

УДК 621.391

В.В. Турупалов

Донецький національний технічний університет, Донецьк

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА НАДІЙНОСТІ ДЛЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

У статті визначені вимоги до надійності в телекомунікаційних системах і мережах, на основі яких був розроблений комплексний показник надійності. За допомогою визначеного показника з'являється можливість підвищити надійність телекомунікаційних систем за рахунок визначення аналітичним шляхом слабких місць відповідної системи.

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, надійність, комплексний показник надійності, готовність.

### Вступ

Під показником надійності телекомунікаційної мережі (ТКМ) розуміють величину або сукупність величин, що характеризують якісно або кількісно ступінь пристосованості мережі до виконання поставленого завдання при експлуатації. При розгляді питання підвищення надійності в ТКМ можуть бути розглянуті три види показників надійності: якісні, порядкові й кількісні [1]. Якісні показники надійності вказують на те, що ТКМ має деякі властивості функціонування, має обладнання, здатне виконувати поставлені завдання. Якісні показники не дозволяють порівнювати їх за ступенем успішності реалізації поставленого завдання.

### Основний розділ

Порядкові показники дають можливість розташувати в ряд за ступенем зростання надійності досліджені варіанти (ситуації) роботи ТКМ, але не дозволяють оцінити на яку величину відрізняється досягнутий рівень надійності розглянутих варіантів. У результаті дослідження можна побудувати домінуючу послідовність ситуацій функціонування мережі методом ранжування, тобто встановлення номера для кожного варіанта функціонування мережі, що вказує його місце в ряді інших варіантів.

Кількісні показники надійності – містять інформацію, яка забезпечує оцінку ступеню переваги одного варіанта роботи ТКМ над іншим, в результаті експлуатації і виражають надійність у вигляді числа. Вони визначаються шляхом безпосередніх статистичних спостережень на основі обробки результатів експлуатації або випробування ТКМ, а також шляхом аналітичних розрахунків або моделювання функціонування мережі. Вони є основними в дослідженні надійності, що узагальнюють інформацію про пристосованість ТКМ до експлуатації.

Вважається, що ТКМ не відмовила та виконала функції (обслуговування навантаження з гарантованим рівнем якості), тобто в момент початку експлуатації перебувала у встановленому для неї початковому стані, вчасно пройшла період підготовки й не

втратила працездатності за час експлуатації  $\tau_e$ . За узагальнений (комплексний) [2] показник надійності мережі приймається ймовірність виконання мережею поставлених завдань у встановлений термін при дотриманні правил експлуатації. Виконання мережею поставленого завдання у встановлений термін представляє собою складна подія  $A$ , яка є добутком трьох подій:

$$A = A_1 A_2 A_3, \quad (1)$$

де  $A_1$  – знаходження мережі в момент часу надходження запиту  $t_3$  на виконання завдання в необхідному вихідному стані;  $A_2$  – підготовка до експлуатації за встановлений час  $\tau_{п}$ ;  $A_3$  – відсутність відмов за час  $\tau_e$ . Узагальнений показник надійності – ймовірність  $P$  обчислюється за формулою:

$$P = K_{Г}(t_3) \cdot P(\tau_{п}) \cdot P(\tau_e), \quad (2)$$

де  $K_{Г}(t_3)$  – ймовірність події  $A_1$ , що залежить в загальному випадку від моменту надходження запиту на експлуатацію мережі, тобто показник технічної готовності ТКМ;  $P(\tau_{п})$  – ймовірність події  $A_2$  обчислена за умови, що подія  $A_1$  мала місце, тобто показник технічної готовності ТКМ в період підготовки;  $P(\tau_e)$  – ймовірність події  $A_3$ , обчислена за умови, що події  $A_1$  і  $A_2$  мали місце, тобто показник надійності ТКМ в період експлуатації.

