

УДК 621.39

Л.А. Прядко, О.О. Шебанов, В.В. Турупалов  
Донецький національний технічний університет, м. Донецьк,  
кафедра автоматики і телекомунікацій  
E-mail: [pryadko-luda@yandex.ru](mailto:pryadko-luda@yandex.ru)

## АНАЛІЗ ВИМОГ ДО НАДІЙНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

### *Abstract*

**Prядko L.A., Shebanov A.O., Turupalov V.V.. Reliability requirements research in telecommunication systems.** *In this article were the reliability requirements in telecommunication systems researched. This question is very important for telecommunication systems and networks. With determination of network topology and "weak points" researcher can solve the problem of the cached circuit and alternative routes with different reliability indexes and restrictions.*

**Keywords:** *telecommunications systems, reliability, network topology, weak points, circuit.*

### *Анотация*

**Прядко Л.О., Шебанов О.О., Турупалов В.В. Анализ вымог до телекоммуникаційної системи.** *У статті були досліджені вимоги до надійності в телекомунікаційних системах. Завдяки дослідженню топології мережі на слабкі зв'язки, може бути вирішене питання блокування трафіку та необхідності резервування альтернативних маршрутів з різними індексами надійності та обмеженнями.*

**Ключові слова:** *телекомунікаційні системи, надійність, мережеві топології, слабкі зв'язки, трафік*

### *Аннотация*

**Прядко Л.А., Шебанов А.О., Турупалов В.В. Надежность в телекоммуникационных системах.** *В статье были исследованы требования к надежности для телекоммуникационных систем. Благодаря исследованию топологии сети на слабые связи, может быть решена проблема блокировки трафика и необходимости резервирования альтернативных маршрутов с различными индексами надежности и ограничениями.*

**Ключевые слова:** *телекоммуникационные системы, надежность, сетевые топологии, слабые связи, трафик*

### **Загальна постановка проблеми.**

Надійність телекомунікаційних систем (ТКС) зменшується внаслідок:

– відхилень фактичних умов функціонування ТКС від розрахункових (у результаті перевищення фактичного навантаження над розрахунковим або затримки введення в експлуатацію);

– відмов елементів системи;

– зниження ресурсозабезпеченості вузлів (сайтів) ТКС (порушень у роботі комутаторів, маршрутизаторів, каналів передачі інформації);

– помилок експлуатаційного персоналу.

Дія факторів, що знижують надійність ТКС, компенсується за рахунок:

– вибору структури ТКС (конфігурації мережі, структури системи керування трафіком і т.д.);

– підвищення надійності й поліпшення технічних показників устаткування;

- резервування для всіх ланок системи (формування, перетворення, передачі й розподілу трафіку), включаючи забезпечення запасів мережної ємності;
- вибору засобів автоматичного керування системою;
- поліпшення організації експлуатації ТКС, включаючи вдосконалювання системи планово-попереджувальних ремонтів і підвищення якості роботи експлуатаційного персоналу.

В результаті вибору керуючих впливів для реалізації зазначених шляхів підвищення надійності доводиться враховувати наступні особливості ТКС [1]:

- тісні зв'язки з іншими галузями, що забезпечують виробництво встаткування для ТКС (електротехнічною промисловістю, приладобудуванням і т.д.);
- значний територіальний розподіл і велика кількість елементів, що формують систему;
- чітко виражену територіально-тимчасову ієрархію побудови ТКС;
- значні сезонна й добова нерівномірності розподілу трафіку, що приводять до необхідності планування нерівномірного графіку обслуговування навантаження й величини резервних пропускних здатностей з урахуванням нерівномірного розподілу обсягів планових ремонтів устаткування протягом року;
- тверді вимоги до якості передачі інформації;
- неповноту або недостатню вірогідність інформації про параметри й режими системи.

**Постановка завдання дослідження.** Загальне завдання забезпечення надійності ТКС складається в максимізації значень показників надійності протягом розглянутого періоду часу за рахунок розташовуваних засобів забезпечення надійності. Якщо розглядати лише умови експлуатації ТКС, то як засоби підвищення надійності можна використати тільки резервування, оптимальне настроювання засобів автоматичного керування системою й поліпшення організації експлуатації.

Визначення показників надійності розглядається через те, що будь-яке завдання синтезу надійності (оптимального резервування, оптимального настроювання яких-небудь засобів автоматичного керування системою й т.д.) містить у собі в тій або іншій формі завдання аналізу.

