

УДК 621.395

## ВПЛИВ ЗМІНИ СТРУКТУРИ ВІДОМЧИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНИХ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Дмитро Могилевич, Валерій Правило, Олександр Захараш  
ВІПІ НТУУ “КПІ”

*Анотація:* Розглядаються питання виконання значень імовірності безвідмовного обслуговування заявок на телекомунікаційних мережах (ТКМ). Одним із шляхів вирішення даної задачі є введення в структуру мережі додаткових гілок. В статті наведено розрахунки, отримані методом сукупності шляхів або перетинів. Надано графіки залежності значень імовірності безвідмовного обслуговування додаткових перемичок в структурі мережі від імовірності безвідмовного обслуговування гілок, що становлять шляхи встановлення з'єднання.

*Summary:* In article questions of performance of values of probability fault-free upkeeps of requests on telecommunication networks are considered. One of ways of the decision of the given task is introduction in structure of a network of additional branches. In article the calculations received by a method of set of ways or sections are resulted. Schedules of dependence of values of probability fault-free upkeeps of additional jumpers in structure of a network from probability fault-free upkeeps of the branches making ways of connection establishment are given.

*Ключові слова:* Імовірність безвідмовного обслуговування, шляхи встановлення з'єднання, додаткова гілка, якість обслуговування.

### I Вступ

Характеристика, що визначає можливість абонентів обмінюватися інформацією по мережах зв'язку в умовах виникнення технічних відмов й експлуатаційних помилок на її елементах без помітного погіршення імовірно-часових показників обслуговування заявок, одержала назву надійності функціонування мереж зв'язку. Тому під надійністю функціонування мережі зв'язку розуміється її властивість забезпечувати встановлення з'єднань і передачу повідомлень у реальних умовах експлуатації при збереженні значень показників якості обслуговування, встановленого для кожного напрямку зв'язку. Показником якості обслуговування заявок у напрямку зв'язку ТКМ, що може бути розглянута як  $n$ -канальна система масового обслуговування з відмовами або з очікуванням, прийнято вважати ймовірність безвідмовного обслуговування

$$W(t) = f(R, q = 1 - p), \quad (1)$$

де  $R$  – імовірність безвідмовної роботи елементів мережі (напрямків) зв'язку;  $q$  – якість обслуговування заявок у мережі (напрямку) зв'язку;  $p$  – імовірність втрат через зайнятість обслуговуючих каналів (приладів) [3]. Аналіз залежності ймовірності безвідмовного обслуговування  $W(t)$  від параметрів функціонування гілки ТКМ проведено в [4].

Мета даної роботи – визначити можливі шляхи забезпечення заданого значення ймовірності безвідмовного обслуговування  $W(t)$  заявок в обраному напрямку зв'язку й на ТКМ у цілому шляхом змінювання (нарощування) структури мережі в умовах виходу з ладу (відмови) її елементів внаслідок технічних відмов, сторонніх впливів, стихійних явищ тощо.

### II Аналіз зміни структури ТКМ на показники якості обслуговування

Відомо, що ТКМ утворюється за допомогою ліній зв'язку й комутаційних центрів (вузлів), на яких розташовується відповідне устаткування. Тому основною математичною моделлю структурних властивостей такої мережі є її граф. У зв'язку із цим, для розрахунку ймовірності безвідмовного обслуговування  $W(t)$  напрямку зв'язку заданої ТКМ можуть застосовуватися наступні методи:

- метод послідовно-паралельних перетворень;
- метод повного перебору станів мережі;
- метод сукупності шляхів або перетинів;
- метод двосторонньої оцінки;
- метод статистичної оцінки [5].

Для подальшого дослідження, як варіант, виберемо структуру мережі, зображеної на рис. 1. Розрахунок імовірності безвідмовного обслуговування  $W(t)$  напрямку зв'язку проведемо на напрямку від вузла зв'язку (ВЗ) 10 до ВЗ 11 (надалі будемо позначати даний напрямок як  $\mu_{10-11}$ ). Уведемо наступні обмеження:

- кількість шляхів встановлення з'єднання в заданому напрямку не повинна перевищувати 3;
- всі шляхи встановлення з'єднання незалежні;
- кількість комутаційних центрів (КЦ) у незалежному шляху встановлення з'єднання не повинна перевищувати 2.

