

УДК 621.396

*Володимир Сергійович Легкобит  
Олексій Володимирович Станович  
Анатолій Григорович Міщенко  
Петро Петрович Кисиленко*

## **МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛІННЯ НАДІЙНІСТЮ АВТОНОМНОГО СЕГМЕНТУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ З ЛІНІЙНИМ ОБМЕЖЕННЯМ РЕСУРСІВ**

### **Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Сучасні телекомунікаційні мережі містять десятки мільйонів мережевих і сотні мільйонів термінальних вузлів. При вирішенні завдань обміну даними, розподіленого управління, контролю параметрів і стану технічних та інших систем широко використовуються мережеві технології. З цієї причини проблема надійності телекомунікаційних мереж стає все більш актуальною.

Перш ніж поставити питання щодо надійності мережі, визначимо деякі базові поняття. Надійність будь-якої системи визначається надійністю складових її елементів. У свою чергу, надійність елементів задається часом напрацювання на відмову або ймовірністю відмови за конкретний період часу. Надійності різних елементів можуть мати значне рознесення. У результаті, як середні значення надійності, так і розподілу ймовірності відмов різних мережевих пристроїв можуть варіюватися в широких межах. У багатьох випадках надійність і розподіл надійності визначаються емпірично. Якщо надійність визначити як працездатність всіх елементів, надійність мережі виявиться рівною нулю - завжди знайдеться несправний або відключений мережевий або термінальний вузол. Якщо ж визначити надійність системи, як можливість комунікації між  $N$  довільно обраних вузлів, то надійність мережі виявиться практично рівною одиниці. При цьому абсолютно незрозуміло, як вирішити проблему вибору цих вузлів. Якщо вузол, що представляє інтерес, не потрапляє в число вибраних, рішення взагалі не має змістовного сенсу. Отже, обидва визначення неприйнятні.

Перш за все, необхідно дати визначення відмови в мережі. Сучасна мережа - це складна система, що містить безліч зовнішніх пристроїв, ліній зв'язку, спеціалізовані процесори, запам'ятовувальні пристрої, програмне забезпечення і т.д. Крім того, є значна кількість допоміжного обладнання,

наприклад, джерела живлення і забезпечення життєдіяльності мережі. Тоді відмовою мережі необхідно вважати як локальні відмови мережевого обладнання або обрив лінії передачі, так і вихід з ладу джерела живлення, зависання операційної системи (ОС), помилку в програмно-апаратному комплексі або випадкове відключення джерела живлення.

Однозначної відповіді на це питання немає, все залежить від умов функціонування мережі і тих завдань, які перед нею ставляться. Вихід з ладу термінального вузла створює проблеми його користувачеві, інші абоненти мережі можуть цього і не помітити. Відмова магістрального маршрутизатора або транзитного вузла може вплинути на роботу цілого регіону. Звідси видно, що окремі вузли можуть по-різному впливати на роботу мережі в цілому. Крім того, вплив на надійність мережі може надавати не тільки обладнання або ОС, але і програмне забезпечення. На цьому список факторів, що впливають на надійність, не вичерпується. Якщо користувач не може отримати доступ до певного мережного ресурсу, це часто пов'язано не з відмовою обладнання або програми, а просто з перевантаженням однієї з ділянок мережі по маршруту до вказаного ресурсу. Тут мається на увазі не тільки обмеження пропускної здатності, але й можливе збільшення затримки доставки, що досить критично в разі, наприклад, IP-телефонії або відео конференцій. Таким чином, параметри надійності часто залежать від вектора завантажень (список значень завантажень каналів, що впливають на доступ і якість обслуговування). З цієї причини, формулюючи завдання оцінки надійності, потрібно визначити, які з параметрів важливі: зв'язність, пропускна здатність, час відновлення зв'язності, мінімізація затримок або інші, наприклад, пов'язані з вимогами замовника послуг. Для такого визначення з урахуванням усіх суттєвих, взаємопов'язаних, часто суперечливих факторів, необхідний системний підхід [1].

Після визначення необхідних параметрів і

характеру обмежень на мережеві ресурси можливо отримувати вирішення завдань управління надійністю сегментів мережі, порівняно слабко пов'язаних з іншими сегментами, тобто тих, що мають високий ступінь автономності.