У загальному випадку розрахункову схему ТКС при визначенні показників надійності ТКС можна представити у вигляді вузлів обслуговування навантажень (трафіку) і зв'язків між ними [2]. За визначенням системою з сильними зв'язками називається система, у якій для двох будь-яких різних її вершин  $x_i$  і  $x_j$  у будь-який момент часу (у тому числі при обриві прямих зв'язків) існує, принаймні, один шлях (резервний або обхідний маршрут), що з'єднує ці вершини, тобто пропускна здатність каналів від вузла до вузла в таких системах дорівнює сумі пропускних здатностей прямих, резервних, обхідних маршрутів у нормальному режимі роботи (на рисунку 1 перетин  $\alpha$ ) і визначається вираженням (1):

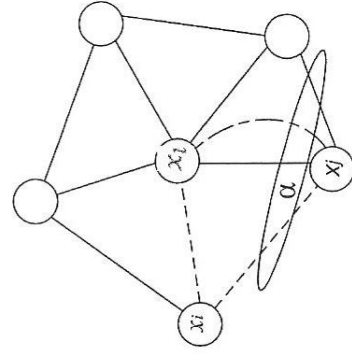
$$C_{\alpha} = \sum_{k=1}^n C_{\pi} \quad (1)$$

Це визначення означає також, що будь-які два вузли системи із сильними зв'язками взаємодосяжні.

Системою зі слабкими зв'язками називається система, у якій існує хоча б один шлях, пропускна здатність якого обмежена пропускною здатністю прямого каналу між вузлами (на рисунку 2 перетин  $\beta$ ).

Під прямим каналом розуміють канал, що з'єднує два сусідніх вузли графа й не має альтернативних шляхів (резервних, обхідних маршрутів). Тобто пропускна здатність перетину  $\beta$  визначається рівнянням (2):

$$C_{\beta} = C_{\gamma} \quad (2)$$



----- обідний канал, - - - - резервний канал

Рисунок 1 — Система с сильними зв'язками

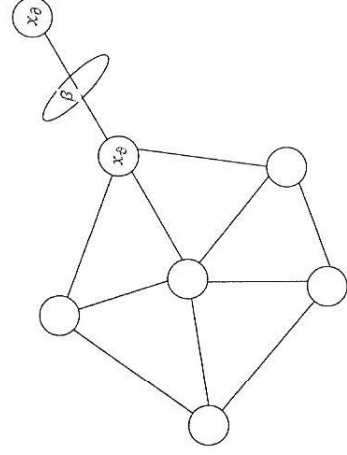


Рисунок 2 — Система с слабыми зв'язками

Таке подання розрахункових схем дозволить (при відповідній повноті моделювання процесів) відбити й урахувати в моделі всі перераховані вище особливості ТКС, і зокрема динамічні властивості, через які при випадкових збурюваннях можливі порушення стійкості.

Іноді можна припустити для створення моделі необмеженість пропускної здатності між вузлами системи при будь-яких режимах і будь-яких станах системи, обумовлених випадковими станами її елементів. Це відповідає системі із сильними зв'язками або концентрованої системі. Розрахункова схема концентрованої системи є одновузловою (в одному вузлі розміщується вся пропускна здатність і все навантаження).

Пропускна здатність вузла або системи в цілому визначається формулою:

$$C_n = C_p - C_n - C_a \quad (3)$$

де встановлена пропускна здатність  $C_n$  — сума номінальних пропускних здатностей всіх вузлів системи;

розташована пропускна здатність  $C_p$  — встановлена пропускна здатність, зменшена через невідповідність пропускних здатностей послідовно включених елементів; робоча пропускна здатність  $C$  — розташована пропускна здатність, зменшена на значення розташованої пропускної здатності вузлів, що перебувають у станах планового простою  $C_n$  і аварійного простою  $C_a$ .

Показники надійності для концентрованих ТКС визначають у два етапи [3]:

1. Для кожного вузла ТКС обчислюються ймовірнісні характеристики, що визначають роботу пропускна здатність у розглянутий період.
2. Відповідно до отриманих даних (з обліком прогнозованих на період  $T$  графіків навантаження в кожному з вузлів розподілу навантаження) визначаються показники надійності, що обумовлюють ймовірність неповного покриття навантаження у вузлах мережі.

### Результати досліджень. Характеристики робочої пропускної здатності концентрованого вузла.

Передбачається, що для розглянутого періоду  $T$  відомі:

– склад пропускної здатності й ймовірності відмов вузлів, що формують розташовану пропускна здатність;

– склад пропускної здатності вузлів, виведених у цей період у плановий ремонт.

З достатньої для практики точністю можна представити схему з'єднання елементів у вузлах ТКС у вигляді паралельного з'єднання елементів. Припустимо спочатку, що протягом періоду  $T$  склад вузлів мережі, що формують розташовану пропускну здатність, і пропускної здатності вузлів мережі, виведених у плановий ремонт, постійні.