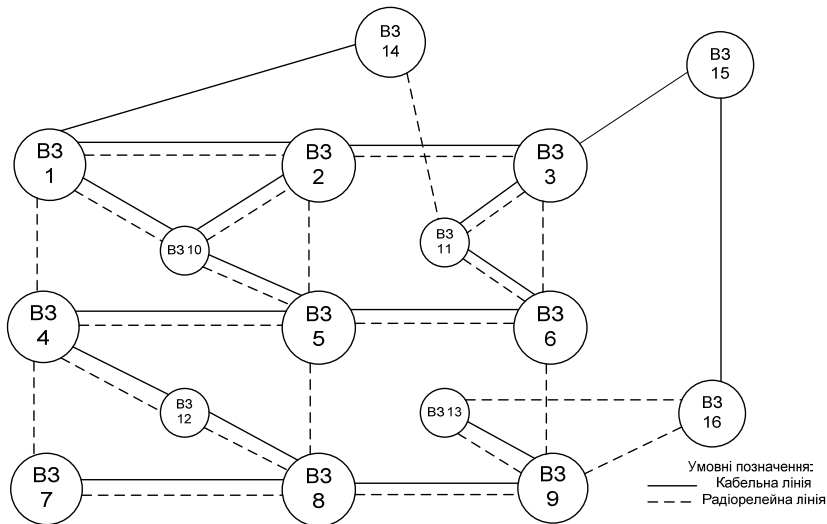


Рисунок 1 – Варіант побудови опорної мережі зв'язку

У результаті дослідження заданого напрямку, з урахуванням вищевикладених обмежень, одержимо структуру ТКМ, що забезпечує встановлення з'єднання й передачу повідомлень у напрямку  $\mu_{10-11}$  (рис. 2).

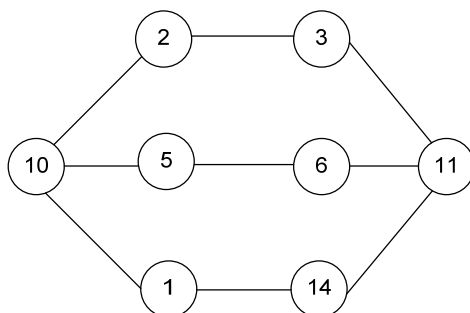


Рисунок 2 – Структура мережі, що забезпечує встановлення з'єднання й передачу повідомлень у напрямку  $\mu_{10-11}$

Для оцінки значення ймовірності безвідмовного обслуговування  $W(t)$  в напрямку  $\mu_{10-11}$  застосуємо метод сукупності шляхів або перетинів. Сутність методу полягає в наступному. Припустимо, що є безліч всіх можливих шляхів  $M = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$  у вигляді переліку елементів (вузлів і напрямків зв'язку), що входять у кожен шлях, і всіх перетинів  $S = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_l\}$  щодо заданої пари вузлів [5]. Позначимо ймовірність того, що справні всі елементи, що входять в  $k$ -й шлях, через  $p_k$ , а ймовірність наявності хоча б одного справного елемента в  $t$ -му перетині — через  $\pi_t$ . Якщо відмови окремих елементів мережі можна вважати незалежними, то легко виразити  $p_k$  й  $\pi_t$  через показники  $p_{ik}, p_{it}$ , що визначають імовірність безвідмовного обслуговування  $W(t)$  елементів мережі, що входять в  $k$ -й шлях або в  $t$ -й перетин:

$$p_k = p_{1k} p_{2k} \dots p_{wk}, \quad (2)$$

$$\pi_i = 1 - (1 - p_{1i})(1 - p_{2i}) \dots (1 - p_{qi}). \quad (3)$$

З огляду на введені обмеження, шляхи встановлення з'єднань в обраному напрямку зв'язку  $\mu_{10-11}$  є незалежними. За умови їхнього паралельного включення значення ймовірності безвідмовного обслуговування  $W_\mu(t)$  в напрямку складе

$$W_\mu(t) = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2) \dots (1 - p_n). \quad (4)$$