Технічна готовність досягається приведенням ТКМ в деякий вихідний стан, що забезпечує введення її в дію за час  $\tau_{п}$ , що не перевищує заданого. В результаті зміни вихідного стану мережі таким чином, що час  $\tau_{п}$  збільшується, знижується її технічна готовність. Зменшення часу забезпечує підвищення технічної готовності мережі. Отже, готовність ТКМ може кількісно оцінюватися часом  $\tau_{п}$ , який необхідно витратити після підготовки до експлуатації, якщо за цей час не було відмов елементів мережі.

Зниження встановленої готовності в розглянутому випадку викликано необхідністю усунення відмов окремих елементів, контроль справності яких

здійснюється в період між обслуговуванням  $T_{\Pi}$  ( $T_{\text{nc}}$  – тривалість непланових знижень), а також необхідністю проведення планового технічного обслуговування ( $T_{\text{nc}}$  – тривалість планових знижень). Планові зниження вихідного положення готовності при проведенні обслуговування за тривалістю й часом проведення не є випадковими (звичайно  $T_{\text{п}}=\text{const}$  і  $T_{\text{nc}}=\text{const}$ ). Якщо запит на обслуговування надходить у момент часу, що належить до будь-якого з інтервалів  $T_{\text{nc}}$ , то  $t_3 \in [T_{\text{nc}}]$ . Мережа вважається не готовою до експлуатації, якщо виконується одна з умов:

$$t_3 \in [T_{\text{nc}}], \quad ; \quad (3)$$

$$t_3 \in [T_{\text{nc}}]. \quad (4)$$

Умова (3) може мати місце в період між плановими обслуговуваннями ТКМ і представляє собою випадкову подію, імовірність появи якої залежить від тривалості й числа знижень готовності мережі в період очікування. Позначимо цю ймовірність через  $K_{\Gamma}(t_3)$ .

Умова (4) може мати місце тільки при проведенні планового обслуговування. Але час проведення планового обслуговування, ступінь і тривалість зниження готовності мережі, як правило, не можуть бути віднесені до категорії випадкових явищ, тому зі зміною величини  $t_3$  ця подія або настає з імовірністю 1, або не настає взагалі. Невиконання умов (3) і (4) відповідає тому, що подія  $A_1$  настає. Отже, показник технічної готовності мережі з комбінованим обслуговуванням може бути представлений у вигляді:

$$K_{\Gamma}(t_3) = \begin{cases} K_{\Gamma}(t_3) & \text{якщо } t_3 \in [T_{\Gamma}], \\ 0 & \text{якщо } t_3 \in [T_{\text{nc}}], \end{cases} \quad (5)$$

де  $K_{\Gamma}(t_3)$  – імовірність події, обчислена за умови, що  $t_3 \notin [T_{\text{nc}}]$ .

Для ТКМ з комбінованим обслуговуванням причини зниження готовності можуть бути детерміновані й випадкові. Отже, подія  $A_1$ , яка формує показник  $K_{\Gamma}(t_3)$  для ТКМ з комбінованим обслуговуванням, залежно від моменту часу  $t_3$  може бути як достовірною, так і неможливою подією, а також може мати будь-яке інше значення ймовірності її появи.

Для мереж з випадковим періодом обслуговування зниження готовності носить випадковий характер і показник готовності на періоді  $\tau_{\Gamma}$  має імовірнісний характер зміни.

Для деяких ТКМ запит на обслуговування може надійти в будь-який момент часу періоду  $\tau_{\Gamma}$ . Зниження готовності мережі при проведенні планового технічного обслуговування приведе до неможливості експлуатації тільки в тому випадку, коли при випадковому надходженні в момент  $t_3$  заявки як і раніше буде виконуватися умова (4).

