

# Методичний підхід щодо оптимального використання пропускної здатності телекомунікаційних мереж

Свида І. Ю., Зварич А. О., Бухал Д. А.

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України

E-mail: [voin2002@ukr.net](mailto:voin2002@ukr.net)

На теперішній час своєчасність проведення комерційних операцій вимагає конвергенції різних типів трафіка та забезпечення необхідної якості послуг, пов'язаних з передачею даних, голосу та відео. Звідси виникає необхідність оптимізації функціонування телекомунікаційних мереж (ТКМ) для своєчасної підтримки бізнес-процесів користувачів у реальному масштабі часу, що вимагає прискорення процесів управління, підвищення ефективності та темпу прийняття раціональних рішень. Однак, постійне збільшення об'єму інформації, необхідної для передавання, кількості користувачів, що формують розподілене інформаційне середовище, ускладнення мережних сервісів підвищує інтенсивність інформаційного обміну у ТКМ. Вихід з ладу будь-якого її телекомунікаційного вузла призводить до зміни маршрутів, інтенсивності інформаційних потоків, режимів роботи структурних елементів мережі тощо. До того ж функціонування ТКМ ускладнюється тим, що постійно загострюється суперечність між зростанням обсягів інформації, необхідної для прийняття раціонального управлінського рішення, та скороченням часу на цикл управління бізнес-процесами. На сьогоднішній день значний практичний інтерес становить дослідження питань, пов'язаних з оптимізацією використання такого обмеженого ресурсу як пропускна здатність ТКМ, що є актуальним науковим завданням. У результаті проведених досліджень для ефективного функціонування ТКМ на необхідному рівні запропоновано методичний підхід, який дозволяє визначати оптимальні маршрути передавання інформації за показником пропускної здатності та здійснювати розподіл інформаційних потоків у межах їх наявної пропускної здатності з врахуванням класів обслуговування трафіка користувачів. Першою особливістю запропонованого підходу є застосування (вперше) методу околів та меж для розрахунків оптимальних маршрутів передавання інформації в ТКМ. Другою особливістю є врахування класів обслуговування трафіка користувачів під час розподілу інформаційних потоків у межах розрахованої пропускної здатності ТКМ.

*Ключові слова:* пропускна здатність; інформаційні потоки; телекомунікаційна система загального користування

DOI: [10.20535/RADAP.2018.73.11-17](https://doi.org/10.20535/RADAP.2018.73.11-17)

## 1 Постановка проблеми у загальному вигляді

Стрімкий розвиток телекомунікаційних технологій став об'єктивним фактором руху до створення глобального ринку. Це призвело до фундаментальних змін у моделях ведення бізнесу, капіталізація якого стала безпосередньо залежати від своєчасності та достовірності отриманих телекомунікаційних послуг.

На теперішній час проведення комерційних операцій вимагає від телекомунікаційного ринку конвергенції різних типів трафіка та забезпечення необхідної якості послуг, пов'язаних з передачею даних, голосу та відео. Звідси виникає необхідність оптимізації функціонування телекомунікаційних мереж

(ТКМ) з метою зменшення витрат ресурсів на підтримку бізнес-процесів користувачів. Своєчасна їх підтримка у реальному часі призводить до прискорення процесів управління, підвищення ефективності та темпу прийняття раціональних рішень.

Однак, постійне збільшення об'єму інформації, необхідної для передавання, кількості користувачів, що формують розподілене інформаційне середовище, ускладнення мережних сервісів веде до зростання інтенсивності інформаційного обміну у ТКМ [1–3]. Вихід з ладу будь-якого її телекомунікаційного вузла призводить до зміни маршрутів, інтенсивності інформаційних потоків, режимів роботи структурних елементів мережі тощо. До того ж функціонування ТКМ ускладнюється тим, що постійно загострюється суперечність між зростанням

обсягів інформації, необхідної для прийняття раціонального управлінського рішення, та скороченням часу на цикл управління бізнес-процесами.

