

## Література

1. Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты / В.В. Домарев. – К.: ТИД Диа Софт, 2002. –688 с.
2. Бегун А.В. Інформаційна безпека / А.В. Бегун. – К.:КНЕУ, 2008. –280 с.
3. Домарев В.В. Управління інформаційною безпекою в банківських установах / В.В. Домарев, Д.В. Домарев. . – Донецьк: Велстар, 2012. – 146 с.

УДК 621.391

Дьоміна Л.О., асп. (Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Дьоміна Л.О. Дослідження оптимального резервування для визначення надійності інфокомунікаційних мереж. Сформульовано задачі оптимального резервування, визначені алгоритми пошуку кількості резервних елементів для показників надійності. Розглянуті методи проектування мереж та їх характеристики.

**Ключові слова:** ІНФОКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, НАДІЙНІСТЬ, РЕЗЕРВУВАННЯ

Дёмина Л.О. Исследование оптимального резервирования для определения надежности инфокоммуникационных сетей. Сформулированы задачи оптимального резервирования, определены алгоритмы поиска количества резервных элементов для показателей надежности. Рассмотрены методы проектирования сетей и их характеристики.

**Ключевые слова:** ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, РЕЗЕРВИРОВАНИЕ

**Diomina L.O. Study to determine the optimal redundancy information and communication networks reliability.** The problems of optimal redundancy, defined search algorithms of standby units for reliability. The methods of designing networks and their characteristics.

**Keywords:** INFOCOMMUNICATION NETWORK, RELIABILITY, RESERVATION

**Вступ.** Одним з основних критеріїв якості є надійність, тобто це властивість системи зберігати протягом певного проміжку часу значення параметрів, що характеризують функціонування системи. Це комплексна властивість системи, залежна від її безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності і т.д. Тобто, це властивість системи зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах експлуатації [1]. Теорія надійності використовує апарат теорії ймовірностей і математичної статистики.

Особливий інтерес викликають методи, які дають можливість передбачити критичні ситуації для інфокомунікаційної мережі. Однією з найбільш ефективних теорій, що дозволяє оцінити параметри мережі, за яких можуть виникнути критичні ситуації, є теорія катастроф. Як відомо, “катастрофа” – це стрибкоподібна зміна, що виникає при плавній зміні зовнішніх умов [2]. Як правило, методи проектування мереж зводяться до того, щоб маючи на вході різні характеристики компонент мережі, у тому числі й характеристики їх надійності, визначити топологію мережі й обчислити надійність у цілому. Телекомунікаційні системи можна віднести до систем, що складаються з великої кількості підсистем. Зі збільшенням складності системи зв'язку імовірність виходу з ладу будь-якого її компонента збільшується. Сучасні системи зв'язку використовують велику кількість елементів, що робить необхідним використання обхідних маршрутів і резервування для підвищення коефіцієнта готовності системи зв'язку в цілому. Резервування – метод підвищення надійності об'єкта шляхом введення додаткових елементів і функціональних можливостей понад мінімально необхідних для нормального виконання об'єктом заданих функцій [3]. Підвищувати якість функціонування телекомунікаційних систем і мереж можна різними способами.

Тому дослідження оптимального резервування, а саме, визначення пошуку кількості резервних елементів для показників надійності  $R$ - і  $T$ -типів із заданою кількістю обмежень

в телекомунікаційних системах і мережах, вирішує завдання використання резервних каналів зв'язку в мережі з різними типами показників надійності й наявністю обмежень.

**Актуальність теми.** У складних багатоелементних системах до потенційно небезпечної пригоди можуть призвести послідовні і спільні відмови різних елементів системи. Тому для підвищення надійності елементів (ймовірності безвідмовної роботи) системи, і як наслідок, надійності самої системи, використовуються різні методи резервування. Важливо розрізняти кілька аспектів надійності. Використовуються такі показники надійності, як: *середній час напрацювання на відмову*; *ймовірність відмови*; *інтенсивність відмов*. Однак ці показники придатні для оцінки надійності простих систем, які можуть знаходитися тільки в двох станах – працездатному чи непрацездатному. Складні системи, що складаються з багатьох елементів, крім станів працездатності і непрацездатності, можуть мати й інші проміжні стани. Для оцінки надійності складних систем застосовується такий набір характеристик як: *готовність* або коефіцієнт готовності; *збереження даних*; *узгодженість* (несуперечність) даних; *імовірність доставки даних*; *безпека*; *відмовостійкість*.

Готовність або коефіцієнт готовності означає період часу, протягом якого система може використовуватися. Готовність може бути підвищена шляхом введення в структуру системи надмірності: ключові елементи системи повинні існувати в декількох екземплярах, щоб при відмові одного з них функціонування системи забезпечували інші.

Однією з характеристик надійності є імовірність доставки інформації без спотворень. Іншим аспектом загальної надійності є безпека, тобто здатність системи захистити дані від несанкціонованого доступу. Ще однією характеристикою надійності є відмовостійкість.