При послідовному включенні всіх перетинів одержимо наступне значення ймовірності безвідмовного обслуговування  $W_\sigma(t)$ :

$$W_\sigma(t) = \pi_1 \pi_2 \dots \pi_l. \quad (5)$$

При розрахунку по формулах (4), (5) можна одержати точне значення ймовірності безвідмовного обслуговування  $W(t)$  й у випадку залежних шляхів і перетинів, якщо при підстановці (2) в (4) і (3) в (5) і розкритті дужок приймати

$$p_{iq} \cdot p_{iq} = p_{iq} \quad (6)$$

для будь-яких  $i$  й  $q$ . Вираз (6) є точним у булевій алгебрі, в імовірнісному аналізі він наближений й справедливий лише при великих  $p_{iq} \rightarrow 1$  і малому  $i$ . З урахуванням цього, аналогічно (4), одержимо

$$Q_\mu(t) = (1 - p_1)(1 - p_2) \dots (1 - p_n), \quad (7)$$

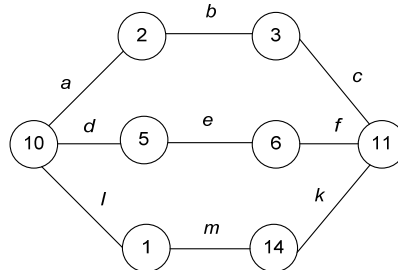
де

$$Q_\mu(t) = 1 - W_\mu(t). \quad (8)$$

Позначимо через  $Q_\mu^{(k)}(t)$  результат, отриманий при перемноженні ймовірностей  $(1 - p_i)$  відмов перших  $k$  шляхів. Тоді з урахуванням наступного  $k+1$ -го шляху одержимо уточнену оцінку  $Q_\mu^{(k+1)}(t)$ :

$$Q_\mu^{(k+1)}(t) = Q_\mu^{(k)}(t) - p_{k+1} Q_\mu^{(k)}(t). \quad (9)$$

Оцінимо значення ймовірності відмови  $Q_\mu(t)$  напрямку зв'язку  $\mu_{10-11}$  для структури мережі, зображеної на рис. 4. Позначимо ймовірності безвідмовного обслуговування гілок даної мережі як  $a, b, c, d, e, f, l, m, k$ . Розглянута структура прийме вигляд, зображений на рис.3.



**Рисунок 3 – Структура мережі в напрямку  $\mu_{10-11}$ , з урахуванням значень ймовірності безвідмовного обслуговування гілок**

Аналіз будемо проводити послідовно по ділянках, крок за кроком. З урахуванням викладеного можна показати, що ймовірність відмови  $Q_\mu(t)$  на 1 кроці, згідно з (8), виражається як

$$Q_\mu^{(1)}(t) = 1 - W_\mu^{(1)}(t) = 1 - abc = \overline{abc},$$

На другому кроці, згідно з (9),

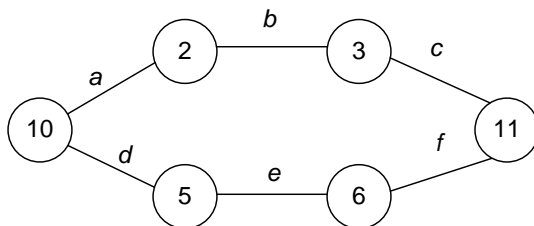
$$Q_\mu^{(2)}(t) = Q_\mu^{(1)}(t) - p_2 Q_\mu^{(1)}(t) = \overline{abc} - def \cdot \overline{abc} = \overline{abc} \cdot \overline{def}$$

і на третьому –

$$Q_\mu^{(3)}(t) = Q_\mu^{(2)}(t) - p_3 Q_\mu^{(2)}(t) = \overline{abc} \cdot \overline{def} - lmk \cdot \overline{abc} \cdot \overline{def} = \overline{abc} \cdot \overline{def} - (1 - lmk) = \overline{abc} \cdot \overline{def} \cdot \overline{lmk}. \quad (10)$$