Для надійної передачі повідомлень в системі зв'язку необхідно передбачати наявність не тільки обраного за тими чи іншими критеріями маршруту, але й можливість перенесення сигнального трафіку на інші маршрути. Необхідність такої реконфігурації виникає при відмовах в мережі, її перевантаженнях, поділі навантаження і в інших ситуаціях. Разом з тим, наявність додаткових каналів для надійної передачі повідомлень призводить до збільшення витрат як в використанні мережі, так її утримання та експлуатацію [4].

На схемі, зображеній на рис.1, показаний ділянку мережі, надійність якого необхідно підтримувати на рівні не нижче заданого (наприклад, за умовами забезпечення гарантованої якості сервісу). Таке завдання 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). Ці питання мають технічний характер і не впливають на принципові результати вирішення поставленого завдання.

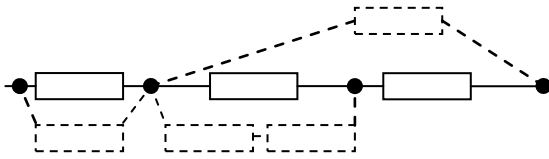


Рис. 1. Ділянка мережі з резервуванням маршрутів

Вважаючи додаткові канали (ділянки мережі) як резервні, які вводяться для підвищення надійності, розглянемо задачу: потрібно визначити таку структуру мережі (наявність додаткових каналів), при якій забезпечувалися б мінімальні сумарні витрати на використання резервних ділянок за умови, що результуючий показник надійності був б не нижче необхідної величини. Для еквівалентної схеми маршруту (рис. 2), до якої може бути наведена схема виду (рис. 1) і їй подібні, наближене рішення задачі оптимального резервування методом множників Лагранжа формулюється таким чином.

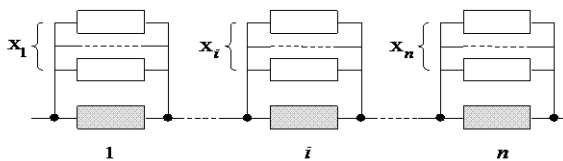


Рис. 2. Еквівалентна схема резервування маршрутів

Необхідно знайти  $\min_x C(x) = \min_x \sum_{i=1}^n c_i x_i$  при

$$\text{рівнянні зв'язку } Q(x) = \sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1} = Q_0.$$

В даному рівнянні

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

$R(x) = R_0$ , де  $c_i$  – витрати на  $i$ -у ділянку мережі (без резерву);  $c_i x_i$  – витрати на використання  $x_i$ -их резервних каналів  $i$ -ї ділянки мережі;  $C(x)$  – витрати на використання всієї резервної мережі;  $X^T = (x^1, x^2, \dots, x^n)$ ;  $T$  – символ транспонування; – показчик надійності одного каналу  $i$ -ї ділянки мережі;  $q_i$  показчик надійності;  $Q(x) \approx 1 - R(x)$  показчик надійності усієї системи, що використовується;  $R(x)$  – показчик надійності;  $Q_0$  – необхідне значення показчика надійності  $R_0 \approx 1 - Q_0$  – показчик надійності.

### Формулювання мети статті. Виклад основного матеріалу

Метою даної статті є вирішення завдання забезпечення заданого рівня надійності для окремого сегменту телекомунікаційної мережі щодо забезпечення безперервної передачі даних при виході з ладу окремого каналу або мережного вузла. Окремим або автономним сегментом тут вважається територіально або логічно відокремлений сегмент мережі, який взаємодіє з іншими сегментами або мережами через лінії зв'язку.

Для вирішення прямої задачі методом множників Лагранжа складемо функцію:

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

Система рівнянь для визначення шуканих  $x_i$  матиме вигляд:

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

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

Так як функції  $\sum_{i=1}^n c_i x_i$  і  $\lambda \sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1}$  рівняння (1) залежать тільки від одного з компонентів  $x_i$  вектора  $X_i$ , запишемо:

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

звідки

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

Запишемо (3) у вигляді:

$$q_i^{x_i} = - \frac{c_i}{\lambda q_i \ln q_i} = \frac{\alpha_2}{\lambda q_i}, \quad (4)$$

де  $\alpha_2 = - \frac{c_i}{\ln q_i}$ .