Тому, на сьогоднішній день значний практичний інтерес становить дослідження питань, пов'язаних з оптимізацією використання такого обмеженого ресурсу як пропускна здатність ТКМ, що є актуальним науковим завданням.

## 2 Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз особливостей функціонування сучасних ТКМ свідчить про те, що для забезпечення потреб користувачів зростають вимоги до імовірнісно-часових характеристик збору, оброблення та обміну інформації. Ця особливість функціонування ТКМ потребує вирішення питання визначення оптимальних маршрутів передавання інформації без додаткових змін характеристик та параметрів мережі, що забезпечить підвищення надійності функціонування ТКМ у разі зростання інформаційного навантаження на певних періодах часу.

Крім того, необхідно зазначити, що забезпечення обміну інформацією за кожним інформаційним напрямком передбачає управління потоками ТКМ, яке можна поділити на процеси визначення вхідних потоків та процеси розподілу пропускної здатності.

Один із підходів щодо оптимального розподілу наявної пропускної здатності ТКМ базується на теоретичній базі аналізу мереж передачі інформації, яка була запропонована в роботах Л. Клейнрока [4]. Ці підходи базуються на застосуванні алгоритмів аналізу стану каналів зв'язку, вибору маршруту передавання інформації та є більш притаманними для ТКМ з комутацією каналів зв'язку, що не відповідає вимогам сучасності.

Іншим підходом є застосування методичного апарату багатошляхової маршрутизації на базі тензорних моделей. В різні часи цим напрямком досліджень займалися ряд авторів [5–11] та ін... Основою їх робіт є математичне моделювання функціонування ТКМ за допомогою різноманітних тензорних моделей з накладанням обмежень на пропускну здатність, надійність, інформаційне навантаження тощо. Але на даний час практична реалізація можливостей даного методичного апарату обмежена його надвеликою обчислювальною складністю.

Найбільше практичне розповсюдження отримали підходи [12–14], що базуються на математичному апараті систем масового обслуговування і дозволяють розв'язувати задачу визначення пропускної здатності ТКМ на етапі їх технічного проектування. Водночас, застосування даного математичного апарату обмежується відповідністю законам розподілу інформаційних потоків, потребує значної кількості статистичних даних та призводить до складних аналітичних виразів.

Крім цього пікові інформаційні навантаження ТКМ за окремими напрямками її функціонування потребують дослідження за напрямком динамічного розподілу ресурсів, а саме визначення оптимальних маршрутів за показником пропускної здатності з послідовним розподілом інформаційних потоків в межах наявної пропускної здатності, що у відомій літературі практично не висвітлюється.

Тому, метою статті є розроблення методичного підходу щодо оптимального використання пропускної здатності ТКМ.

## 3 Виклад основного матеріалу дослідження

Головним завданням ТКМ в умовах мобільності користувачів, динамічної структури та випадкового характеру циркулюючих інформаційних потоків є забезпечення її ефективного функціонування за рахунок передачі максимальної кількості повідомлень (сигналів, знаків, звуків, рухомих або нерухомих зображень) з необхідною якістю.

При цьому під продуктивністю ТКМ розуміється кількість пакетів, переданих за визначений період часу, а під пропускну здатністю — максимально можливу продуктивність, яка залежить як від маршрутів передавання інформації, так і від ефективності розподілу інформаційних потоків.

Для досягнення мети статті задачу визначення оптимальних маршрутів передавання інформації та раціонального розподілу інформаційних потоків у межах їх наявної пропускної здатності пропонується розв'язати за двома етапами.

На першому етапі необхідно провести визначення оптимальних маршрутів ТКМ за показником пропускної здатності. Після визначення оптимальних маршрутів на другому етапі пропонується провести розподіл інформаційних потоків в межах їх пропускної здатності.