З рівняння (3) витікає, що ймовірнісні характеристики роботи пропускної здатності можна знайти, якщо одержати ймовірнісні характеристики пропускної здатності в аварійному режимі.

Для визначення розподілу пропускної здатності вузлів мережі в аварійному режимі запишемо виробляючу функцію:

$$\varphi(Z) = \prod_{1 \leq i \leq n} (p_i + q_i Z^{C_i^0}), \quad (4)$$

де  $p_i$  — ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го вузла мережі;

$q_i$  — ймовірність відмови  $i$ -го вузла мережі, яка дорівнює:  $q_i = 1 - p_i$ ;

$C_p$  — розташована пропускна здатність  $i$ -го вузла мережі ( $i = 1, \dots, n$ );

$Z$  — аргумент виробляючої функції.

Після розкриття дужок рівняння (4) з урахуванням дискретності навантаження можна переписати у вигляді полінома за ступеннями:

$$\varphi(Z) = \sum_{\delta} \prod_{1 \leq i \leq n} (p_i^{(1-\delta_i)} q_i^{\delta_i} Z^{\sum_{1 \leq i \leq n} C_{p_i} \delta_i}), \quad (5)$$

де  $\delta_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й вузол мережі перебуває в стані відмови,} \\ 0 & \text{у протилежному випадку;} \end{cases}$

$\delta = (\delta_1, \dots, \delta_n)$  — стан системи, обумовлений станами вузлів мережі.

Остаточно після приведення подібних членів в (5) одержуємо:

$$\varphi(Z) = \sum_{0 \leq k \leq C} P_k Z^k, \quad (6)$$

де  $k$  — у загальному випадку нецілочислений індекс, який дорівнює пропускної здатності вузлів мережі, що перебувають в аварійному режимі;

$P_k$  — ймовірність того, що пропускна здатність вузлів мережі в аварійному режимі дорівнює  $k$ . (Ця ймовірність дорівнює сумі коефіцієнтів доданків в (5) при всіх членах, у яких результуючий ступінь при  $Z$  дорівнює  $k$ .)

Процедуру обчислень можна спростити, замінивши вихідну систему з  $n$  вузлів еквівалентною, яка характеризується однаковими значеннями розташовуваної пропускної здатності  $C_p$  і ймовірності відмови  $q$ . У цьому випадку виробляюча функція:

$$\varphi(Z) = (\tilde{p} + Z^{C_p} \tilde{q})^n. \quad (7)$$

Імовірність аварійного режиму для  $m$  із  $\bar{n}$  еквівалентних вузлів із пропускного здатністю дорівнює:

$$C = mC_p \quad (8)$$

становить:

$$P_m = \frac{n!}{m!(\bar{n}-m)!} \bar{p}^{\bar{n}-m} \bar{q}^m. \quad (9)$$

Отриманий закон розподілу ймовірностей значень  $C_a = k$  дозволяє при відомих  $C_p$  і  $C_n$  у припущенні їхньої незмінності протягом періоду  $T$  знайти, використовуючи (3), розподіл ймовірностей значень робочої пропускної здатності концентрованого вузла мережі. Якщо період  $T$  відносно тривалий, то величина  $C_p$  не залишається постійної, а змінюється за рахунок уведення й демонтажу встаткування. У цьому випадку період  $C_n$  розділяється на інтервали, у межах яких  $C_p$  і  $C_n$  можна вважати незмінними, і обчислення виконуються незалежно від окремих інтервалів.

### Характеристики концентрованої системи.

Для концентрованої системи основну роль грає нерівномірність графіка навантаження системи. Якщо навантаження в період  $T$  можна вважати постійної й рівної  $C_T$  (наприклад, при оцінці надійності за критерієм покриття річного максимуму навантаження системи), тому коефіцієнт готовності обчислюється відповідно до отриманого закону розподілу ймовірностей  $P_C$  за формулою:

$$K = 1 - \sum_{v \geq C - C_T} P_v. \quad (10)$$

Можна визначити й інші показники надійності, наприклад:

– середній дефіцит пропускної здатності системи  $\Delta_1$ :

$$\Delta_1 = \sum_{v=0}^C (C - v) P_v; \quad (11)$$

– середній недообслужений трафік  $\Delta_2$ :

$$\Delta_2 = T\Delta_1; \quad (12)$$

– коефіцієнт забезпеченості обслуговуванням  $K_{30}$ :

$$K_{30} = 1 - \frac{\Delta_1}{C}. \quad (13)$$

Коли навантаження протягом часу  $T$  не можна вважати незмінним, його можна задати, наприклад, у вигляді графіка тривалості з підрахунком показників  $K$ ,  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  і  $K_{30}$  для кожного інтервалу сталості навантаження з наступним оцінюванням за відносною тривалістю цих інтервалів на всьому розглянутому періоді.

