

УДК 621.004

Борис Михайлович Андреєв,  
Сергій Станіславович Штаненко,  
Олег Ігорович Бурба

## ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ТА ВИТРАТ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РЕЗЕРВНИХ ДІЛЯНОК В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Для великих, інформаційних, ієрархічних, територіально-розділених систем, до яких відносяться інформаційно-телекомунікаційні мережі спеціального призначення (ІТМ СП), поняття надійності роботи системи є одним з визначальних, оскільки вони потребують не лише супроводу, але і безпосередньої участі адміністратора в технологічному процесі [1].

Визначимо надійність як властивість об'єкта у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування [2].

Надійність є комплексною властивістю, що залежно від призначення об'єкта і умов його застосування, може містити в собі безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність та збережуваність чи певні поєднання цих властивостей [3].

Основними показниками надійності є: безвідмовність (властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку) і ремонтопридатність (властивість об'єкта бути пристосованим до підтримання відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту).

Введемо ряд визначень, що характеризують надійність роботи ІТМ СП, як розподіленої, інформаційної системи в цілому.

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  — ймовірність того, що система буде працездатна протягом заданого часу роботи при заданих умовах експлуатації. Ймовірність безвідмовної роботи — це характеристика безвідмовності системи [4]. Даний показник будемо застосовувати для оцінки безвідмовності системи під час проведення командно-штабних навчань як відрізок часу, коли вона використовується за своїм основним призначенням.

Коефіцієнт готовності  $K_g$  — властивість об'єкта бути здатним виконувати потрібні

функції в заданих умовах у будь-який час чи протягом заданого інтервалу часу за умови забезпечення необхідними зовнішніми ресурсами:  $T_0$  — середній час напрацювання на відмову і  $T_B$  — середній час відновлення після відмови. Враховуючи той факт, що часу на ремонт елементів системи під час проведення командно-штабних навчань немає, то цей показник оцінює ймовірність працездатності системи в довільний момент часу, не обмежений лише часом проведення навчань.

Коефіцієнт оперативної готовності  $K_{og}(t)$  — ймовірність того, що система виявиться працездатною в довільний момент часу, і, починаючи з цього моменту, буде працездатною ще протягом певного часу  $K_{og}(t) = K_g P(t)$ . Це також комплексна характеристика безвідмовності та ремонтопридатності системи. У нашому випадку  $K_{og}(t)$  характеризує ймовірність виконання системою свого основного завдання під час проведення навчань з урахуванням того, що система буде в працездатному стані в момент початку проведення заключної фази навчання.

В статті розглядається часткова задача забезпечення заданого рівня надійності для окремого сегмента ІТМ СП здатного забезпечити передачу даних без перерв в обслуговуванні при виході з ладу окремого каналу або мережевого вузла. Окремим або автономним сегментом вважається територіально або логічно відособлений сегмент мережі, що взаємодіє з іншими сегментами мережі або мережами через ліній зв'язку. Передбачається, що сусідні й, тим більше, вилучені сегменти роблять незначний вплив на показники функціонування розглянутого сегмента. Під перервою в обслуговуванні розуміємо затримку, критичну для нееластичного трафіка або трафіка реального часу.

При дослідженнях ІТМ СП, що містить  $N$  справних вузлів в процесі роботи деяка її частка, наприклад  $N_1$ , виходить з ладу. Тоді до моменту часу  $t_1$  буде працювати  $N(t_1)$  вузлів.

Очевидно, що  $N(t_i) = N - N_1$ . Відношення  $Q(t_i) = N_1 / N$  — характеризує статистичну частоту відмов і є оцінкою теоретичної ймовірності відмови вузла ITM СП. Інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  представляє умовну ймовірність виникнення відмови в деякий момент часу за умови, що до цього моменту відмов у системі не було. Величина  $\lambda(t)$  визначається відношенням

$$\lambda(t) = \frac{d}{dt} N(t_i).$$

У більшості публікацій, зокрема [5—9], для надійної передачі повідомлень в ITM полагається необхідним передбачити наявність не тільки обраного за тими чи іншими критеріями маршруту, але й можливість перенесення сигнального трафіку, тощо. Необхідність таких варіацій виникає при відмовах у мережі, її перевантаженнях, поділі на вантаження й в інших ситуаціях. Разом з тим, наявність додаткових каналів для наданої передачі повідомлень призводить до збільшення витрат як у використанні мережі, так на її утримання й експлуатацію.

На рис. 1. показана ділянка мережі, надійність якої необхідно підтримувати на рівні не нижче заданого. Таку задачу можна вирішити шляхом резервування найбільш відповідальних елементів мережі. Тут ми не торкаємося питань вибору числа резервних каналів передачі, топології мережі або способу організації каналів (наприклад, шляхом створення фізичних або віртуальних підканалів).