### 3.1 Визначення оптимальних маршрутів ТКМ за показником пропускної здатності

*Постановка задачі.* Задана структура ТКМ з відповідною кількістю телекомунікаційних вузлів  $M$  та прямих ліній між вузлами  $m$ , матриця узагальнених метрик, яка описує функціональні спроможності ліній зв'язку ТКМ за показником пропускної здатності  $C = [c_{ij}] \quad i, j = 1, n$ . Необхідно знайти оптимальні маршрути передавання інформації між вузлами  $x_i$  та  $x_j$  ТКМ за показником пропускної здатності.

Під оптимальним маршрутом розуміється шлях, який складається з суми його інтервалів з найбільшою метрикою, яка визначає пропускну здатність каналів ТКМ.

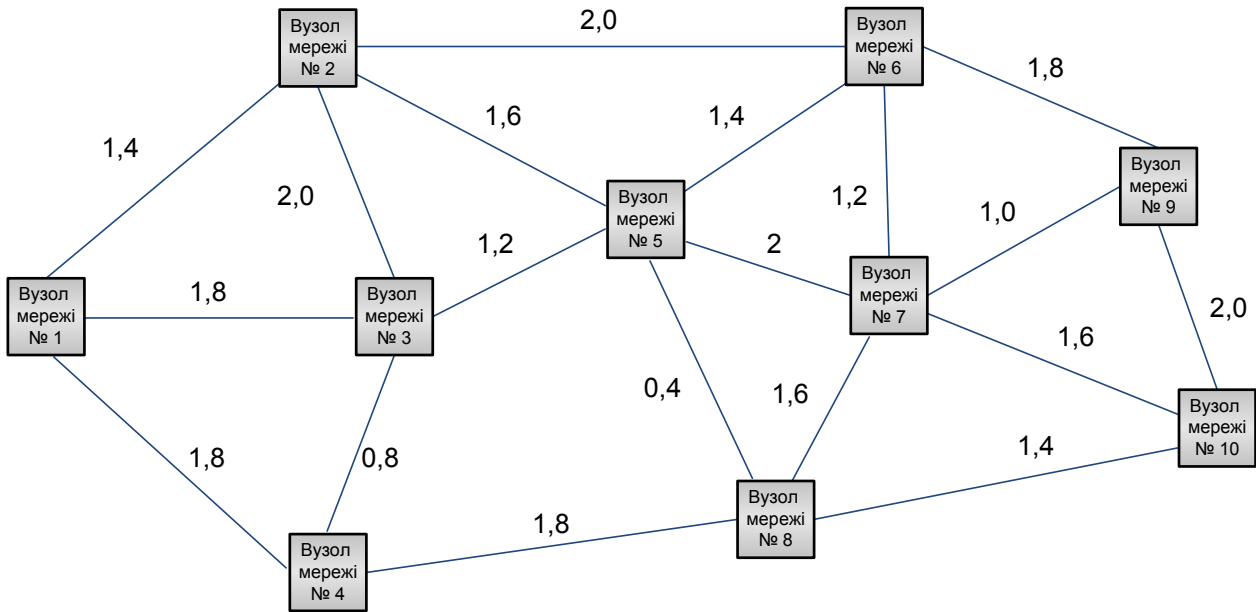


Рис. 1. Приклад умовної телекомунікаційної мережі

*Рішення задачі.* Можливість визначення оптимальних маршрутів ТКМ за показником пропускної здатності покажемо на конкретному прикладі. Для проведення розрахунків встановимо кількість вузлів ТКМ  $M=10$  з кількістю прямих ліній між вузлами мережі, яка дорівнює 19, та пропускною здатністю ліній зв'язку (Гбіт/с) відповідно до рис. 1.

З метою оптимізації передавання інформації через ТКМ пропонується визначення найбільш оптимальних маршрутів за показником пропускної здатності між вузлами  $x_i$  та  $x_j$  здійснити за допомогою методу околів та меж [15]. Сутність даного методу полягає у поданні графа ТКМ через околи та меж його вершин (рис. 2).

Першим околom  $S_i^1$  вузла  $x_i$  є множина кінцевих вузлів для ребер, інцидентних  $x_i$ , і сам вузол  $x_i$ .