Якщо щільність розподілу часу надходження запиту на обслуговування у мережі дорівнює  $f(t_3)$ , тоді отримаємо:

$$K_{\Gamma} = \tau \int_0^{\tau_{\Gamma}} K(t_3)f(t_3)dt_3. \quad (6)$$

Якщо прийняти гіпотезу про рівномірний закон розподілу часу  $t_3$ , що відповідає щільності  $f(t_3) = 1/\tau_{\Gamma}$ , то співвідношення (6) може бути представлено у вигляді:

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{\tau_{\Gamma}} \int_0^{\tau_{\Gamma}} K_{\Gamma}(t_3)f(t_3)dt_3. \quad (7)$$

Мережа вважається підготовленою до обслуговування запитів, якщо фактичний час підготовки  $\tau_{\text{ПФ}}$  не перевищує розрахункового (встановленого) часу  $\tau_{\Pi}$ . Показник надійності ТКМ в період підготовки до експлуатації  $P(\tau_{\Pi})$  представляє ймовірність події  $\tau_{\text{ПФ}} \leq \tau_{\Pi}$ , тобто  $P(\tau_{\Pi}) \leq P(\tau_{\text{ПФ}} \leq \tau_{\Pi})$ . Розглянемо можливі співвідношення для визначення показника надійності  $P(\tau_{\Pi})$  стосовно до ТКМ, що обслуговуються і не обслуговуються, у припущенні, що вихідне положення готовності мережі відповідає часу  $\tau_{\Pi}$ . Підготовка до експлуатації ТКМ, що обслуговується за час  $\tau_{\Pi}$  є складна подія  $A_2$ , яку можна записати у вигляді:

$$A_2 = B_1B_2 + \overline{B_1}B_2C, \quad (8)$$

де  $B_1$  – подія, яка полягає в тому, що при підготовці до експлуатації за час  $\tau_{\Pi}$  не виникнуть відмови у мережі через відмови елементів, що мали місце до моменту часу  $t_3$ ;  $B_2$  – подія, яка полягає в тому, що при підготовці до експлуатації за час  $\tau_{\Pi}$  не виникне відмова мережі, що перебувала в справному стані до моменту часу  $t_3$ ;  $\overline{B_1}B_2$  – подія, що є доповненням до добутку подій виду  $B_1B_2$ ;  $C$  – подія, яка полягає в усунуванні відмови при підготовці мережі до експлуатації за час, який не приводить до значної затримки.

У період підготовки мережі до експлуатації проявляються відмови тільки тих підсистем (елементів), які або функціонують, або піддаються перевіркам при підготовці. Надалі такі підсистеми називаємо контрольованими.

Імовірність події  $A_2$ , як імовірність суми двох неспільних подій, може бути визначена як

$$P(A_2) = P(B_1B_2) + P(\overline{B_1}B_2C). \quad (9)$$

Використовуючи формули для обчислення ймовірності добутку подій, одержуємо:

$$P(A_2) = P(B_1)P(B_2 | B_1) + P(\overline{B_1}B_2C | B_1). \quad (10)$$

Призначимо  $P(B_1) = P'_{\text{u}}(t_3)$ ;

$P(B_2 | B_1) = P'(\tau_{\Pi})$ ;  $P(C | \overline{B_1}B_2) = P_B(\tau_{\Pi})$ .

Враховуючи, що  $P(\overline{B_1 B_2}) = 1 - P'_u(t_3)P'(\tau_{\Pi})$ , формула (10) може бути записана в такий спосіб:

$$P(\tau_{\Pi}) = P'_u(t_3)P'(\tau_{\Pi}) + [1 - P'_u(t_3)P'(\tau_{\Pi})]P_B(\tau_{\Pi}), \quad (11)$$

де  $P'_u(t_3)$  – імовірність того, що контрольовані при підготовці ТКМ до експлуатації елементи в момент  $t_3$  перебувають у технічно справному стані;  $P'(\tau_{\Pi})$  – імовірність того, що за час  $\tau_{\Pi}$  не виникнуть несправності контрольованих елементів мережі (обчислює при умові їхньої справності в момент часу  $t_3$ );  $P_B(\tau_{\Pi})$  – імовірність того, що відмови, які проявилися за час  $\tau_{\Pi}$  будуть усунуті без затримки в експлуатації мережі.