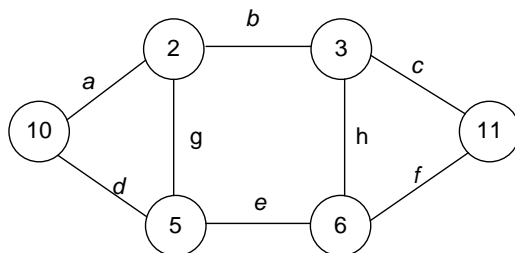
Зважаючи на те, що в розглянутій схемі є всього три шляхи передачі інформації, то вираз (10) і є значення ймовірності відмови  $Q_\mu(t)$  напрямку зв'язку  $\mu_{10-11}$  для структури мережі, зображеної на рис. 3.

Припустимо, що один із шляхів установалення з'єднання розглянутого напрямку зв'язку вийшов з ладу (наприклад шлях 10-1-14-11). У результаті цього зміниться структура мережі, що забезпечує даний напрямок. Вона прийме вигляд, зображений на рис. 4.



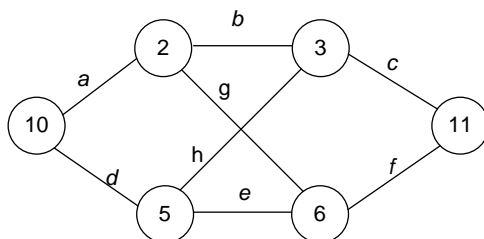
**Рисунок 6 – Структура мережі в напрямку  $\mu_{10-11}$  без врахування одного з незалежних шляхів установалення з'єднання**

Враховуючи, що інформаційне навантаження, що надходить у напрямок зв'язку  $\mu_{10-11}$ , пропускна здатність і канална ємність гілок, що утворюють шляхи передачі інформації, а також система обслуговування на мережі після негативного впливу залишаються без змін, можна зробити висновок, що отримана схема не в змозі забезпечити необхідні значення ймовірності безвідмовного обслуговування  $W(t)$ . Звідси виникає завдання – яким чином необхідно оперативно змінити (доповнити) структуру отриманої мережі, для забезпечення необхідних значень ймовірності безвідмовного обслуговування  $W(t)$ . Як шлях виконання завдання, що виникло, пропонується проаналізувати й порівняти два варіанти його рішення. Перший: з'єднати додатковими паралельними гілками (перемичками) КЦ-2 із КЦ-5 і КЦ-3 із КЦ-6 відповідно. У результаті таких перетворень отримаємо схему, зображену на рис. 5. Назвемо її схема „П”.



**Рисунок 7 – Структура мережі з паралельними перемичками (схема „П”)**

Другий варіант: з'єднати додатковими паралельними гілками (перемичками) відповідно КЦ-2 із КЦ-6 і КЦ-3 із КЦ-5. У результаті отримаємо схему, зображену на рис. 6. Назвемо її схема „Х”.



**Рисунок 8 – Структура мережі з перехресними перемичками (схема „Х”)**

Для розрахунку й аналізу значень ймовірності безвідмовного обслуговування  $W(t)$  досліджуваного напрямку зв'язку  $\mu_{10-11}$  (рис. 7, рис. 8) застосуємо метод сукупності шляхів або перетинів. У результаті розрахунку одержуємо вираз кінцевої ймовірності відмови для схеми „П” (рис. 7). Воно прийме наступний вигляд:

$$Q_{\mu_{10-11}}^{(II)}(t) = \overline{abc} \cdot \overline{def} - agef \cdot \overline{bc} \cdot \overline{d} - agehc \cdot \overline{b} \cdot \overline{df} + agehcf \cdot \overline{b} \cdot \overline{d} - dgbc \cdot \overline{a} \cdot \overline{ef} - dgbhf \cdot \overline{ac} \cdot \overline{e} + dgbfhc \cdot \overline{a} \cdot \overline{e} - abhf \cdot \overline{c} \cdot \overline{de} + abhfge \cdot \overline{c} \cdot \overline{d} + abhfdg \cdot \overline{c} \cdot \overline{e} - dehc \cdot \overline{ab} \cdot \overline{f} + dehcbg \cdot \overline{a} \cdot \overline{f}. \quad (11)$$