### Показники надійності системи зі слабкими зв'язками.

Розглянемо можливість застосування методу статистичного моделювання. При рішенні завдання можна виділити три етапи:

1. Генерацію реалізації випадкових процесів відмов/відновлень всіх елементів, представлених у розрахунковій схемі системи.
2. Визначення наслідків кожної відмови.
3. Обчислення шуканих показників надійності ТКС.

Розрахункова схема системи включася  $M$  вузлів обслуговування мережі й зв'язки між ними. Розрахунковий період  $T$  ділиться на такі інтервали  $T_i, i = 1, \dots, h$ , що в межах кожного з них можна вважати незмінними склад елементів системи, що формують  $C_p$  і  $C_n$ , і навантаження у вузлах. (Тут тривалість інтервалу  $T_i$  ураховує й нерівномірність розподілу навантажень у мережі.)

При побудові окремих реалізацій випадкового процесу відмов — відновлення елементів системи на першому етапі необхідно мати на увазі наступні умови: відмова будь-якого окремого елемента не може мати місця в період його планового простою, і періоди

аварійних простойв елемента не повинні збігатися з періодами його планових простойв; для послідовно з'єднаних елементів повинні враховуватися змушені простойв в справному стані, пов'язані з аварійними простойвами суміжних елементів.

При моделюванні варто виділити в розрахунковій схемі системи комутаційно-незалежних елементів або груп елементів, стан яких можуть залежати один від другого усередині групи, але не залежать від стану елементів інших груп. Формування реалізацій для кожної комутаційно-незалежної групи елементів може здійснюватися незалежно.

Після генерації випадкових реалізацій процесу функціонування ТКС для визначення наслідків кожної з відмов елементів у кожному з інтервалів  $T_i$  знаходять значення дефіциту пропускної здатності  $\Delta_1$  і недообслуговування запитів  $\Delta_2$  кожного  $j$ -го вузла мережі при  $k$ -й реалізації, використовуючи обраний критерій оптимізації, наприклад умова мінімізації перевантажень для системи в цілому. (У випадку різних вимог до надійності окремих вузлів ТКС можливе формування інших критеріїв оптимізації, що враховують ці вимоги.)

Це завдання для значень змінних, фіксованих для даної  $k$ -й реалізації, вирішується відповідним методом лінійного програмування. Відповідно до отриманих даних на третьому етапі обчислюються шукані показники надійності кожного  $j$ -го вузла системи.

Дотепер передбачалося, що моделюється поступові відмови, коли експлуатаційний персонал, реагуючи на певні зовнішні прояви, має можливість підготувати вихід елемента з роботи (розвантажити вузол, змінити режим роботи системи й т.д.). У цих випадках, як правило, можливість порушення стійкості системи виключається. При раптових же відмовах (наприклад, вихід з ладу плат, обрив кабелю) можливі порушення стійкості, а при несприятливих умовах — і подальший розвиток аварій.

Визначення показників надійності при обліку раптових відмов здійснюється так само, як описано вище. Але тут при підготовці статистичних даних повинні враховуватися як прогнозовані, так і раптові відмови елементів (для деяких елементів при цьому істотний не просто факт відмови, але й вид uszkodження, який викликає його).

Варто враховувати, що між моментом раптової відмови й початком періоду відновлення може пройти деякий проміжок часу, обумовлений процесом локалізації місця відмови й відновленням стаціонарного режиму у випадках порушення стійкості.

Облік раптових відмов істотно ускладнює процес визначення з надійності ТКС. Тому використовуються різні припущення, що спрощують і опираються на конкретні умови функціонування мережі.

#### Висновки.

У статті проаналізовані види існуючих телекомунікаційних систем з погляду пропускної здатності; визначені показники надійності для систем із сильними й слабкими зв'язками; визначені параметри впливу пропускної здатності елементів системи як основного фактора впливу на її надійність.

#### Література

1. Ю.Ю. Громов, В.О. Драчев, К.А. Набатов, О.Г. Иванова/Синтез и анализ живучести сетевых систем: монография. — М. : «Издательство Машиностроение-1», 2007. — 152 с.
2. Г.Н. Черкесов Надежность аппаратно-програмных комплексов/ Учебное пособие. 1-е издание, Санкт-Петербург, 2004г.
3. В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Кільчицький Є.В. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку: Підручник для вищ. навч. закладів. — К.: Техніка, 2004. — 576 с.

Здано в редакцію:  
26.02.2009р.

Рекомендовано до друку:  
д.т.н, проф. Скобцов Ю.О.