Якщо ТКМ не обслуговується в період експлуатації, то для неї по визначенню  $P_B(\tau_{\Pi}) = 0$  формула (11) має вигляд:

$$P(\tau_{\Pi}) = P'_u(t_3)P'(\tau_{\Pi}). \quad (12)$$

Показник надійності ТКМ в період експлуатації  $P(\tau_e)$  представляє собою імовірність того, що підготовлена вчасно до експлуатації мережа буде безвідмовно працювати протягом часу  $\tau_e$ .

Таким чином, безвідмовність роботи ТКМ за час  $\tau_e$  є складна подія  $A_3$ , яка може бути записана як:

$$A_3 = D_1 D_2 D_3, \quad (13)$$

де  $D_1$  – не поява до моменту  $t_3$  відмов неконтрольованих при підготовці до експлуатації підсистем (елементів) мережі, що приводять до відмови ТКМ при експлуатації;  $D_2$  – не поява за час  $\tau_{\Pi}$  відмов неконтрольованих при підготовці до експлуатації підсистем, що приводять до відмови ТКМ в цілому в період експлуатації;  $D_3$  – не поява за час  $\tau_e$  відмов підсистем, що приводять до відмови мережі в період експлуатації. Введемо позначення:

$$P(A_3) = P(\tau_e); P(D_1) = P''_u(t_3); P(D_2) = P''(\tau_{\Pi});$$

$$P(D_3) = P''_6(\tau_e).$$

Після чого за формулою множення ймовірностей одержимо:

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

В.В. Турупалов

*В статье определены требования к надежности в телекоммуникационных системах и сетях, на основе которых был разработан комплексный показатель надежности. С помощью определенного показателя появляется возможность повысить надежность телекоммуникационных систем за счет определения аналитическим путем слабых мест соответствующей системы.*

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, надежность, комплексный показатель надежности, готовность.

## RESEARCH OF COMPLEX RELIABILITY INDEX FOR A TELECOMMUNICATION NETWORK

V.V. Turupalov

*In the article requirements are certain to reliability in the telecommunication systems and networks which a complex reliability index was developed on the basis of. Possibility to promote reliability of the telecommunication systems due to determination analytical by the weak points of the proper system appears by a certain index.*

**Keywords:** telecommunication network, reliability, complex reliability index, readiness.

$$P(\tau_e) = P''_u(t_3)P''(\tau_{\Pi})P''_6(\tau_e), \quad (14)$$

де  $P''_u(t_3)$  – імовірність того, що в момент  $t_3$  неконтрольовані в період підготовки підсистеми перебувають у технічно справному стані;  $P''(\tau_{\Pi})$  – імовірність того, що за час  $\tau_{\Pi}$  не виникнуть відмови цих же підсистем, що приводять до відмови мережі при експлуатації;  $P''_6(\tau_e)$  – неоява за час  $\tau_e$  відмов підсистем, що приводять до відмови ТКМ в період експлуатації.

Таким чином, узагальнений показник надійності ТКМ (2) можна представити у вигляді:

$$P = K_{\Gamma} P(\tau_{\Pi}) P(\tau_e).$$

## ВИСНОВОК

Таким чином, було визначено комплексний показник надійності для ТКМ. Величини, що складають цей показник надійності кількісно характеризують ступінь пристосованості мережі до виконання поставленого завдання при експлуатації. Визначений показник надійності може бути використаний при розгляді питання підвищення надійності ТКМ. На практиці цей показник визначається шляхом безпосередніх статистичних спостережень на основі обробки результатів експлуатації або випробування ТКМ.

## Список літератури

1. Червоный А.А. Надежность сложных систем: изд. 2-е, перераб. и доп. / А.А. Червоный, В.И. Лукьяченко, Л.В. Котин. – М.: Машиностроение, 1976. – 288 с.
2. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И.А. Рябинин, Г.Н. Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.
3. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов: учеб. пособ. 1-е издание / Г.Н. Черкесов. – Санкт-Петербург, 2004. – 220 с.

Надійшла до редколегії 23.05.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.