Для такої множини істинним є вираз [15]

$$\forall x_j \in X \left\{ \begin{array}{l} x_j \in S_i^1 \leftrightarrow \exists \langle x_i, x_j \rangle \\ (\langle x_i, x_j \rangle \in F \langle x_i, x_j \rangle) \vee (x_i = x_j) \end{array} \right\}, \quad (1)$$

де  $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $j \in J = \{1, 2, \dots, m\}$ .

Тоді  $n$ -й окол вузла  $x_i$  за індукцією визначається як [15]

$$S_i^n = \bigcup_{x_j \in S_i^{n-1}} S_j^1. \quad (2)$$

Це означає, що  $n$ -й окол вузла  $x_i$  може бути отриманий шляхом додавання до  $(n - 1)$ -го околу множини сусідства, тобто кінцевих вузлів ребер, інцидентних з  $S_i^{n-1}$ . При цьому  $S_i^1 \subseteq S_i^2 \subseteq \dots \subseteq S_i^n$ .

Подання графа робиться через перерахування перших околів його вузлів [15]

$$L = \{S_i^1, x_i \in X\}, \quad (3)$$

де  $S_i^1 = \{x_i\}$ ,  $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $j \in J = \{1, 2, \dots, m\}$ .

При цьому функції належності для будь-яких послідовних відрізків  $(a, b)$  і  $(b, v)$  з відомими  $\mu(a, b)$  та  $\mu(b, v)$  графа задаються формулою [15]:

$$\mu(a, v) = \min(\max[\mu(a, b); \mu(b, v)]). \quad (4)$$

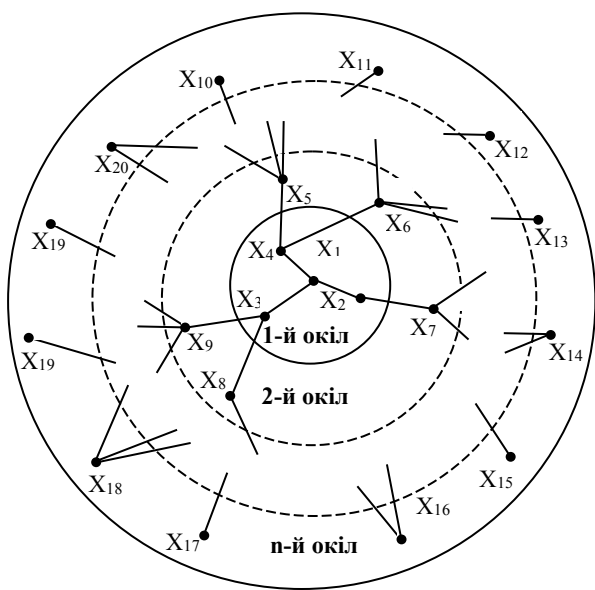


Рис. 2. Приклад околів та меж вузлів телекомунікаційної мережі загального користування

Отже, відповідно до рис. 1 розглянемо перші околиці вузлів ТКМ, де

$$\begin{aligned} S_1^1 &= \{ \langle 1.4/2 \rangle, \langle 1.8/3 \rangle, \langle 1.8/4 \rangle \}; \\ S_2^1 &= \{ \langle 1.4/1 \rangle, \langle 2/3 \rangle, \langle 1.6/5 \rangle, \langle 2/6 \rangle \}; \\ S_3^1 &= \{ \langle 1.8/1 \rangle, \langle 2/2 \rangle, \langle 0.8/4 \rangle, \langle 1.2/5 \rangle \}; \\ S_4^1 &= \{ \langle 1.8/3 \rangle, \langle 0.8/4 \rangle, \langle 1.8/8 \rangle \}; \\ S_5^1 &= \{ \langle 1.6/2 \rangle, \langle 1.2/3 \rangle, \langle 1.4/6 \rangle, \\ &\quad \langle 2.0/7 \rangle, \langle 0.4/8 \rangle \}; \\ S_6^1 &= \{ \langle 2.0/2 \rangle, \langle 1.4/5 \rangle, \langle 1.2/7 \rangle, \langle 1.8/9 \rangle \}; \\ S_7^1 &= \{ \langle 2.0/5 \rangle, \langle 1.2/6 \rangle, \langle 1.6/7 \rangle, \\ &\quad \langle 1.0/9 \rangle, \langle 1.6/10 \rangle \}; \\ S_8^1 &= \{ \langle 1.8/4 \rangle, \langle 0.4/5 \rangle, \langle 1.6/7 \rangle, \langle 1.4/10 \rangle \}; \\ S_9^1 &= \{ \langle 1.8/6 \rangle, \langle 1.0/7 \rangle, \langle 2.0/10 \rangle \}; \\ S_{10}^1 &= \{ \langle 1.6/7 \rangle, \langle 1.4/8 \rangle, \langle 2.0/9 \rangle \}. \end{aligned}$$