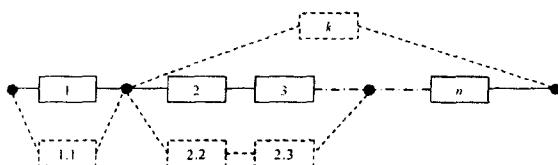


Рис. 1. Ділянка мережі з резервним маршрутом

Вважаючи додаткові канали (ділянки мережі) як резервні, які вводяться для підвищення надійності, розглянемо наступну задачу: потрібно визначити таку структуру мережі при якій забезпечувалися б мінімальні сумарні витрати на використання резервних ділянок за умови, що результатуючий показник надійності був би не нижче необхідної величини.

Для еквівалентної схеми маршруту (рис. 2), до якої може бути наведена схема виду рис. 1 та її подібні, наближене рішення задачі оптимального резервування методом множників Лагранжа формулюється в такий спосіб:

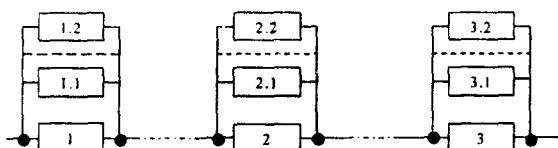


Рис. 2. Еквівалентна схема резервування маршрутів

Потрібно знайти

$$\min_x C(X) = \min_x \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

$$\text{при } Q(x) = \sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1} = Q_0,$$

де  $C(X)$  — витрати на використання всієї резервої мережі;

$Q(x)$  — показник ненадійності всієї мережі, що використовується;

$Q_0$  — необхідне значення показника надійності;

$c_i x_i$  — витрати на використання  $x_i$ -их резервних каналів  $i$ -ї ділянки мережі;

$c_i$  — витрати на  $i$ -уділянку мережі (без резерву);

$q_i$  — показник ненадійності.

Припустимо, що

$$Q(x) = 1 - R(x) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - (1 - r_i)^{x_i+1}] = \\ = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i^{x_i+1})$$

де  $R(x) = R_0$ ;

$R(x)$  — показник надійності;

$r_i = (1 - q_i)$  — показник надійності одного каналу  $i$ -ї ділянки мережі;

$R_0 = 1 - Q_0$  — необхідне значення показника надійності.

Метод рішення варіантної задачі управління надійністю при лінійних обмеженнях на сумарні витрати.

Для рішення прямої задачі методом множників Лагранжа складається функція

$$F(X) = C(X) + \lambda Q(X) = \sum_{i=1}^n c_i x_i + \lambda \sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1},$$

де  $\lambda$  — коефіцієнт пропорційності.

Система рівнянь для визначення шуканих  $x_i$  має наступний вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\sum_{i=1}^n c_i x_i + \lambda \sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1}), \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1} = Q_0. \quad (2)$$

Якщо функції  $\sum_{i=1}^n c_i x_i$  та  $\sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1}$  рівняння (1) залежать тільки від одного з компонентів  $x_i$  вектора  $X_i$ , можна записати:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial}{\partial x_i} (\sum_{i=1}^n c_i x_i + \lambda \sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1}) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_i} (c_i x_i + \lambda q_i^{x_i+1}) = c_i + \lambda (\ln q_i) q_i^{x_i+1} = 0, \end{aligned}$$

$$\text{де } q_i^{x_i+1} = -\frac{c_i}{\lambda \ln q_i}. \quad (3)$$

Запишемо (3) у вигляді

$$q_i^{x_i} = -\frac{c_i}{\lambda \ln q_i} = \frac{\alpha}{\lambda q_i}, \quad (4)$$

де  $\alpha_i = -\frac{c_i}{\ln q_i}$ .

Підставивши (3) у рівняння (2), одержимо  $\frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \alpha_i = Q_0$ , звідки для визначення  $\lambda$  маємо

$$\lambda = \frac{1}{Q_0} \sum_{i=1}^n \alpha_i.$$

З урахуванням виразу (4) визначаємо значення, які шукаються  $x_i$ :

$$x_i = \frac{1}{\ln q_i} \ln \frac{\alpha_i}{\lambda q_i}. \quad (5)$$

Остаточно отримуємо рішення:

$$x_i = \frac{1}{\ln q_i} \ln \left( \frac{Q_0}{q_i} \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \right). \quad (6)$$

При використанні методу мається на увазі безперервність аргументів  $x_i$ , а одержані в процесі рішення значення  $x_i$  необхідно округлити до найближчого цілого числа. Здійснюючи перебір  $2^n$  можливостей рішень, вибираємо той варіант, при якому показник надійності не менше заданого, а сумарні витрати на використання резервних мереж мінімальні.