Підставивши (3) в рівняння зв'язку (2), отримаємо  $\frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \alpha_i = Q_0$ , звідки для визначення  $\lambda$

маємо формулу:  $\lambda = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^n \alpha_i$ .

З урахуванням виразу (4) визначаються шукані значення  $x_i$ :

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

Кінцевий результат:

$$x_i = \frac{1}{\ln q_i} \ln \left( \frac{Q_0}{q_i} \frac{\alpha_2}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \right). \quad (6)$$

Так як при використанні методу мається на увазі безперервність аргументів, то одержані в процесі вирішення нецілочисельні значення необхідно округлити до найближчого цілого числа. Здійснюючи перебір можливих рішень, вибираємо той варіант, при якому показник надійності не менше заданого, а сумарні витрати на використання резервних мереж мінімальні.

Розглянемо обернену задачу оптимального резервування: визначити структуру мережі, при якій показник надійності максимальний (відповідно, показник ненадійності мінімальний) за умови, що сумарні витрати на резервування не перевищують заданого значення  $Q_0$ .

Необхідно знайти  $\min_x C(x) = \min_x \sum_{i=1}^n q_i^{x_i+1}$  при

рівнянні зв'язку  $C(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_i = C_0$ .

Як і в прямій задачі, складаємо систему

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

### Література

**1. Моисеев Н.Н.** Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с. **2. Олифер В.Г., Олифер Н.А.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для ВУЗов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с. **3. Бестугин А. Р., Богданова А. Ф., Стогов Г. В.** Контроль и диагностирование

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

Вирішення системи рівнянь дає вираз для шуканих значень  $x_i$ :

$$x_i = \frac{1}{\ln q_i} \left[ \left( - \sum_{i=1}^n \alpha_i \right)^{-1} \left( \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln \frac{\alpha_2}{q_i} + C_0 \right) + \ln \frac{\alpha_2}{q_i} \right],$$

$$\text{де } \alpha_2 = \frac{C_2}{\ln q_i}.$$

Нецілочисельні значення  $x_i$  округлюються у відповідності до умов поставлених задачею оптимізації.

### Висновки

При постановці завдань надійності телекомунікаційних мереж як складних систем, перш за все, необхідно визначити поняття надійності та відмови як мережі в цілому, так окремих її елементів, ділянок, автономних сегментів та ін. Ці поняття мають системний характер і, відповідно, для однозначного їх тлумачення з урахуванням всіх істотних чинників, необхідно застосовувати системний підхід.

На основі такого підходу в статті вирішена задача оптимального резервування автономного сегменту телекомунікаційної мережі при лінійних обмеженнях ресурсів. На простому прикладі показано, що на основі запропонованої методики можна вирішувати як прямі, так і зворотні задачі управління надійністю мережевих сегментів.

У подальшому планується продовжити дослідження в даному напрямі, зокрема, проаналізувати чутливість одержаних рішень до помилок завдання вихідних даних і до впливу сегментів, які розташовані поряд з виділеним сегментом мережі. Нарешті, значний інтерес представляє завдання асимптотичного оцінювання надійності всієї мережі, що складається з автономних сегментів.

телекоммуникационных сетей. – СПб.: Политехника, 2003. – 174 с. **4.** Оптимальные задачи надежности // Сборник статей под ред. И.А. Ушакова. – М.: Изд-во комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1968. – 292 стр.

Рассмотрен метод управления надежностью автономных сегментов сети с резервированием маршрутов передачи данных. Накладываются линейные ограничения на ресурсы сети. При наложенных ограничениях отыскивается численное решение прямой или обратной вариационной задачи. На основе системного подхода к сети как к сложной системе даны определения надежности сети как безотказной работы при отказах отдельных элементов и/или перегрузках автономных сетевых сегментов.

*Ключевые слова:* автономный сегмент, телекоммуникационная система, показатель надежности сегмента сети.

The method of control of reliability of autonomous network segments with the redundancy of data transfer routs is developed. The linear constraints on network recourses are applied. Under applied constraints the numerical decision of direct or inverse variation problem is found. The definitions of the network reliability as a complex system are given on the basis of system approach. The network reliability considers as its ability of no-failure operation under break, malfunction of separate elements and/or overload of autonomous network segments.

*Key words:* self-segment, the telecommunications system reliability index segment.