Під час розв'язання максимінної задачі у відповідності до (4) отримаємо

$$\mu(1, 10) = \min \left[ \begin{array}{c} \max(1, 3, 2, 6, 9, 10) \\ \max(1, 4, 8, 7, 5, 2, 6, 9, 10) \end{array} \right].$$

У результаті розрахунків отримаємо такі маршрути ТКМ між вузлами 1 та 10: маршрут № 1  $\mu(1, 10) = \mu(1, 3, 2, 6, 9, 10) = 1,6$  та маршрут № 2  $\mu(1, 10) = \mu(1, 4, 8, 7, 5, 2, 6, 9, 10) = 1,6$ , в яких мінімальна пропускна здатність складає 1,6 Гбіт/с, що для заданих вихідних даних є найкращим варіантом.

У разі отримання двох і більше маршрутів між вузлами ТКМ оптимальним є маршрут з мінімальною кількістю інтервальних ліній зв'язку. Наявність інших маршрутів дозволяє використовувати їх під час виходу з ладу основного маршруту або розподілити інформаційне навантаження за декількома маршрутами.

Відповідно до наведеного прикладу оптимальним маршрутом є маршрут № 1. Маршрут передавання інформації № 2 може застосовуватися в якості еквівалентного або резервного.

Найбільш раціональним рішенням з точки зору задіяних ресурсів ТКМ є створення для кожного вузла локальних маршрутних таблиць розмірності  $M \times M_i$  (де  $M$  — загальна кількість вузлів;  $M_i$  — кількість сусідніх вузлів вузла  $i$ ), записи якої є долями сумарної пропускної здатності, яка може бути розподілена по різних сусідніх вузлах (багатошляхова маршрутизація).

### 3.2 Розподіл інформаційних потоків в межах розрахованої пропускної здатності

*Постановка задачі.* Необхідно вирішити задачу раціонального розподілу інформаційних потоків

відповідно до їх пріоритетів таким чином, щоб користувачі були забезпечені визначеною пропускною здатністю ТКМ, при цьому пріоритет характеризується важливістю інформації, яка передається.

Відповідно до [16–18] інформаційні потоки можуть бути класифіковані за типом трафіка, який передається ТКМ, на голосовий (телефон), потоковий (відео), текстовий та графічний.

У загальному випадку постановку задачі розподілу інформаційних потоків можна сформулювати таким чином: необхідно знайти оптимальний вектор розподілу трафіка  $X_0 = \{x_i^0\}_S$ , який спрямовує у максимум цільову функцію

$$F(X) = \sum_{i=1}^S A_i (1 - \varepsilon_i^{x_i}), \quad (5)$$

де  $A_i$  — важливість інформаційного потоку  $i$ -го типу трафіка, за обмежень

$$\sum_{i=1}^S x_i \leq N, \quad (6)$$

$$\left. \begin{array}{l} x_i \in \{0, 1, \dots, N\}, \\ 0 \leq (\varepsilon_i = 1 - \omega_i) \leq 1, \\ A_i > 0, \end{array} \right\} i = 1, \dots, S, \quad (7)$$

де  $N$  — загальна кількість пакетів потоку ТКМ;  $S$  — кількість інформаційних потоків за  $i$ -тим типом трафіка;  $\omega_i$  — імовірність безперервної передачі  $i$ -го типу трафіка.