Зрозуміло, що далеко не кожна несправність призводить до невиконання основних функцій. Тому для оцінки надійності системи потрібно ввести поняття “працездатність” та “відмова”. *Працездатність* – стан мережі, при якому вона здатна виконувати задані функції з параметрами, встановленими вимогами договірних зобов'язань та технічної документації. *Відмова* – подія, яка полягає у повній або частковій втраті працездатності системи.

Відмови розділяють на раптові і поступові: *раптові (катастрофічні)* – виникають в результаті миттєвої зміни одного або декількох компонентів, з яких побудована мережа; *поступові (параметричні)* – наслідок зміни параметрів компонентів з плином часу до тих пір, поки значення одного з них не призведе до ненормального функціонування.

Процес виникнення відмов зазвичай описується складними ймовірнісними законами. Припустимо, що досліджується мережа, що містить  $N$  робочих вузлів. У процесі роботи деяка їх частина ( $NI$ ), виходить з ладу. Тоді до моменту часу  $t_i$  буде працювати  $N(t_i)$  вузлів.

Очевидно, що  $N(t_i) = N - NI$ . Вираз  $Q(t_i) = N/N$ , який характеризує статистичну частоту відмов, і є оцінкою теоретичної ймовірності відмови вузла. Інтенсивність відмов ( $t$ ) представляє собою умовну ймовірність виникнення відмови в деякий момент часу за умови, що до цього моменту відмов у системі не було. Величина ( $t$ ) визначається відношенням  $(t) = (dN / dt) / (N - NI)$ .

Для практичного застосування теорії важливо правильно розуміти суть відмов. Їх зручно розглядати за допомогою “кривої життя” мережі, яка ілюструє залежність інтенсивності відмов ( $\lambda$ ) від часу  $t$ . Така ідеалізована крива наведена на рис. 1. Тут можна виділити три явно виражених періоди: *прироблення* (I); *нормальної експлуатації* (II); *зносу* (III).

Період нормальної експлуатації мережі характеризується мінімальною кількістю відмов. Вони здебільшого носять регулярний, параметричний характер, і можуть бути попереджені технічним обслуговуванням. Тривалість другого періоду обумовлена зносом і природним старінням елементів, і дуже сильно залежить від технології побудови мережі.

Відмови в результаті зносу, і відмови, викликані старінням матеріалів, спостерігаються в третій період експлуатації мережі. Вони ще більш закономірні й передбачувані, ніж у

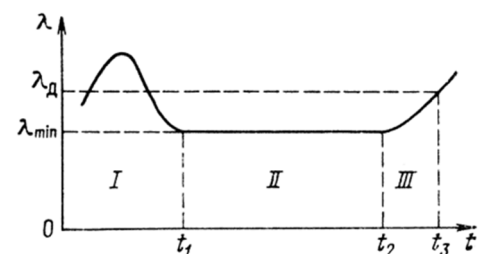


Рис. 1. Графік інтенсивності відмов

попередніх періодах. Але від цього їх усунення не стає простіше. По-перше, відмови в основному носять незворотний характер (обладнання не підлягає ремонту, потрібна повна заміна). По-друге, все більше з'являється залежних відмов, коли усунення одного спричиняє появу наступного. І навпаки, відмови можуть набувати лавиноподібний характер – один тягне за собою цілий ряд наступних.

При вирішенні задач резервування в телекомунікаційних системах зв'язку постає проблема не тільки забезпечити задані показники, але й зробити це економічніше, тобто з найменшими сумарними витратами на резервні елементи для системи в цілому [4].

Метою цієї роботи є знаходження алгоритму оптимального введення надмірності в системи з довільною структурою одразу за двома показниками – ефективності та вартості. Змінюючи ефективність і вартість кожного елемента системи, оптимізується ефективність і вартість системи в цілому.

**1. Визначення задач оптимального резервування.** На практиці виникають ситуації, коли потрібно максимізувати надійність при декількох обмеженнях або мінімізувати витрати для надлишкових елементів при заданій сукупності вимог до надійності окремих телекомунікаційних підсистем. Як обмеження можуть виступати такі величини:

$R(x_1, \dots, x_m)$  – показник надійності за умови, що на  $i$ -й ділянці є резервні елементи;

$T(x_1, \dots, x_m)$  – середній наробіток до відмови за тієї ж умови.

Для різних сполучень вищенаведених показників можливі такі формулювання задач оптимального резервування [3]:

**1) Одне обмеження з показником надійності типу  $R$ .** У цьому випадку показник надійності системи визначається у вигляді добутку відповідних показників надійності окремих ділянок:

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

За наявності одного обмежувального фактора в умовах сформульованого завдання можлива постановка таких задач:

а) роздільним резервуванням системи досягти показника надійності не менше заданого  $R_0$  мінімально можливою вартістю резерву в цілому:  $\min_X \{C(x_1, \dots, x_m) | R(x_1, \dots, x_m) \geq R_0\}$ ;

б) роздільним резервуванням системи, при максимально можливому показнику надійності системи  $R$  (або при мінімально можливих показниках  $Q$  або  $L$ ) вартість усього резерву не перевищила заданого значення  $C_0$ :  $\max_X \{R(x_1, \dots, x_m) | C(x_1, \dots, x_m) \leq C_0\}$ .