Вважаючи, що значення ймовірності безвідмовної роботи гілок, що становлять незалежні шляхи встановлення з'єднання  $(a, b, c, d, e, f) = p$ , а додаткових перемичок  $(g, h) = w_{II}$ , формула (11) приймає наступний вигляд:

$$Q_{\mu_{10-11}}^{(II)}(t) = (1 - p^3)^2 - w_{II}(4p^3(1 - p^2)(1 - p)) - w_{II}^2(2p^3(1 - p^2)(1 - p) + 6p^4(1 - p)^2). \quad (12)$$

Дорівнявши праві частини виразів (10) і (12) одержимо вираз (13) для розрахунку значення ймовірності безвідмовної роботи  $w_{II}$  додаткових перемичок для схеми „П”.

$$w_{II} = \frac{4p^3(1 - p^2)(1 - p) - \sqrt{(-4p^3(1 - p^2)(1 - p))^2 - 4(6p^4(1 - p)^2 - 2p^3(1 - p^2)(1 - p))((1 - p^3)^2 - (1 - p^3)^3)}}{2(6p^4(1 - p)^2 - 2p^3(1 - p^2)(1 - p))}. \quad (13)$$

Аналогічним чином зробимо необхідні розрахунки для схеми „X” (рис. 6). Одержимо вираз (14) для розрахунку кінцевої ймовірності відмови в напрямку зв'язку досліджуваної мережі.

$$Q_{\mu_{10-11}}^X(t) = \overline{abc} \cdot \overline{def} - \overline{agf} \cdot \overline{bc} \cdot \overline{de} - \overline{dhc} \cdot \overline{ab} \cdot \overline{ef} + \overline{dhcagf} \cdot \overline{b} \cdot \overline{e} - \overline{abhef} \cdot \overline{c} \cdot \overline{d} + \overline{abhefg} \cdot \overline{c} \cdot \overline{d} - \overline{degbc} \cdot \overline{a} \cdot \overline{f} + \overline{degbch} \cdot \overline{a} \cdot \overline{f} - \overline{dhbgf} \cdot \overline{ac} \cdot \overline{e} + \overline{dhbgfa} \cdot \overline{c} \cdot \overline{e} + \overline{dhbgfc} \cdot \overline{a} \cdot \overline{e} - \overline{agehc} \cdot \overline{b} \cdot \overline{df} + \overline{agehcf} \cdot \overline{b} \cdot \overline{d} + \overline{agehcd} \cdot \overline{b} \cdot \overline{f}. \quad (14)$$

Прийнявши для спрощення подальших розрахунків, що значення ймовірності безвідмовної роботи гілок, що становлять незалежні шляхи встановлення з'єднання  $(a, b, c, d, e, f) = p$ , а додаткових перемичок  $(g, h) = w_X$ , одержимо, що

$$Q_{\mu_{10-11}}^X(t) = (1 - p^3)^2 + w_X^2(7p^4(1 - p)^2 - 2p^3(1 - p^2)(1 - p)) - w_X(2p^4(1 - p)^2 + 2p^2(1 - p^2)^2). \quad (15)$$

Аналогічно проведенням вище діям, дорівняємо праві частини виразів (10) і (15) і запишемо вираз для розрахунку значення  $w_X$  структури схеми „X”.

$$w_X = \frac{(2p^4(1 - p)^2 + 2p^2(1 - p^2)^2) - \sqrt{(- (2p^4(1 - p)^2 + 2p^2(1 - p^2)^2))^2 - 4(7p^4(1 - p)^2 - 2p^3(1 - p^2)(1 - p))}}{2(7p^4(1 - p)^2 - 2p^3(1 - p^2)(1 - p))}. \quad (16)$$

Проаналізуємо отримані формули (13) і (16) для різних значень  $p$  у діапазоні від 0 до 0,97. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Значення ймовірності безвідмовної роботи основних гілок	Значення ймовірності безвідмовної роботи додаткових перемичок	
	$w_{II}$	$w_X$
0	0	0
0,1	0,256	0,05
0,2	0,298	0,103
0,3	0,352	0,162
0,4	0,422	0,2
0,5	0,55	0,311
0,6	0,625	0,412
0,7	0,776	0,542
0,8	0,99	0,721
0,9	1,35	1,005
0,97	2,1	1,48

За даними табл. 1 були побудовані графіки, що зображені на рис. 7.

