розв'язати задачу оптимізації підсистем за спрощеною моделлю надійності.
3. Розробити варіанти ускладнення моделі надійності з метою наближення її до реальних властивостей елементів системи контролю (наявність самоконтролю, комутації; затримки на виконання контрольних операцій тощо).
4. Провести аналіз можливості розрахунків показників надійності системи контролю відповідно до формул (6), (7).

Висновки

У статті запропоновано підхід до оптимізації систем контролю цифрових телекомунікаційних мереж за надійнісними критеріями. Визначено моделі, що описують показники надійності з урахуванням ієрархічної структури системи контролю та показників її елементів. Запропоновано методику розв'язання оптимізаційної задачі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лысогор В. Г., Скидан Ю. А., Качковский А. И., Буняк Ю. А., Мартыновский А. Л., Носальский А. А., Скидан О. Ю. Мониторинг и тестирование сетей с сигнализацией № 7 // Зв'язок. — 1998. — № 4. — С. 35—37.
2. Бакланов И. Г. Тестирование и диагностика систем связи. — М.: Эко-Трендз, 2001 — 264 с.
3. Вопросы математической теории надежности / Е. Ю. Барзимович и др. Под ред. Б. В. Гнеденко. — М.: Радио и связь, 1983 — 376 с.
4. Райкин А. Л. Элементы теории надежности технических систем. — М.: Сов. радио, 1978 — 280 с.

Рекомендована кафедрою автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки

Надійшла до редакції 21.12.04
Рекомендована до друку 26.01.05

Лисогор Володимир Григорович — директор департаменту розвитку та будівництва мереж зв'язку ВАТ «Укртелеком», м. Київ.