Надалі  $R$  будемо інтерпретувати в термінах ймовірностей безвідмовної роботи для невідновлюваних систем. Однак простою заміною цих ймовірностей відповідними коефіцієнтами готовності (або коефіцієнтами оперативної готовності) можуть бути розв'язані оптимальні задачі і для відновлюваних систем.

**2) Одне обмеження з показником надійності типу  $T$ .** У цьому випадку показник надійності системи:

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

Можна сформулювати дві задачі:

а) *Пряма задача.* Роздільним резервуванням системи, що складається з  $T$  ділянок, досягти того, щоб значення середнього наробітку до відмови було не меншим від заданого  $T_0$  з мінімально можливою вартістю резерву в цілому, тобто:

$$\min_X \{C(x_1, \dots, x_m) | T(x_1, \dots, x_m) \geq T_0\}.$$

б) *Зворотна задача.* Роздільним резервуванням системи, що складається з ділянок, максимізувати середній наробіток до відмови  $T$  за умови, що вартість резерву не перевищить заданого значення  $C_0$ :  $\max_X \{T(x_1, \dots, x_m) | C(x_1, \dots, x_m) \leq C_0\}$ .

3) *Кілька обмежень з показником надійності типу R.*

$$\max_x \{R(x_1, \dots, x_m) \mid C_j(x_1, \dots, x_m) \leq C_{j0}, j = 1, \dots\}$$

**Алгоритм оптимального введення надмірності в системи з довільною структурою.**

Далі розглянемо алгоритм оптимального введення надмірності в системи з довільною структурою. Розглянемо деяку систему, що складається з  $n$  елементів. Кожен  $i$ -й елемент може перебувати у двох станах: у стані працездатності ( $S_j = 1$ ) і в стані відмови ( $S_i = 0$ ). Тоді в довільний фіксований момент часу система може перебувати в одному з  $2^n$  різних станів  $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ , де  $S_i$  приймають значення 0 або 1. Показник ефективності  $E$  складної системи визначається як  $E = \sum_S H_S \Phi_S$ , де  $H_S$  — імовірність  $S$ -го стану системи;  $\Phi_S$  — показник

умовної ефективності системи в  $S$ -му стані, додавання здійснюється за всіма індексами  $S$ .

Імовірність  $H_S$  легко розраховується в припущенні незалежності окремих елементів:

$$H_S = \prod_{i=1}^n r_i^{S_i} (1-r_i)^{1-S_i}, \text{ де } r_i \text{ — ймовірність працездатного стану } i\text{-го елемента у фіксований}$$

момент часу.

Припускається, що для кожного елемента варіанти утворюють домінуючу послідовність. Розглянемо задачу оптимального розподілу наявної вартості між елементами системи для того, щоб домогтися максимального показника ефективності  $E$ :

$$E = r_i \left( \sum_{S^*} H_{S^*} (\Phi_{S^*,1} - \Phi_{S^*,0}) + \sum_{S^*} H_{S^*} \Phi_{S^*,0} \right)$$

де  $S^*$  – стан системи без обліку  $i$ -го елемента;  $S^*, 0$  і  $S^*, 1$  – стани системи, коли всі елементи, крім  $i$ -го, перебувають у стані  $S^*$ , а  $i$ -й перебуває в стані  $S_i=0$  або  $S_i=1$  відповідно. Зрозуміло, що величини  $H_{S^*}$  не залежать від  $r_i$ . Таким чином, бачимо, що показник ефективності  $E$  є лінійною функцією  $r_i$ . Розв'язання задачі зводиться до оптимального підвищення надійності елементів для збільшення показника ефективності  $E$  системи при обмеженнях на сумарні витрати  $C_0$  (або для рішення зворотного завдання: мінімізації сумарних витрат системи при обмеженні на показник  $E_0$ ).

**Висновки.** Сформульовано задачі оптимального резервування, а саме, визначені алгоритми пошуку кількості резервних елементів для показників надійності  $R$ - і  $T$ -типів із заданою кількістю обмежень. Дане питання є досить актуальним для телекомунікаційних систем і мереж, тому що, маючи інформацію про топологію мережі й “вузькі місця”, використовуються резервні канали зв'язку й обхідні маршрути з різними типами показника надійності й наявності обмежень. На практиці, визначаючи завдання оптимального резервування для телекомунікаційних систем, найчастіше розглядається алгоритм розв'язання багатofункціональних систем з декількома обмеженнями або резервування з декількома обмеженнями для показника надійності типу  $R$ .

**Література**

1. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-програмных комплексов : учеб. пособие / Г.Н. Черкесов. – Изд. 1-е. – С-Пб., 2004. – 479 с.
2. Кривуца В.Г. Імітаційне моделювання та прогнозування : підруч. для ВНЗ / В.Г. Кривуца. – К.:1999. – 150 с.
3. 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.
4. Комарницкий Э.И. Надежность работы волоконно-оптических сетей связи и оперативное устранение аварий / Э.И. Комарницкий // LIGHTWAVE Russian Edition. – 2005. – № 4.