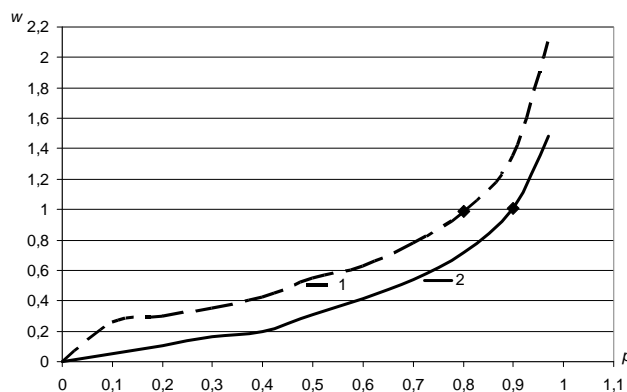


Рисунок 7 – Графіки залежності значень імовірності безвідмовного обслуговування  $w$  додаткових перемичок від імовірності безвідмовного обслуговування  $p$  гілок, що становлять шляхи встановлення з'єднання. 1 - схема „П”, 2 - схема „Х”

### III Висновки

Аналізуючи отримані результати розрахунків і графіки можна зробити наступні висновки.

1. Для забезпечення заданого значення ймовірності безвідмовного обслуговування в напрямку зв'язку в умовах виходу з ладу елементів одного зі шляхів установа з'єднання доцільно ввести в дію додаткові гілки (перемички), що з'єднують певні вузли (КЦ) на працездатних шляхах встановлення з'єднання.

2. Застосування схеми з перехресним включенням додаткових перемичок (схема „Х”) порівняно зі схемою з паралельним включенням додаткових перемичок (схема „П”) більш ефективно, тому що при значеннях  $0,9 \leq p < 1$  схема „Х”, на відміну від схеми „П”, ще забезпечує задані значення  $W(t)$  у напрямку зв'язку.

3. Для виконання вимог за значенням  $W(t)$  у цілому на ТКМ необхідно заздалегідь визначити, які КЦ, у якій кількості та в якій послідовності (у випадку непередбаченого виходу з ладу елементів мережі й невиконання вимог за значенням імовірності безвідмовної роботи  $W(t)$ ), забезпечать включення додаткових перемичок.

Література: 1. Романов А. И. Телекоммуникационные сети и управление. – К.: ИПЦ „Киевский университет”, 2003. – 247 с. 2. Курузов О. И. Татарникова Т. М. Моделирование телекоммуникационных сетей. – С.-П.: СПГУТ, 2005, – 80 с. 3. Щербина Л. П. Основы теории сетей военной связи. – Л.: ВАС, 1984. – 170 с. 4. Романов О. Г., Правило В. В. Дослідження впливу параметрів функціонування гілки телекомунікаційної мережі на показник якості обслуговування заявок. // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”, Випуск № 2, 2006. – С. 75–80. 5. Мизин И. А., Богатырев В. А., Кулешов А. П. Сети коммутации пакетов / Под ред. В.С. Семенихина. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.

УДК 681.3.06

## НАЛАШТУВАННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БОКСУ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕФОНІВ

Владислав Черниш, Ігор Жуков

Харківський національний університет радіоелектроніки

Анотація: Розглянуто основні захисні властивості захисного боксу для мобільних телефонів. Представлено дослідження рівня звукоізоляції захисного боксу на частотах мовного сигналу. Результати досліджень можна використати для захисту мовної конфіденційної інформації.

Summary: The basic protective properties of protective boxing for mobile phones. The work presents the research level of soundproofing protective boxing at frequencies of speech signal. The research results can be used to protect speech privacy.

Ключові слова: Акустична інформація, захисний бокс, звукоізоляція.