При розгляді зворотної задачі оптимального резервування визначається структура мережі, при якій показник надійності максимальний (відповідно, показник ненадійності мінімальний) за умови, що сумарні витрати на резервування не перевищують заданого значення  $C_0$ .

Потрібно знайти  $\min_Q(x) = \min_x \sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1}$  при рівнянні зв'язку  $C(X) = \sum_{i=1}^n c_i x_i = C_0$ .

Як й у прямій задачі, становимо систему рівнянь:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( \sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1} + \lambda \sum_{i=1}^n c_i x_i \right) = 0,$$

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i = 0.$$

Рішення системи дає наступний вираз для значення, які шукається  $x_i$ :

В статье проведена оценка надежности, как отдельных элементов сети, так и сети в целом с указанием степени влияния элементов на общую ее надежность, а также определена структура сети, при которой обеспечиваются бы минимальные суммарные расходы на использование резервных участков при условии, что результатирующий показатель надежности был бы не ниже необходимой величины.

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационная сеть, теория надежности, показатели качества системы.

$$x_i = \frac{1}{\ln q_i} \left[ \left( -\sum_{i=1}^n \alpha_i \right)^{-1} \left( \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln \frac{\alpha_i}{q_i} + C_0 \right) + \ln \frac{\alpha_i}{q_i} \right],$$

де  $\alpha_i = -\frac{C_0}{\ln q_i}$ .

Значення  $x_i$  округлюється відповідно до умов поставленої задачі оптимізації.

Як приклад, визначимо оптимальне за показником надійності число резервних мереж для маршруту із трьох ділянок, що мають наступні дані:

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,9; q_1 = 0,1; c_1 = 1 \\ r_2 &= 0,98; q_2 = 0,02; c_2 = 2 \\ r_3 &= 0,94; q_3 = 0,06; c_3 = 1,5 \\ R_0 &= 0,95; Q_0 = 0,05 \end{aligned}$$

Відповідні обчислення за формулою (6) дають наступні значення  $x_i$ :  $x_1 = 0,82; x_2 = 0,36; x_3 = 0,42$ .

Варіант  $x_1 = 1; x_2 = 0; x_3 = 1$  є оптимальним, що забезпечує  $R(\bar{X}) = 0,966$  при мінімальних витратах  $C(X) = 7$ . Під час відсутності резервування  $R(X) = 0,829$  при витратах  $C(X) = 4,5$ .

Таким чином, при достатній простоті методу одержимо наочне та ефективне рішення поставленої задачі.

Подальшою задачею слід вважати розробку методики і алгоритму отримання відносних кількісних характеристик витрат, їх класифікацію і аналітичну залежність.

## Література

1. Кравченко О. О. Пріоритетні напрямки розвитку системи зв'язку та автоматизації управління військами Збройних Сил України / О. О. Кравченко // IV наук.-практ. конф. "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення". — К. : ВІТІ НТУУ "КПІ", 2008. — С. 12–15. 2. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення: ДСТУ 2470-94. — 96 с. — (Національний стандарт України). 3. Ушаков И. А. Надежность технических систем : справ. / И. А. Ушаков, Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев. — М. : Радио и связь, 1985. — 608 с. 4. Авдуевский В. С. Надежность и эффективность в технике : справ. / В. С. Авдуевский. — М. : Машиностроение, 1987. — Т. 2. Математические методы в теории надежности. — 280 с. 5. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г. В. Дружинин. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 480 с. 6. Назаров А. Н. АТМ: технические решения создания сетей / А. Н. Назаров, И. А. Разживин, М. В. Симонов. — М. : Горячая линия — Телеком, 2001. — 379 с. 7. Казаков С. И. Основы сетевых технологий / С. И. Казаков — М. : Микроинформ, 1995. — 384 с. 8. Gillespie A. Evolving Access Networks: a European perspective // IEEE Communications Magazine, 1997, March. — С. 47–54. 9. Голованов Б. Г. Введение в программирование в сетях Nowell NetWare / Б. Г. Голованов, А. В. Клименко, В. И. Куличич. — М. : Вильямс, 1994. — 384 с.

In his paper we evaluate a reliability of separate network elements as well as the network in general, indicating degree of elements influences on its full reliability. Also a Network frame, which provides minimal totally price for using reserve areas, assuming that resulting reliability coefficient would be the same as a desirable value at least, was determined.

**Key words:** IT network, Reliability theory, System quality coefficient.