Таким чином, визначення необхідної пропускної здатності ТКМ передбачає знаходження характеристик інформаційних потоків за типом трафіка та їх розподіл відповідно до результатів розв'язання задачі оптимізації (5) – (7).

Ця задача належить до класу дискретних задач нелінійного програмування з сепарабельними функціями, яка може бути розв'язана, наприклад, методом максимального елемента.

*Рішення задачі.* Можливість застосування розподілу інформаційних потоків в межах розрахованої пропускної здатності ТКМ покажемо на конкретному прикладі, який передбачає розподіл інформаційного потоку за типом трафіка. Для наочності проведення розрахунків обмежимо кількість кроків ітерації методу  $N=10$ , важливість інформаційного потоку за типом трафіка та імовірність його безперервної передачі наведені у табл. 1 відповідно до вимог користувачів та наявних можливостей ТКМ.

Розрахунок щодо розподілу інформаційних потоків за типом трафіка наведений у табл. 2.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що максимальне значення цільової функції  $F$  під час передавання чотирьох типів інформаційного трафіка дорівнює 99,41. При цьому, інформаційні потоки за типом трафіка будуть розподілені у такий спосіб:  $x_1 = 3$ ,  $x_2 = 4$ ,  $x_3 = 2$ ,

Табл. 1 Вихідні дані для проведення розрахунку щодо розподілу інформаційних потоків за типом трафіка

Назва показника	Тип трафіка, $i$			
	1 (голосовий)	2 (текстовий)	3 (графічний)	4 (потоківий)
Важливість інформаційного потоку $i$ -го типу трафіка, $A_i$	35	45	15	5
Імовірність безперервної передачі $i$ -го типу трафіка, $\omega_i$	0,85	0,8	0,9	0,95

Табл. 2 Приклад розрахунку щодо розподілу інформаційних потоків за типом трафіка

№ кроку ітерації, $t$	Тип трафіка, $i$								$F_t^+$
	1 (голосовий)		2 (текстовий)		3 (графічний)		4 (потоківий)		
	$\Delta_i$	$x_i$	$\Delta_i$	$x_i$	$\Delta_i$	$x_i$	$\Delta_i$	$x_i$	
1	29,75		36	1	13,5		4,75		36
2	29,75	1	7,2		13,5		4,75		65,75
3	4,46		7,2		13,5	1	4,75		79,25
4	4,46		7,2		1,35		4,75	1	84
5	4,46		7,2	1	1,35		0,24		91,2
6	4,46	1	1,44		1,35		0,24		95,66
7	0,67		1,44	1	1,35		0,24		97,1
8	0,67		0,29		1,35	1	0,24		98,45
9	0,67	1	0,29		0,14		0,24		99,12
10	0,1		0,29	1	0,14		0,24		99,41
$\sum x_i$		3		4		2		1	F=99,41

Примітка.  $F_t^+$  — покрокове збільшення аргументу цільової функції  $F(x)$ .

$x_4 = 1$ . Тобто, трафіку першого типу доцільно призначити 30% наявної пропускної здатності ТКМ, для другого типу — 40%, для третього — 20% та для четвертого — 10% відповідно.

## Висновки

У результаті проведених досліджень для ефективного функціонування ТКМ на необхідному рівні запропоновано методичний підхід щодо оптимального використання пропускної здатності ТКМ під час передавання інформації, який дозволяє визначати оптимальні маршрути передавання інформації за показником пропускної здатності та здійснювати розподіл інформаційних потоків в межах їх наявної пропускної здатності з врахуванням класів обслуговування трафіка користувачів.

Першою особливістю запропонованого підходу є застосування (вперше) методу околів та меж для розрахунків оптимальних маршрутів передавання інформації в ТКМ.

Другою особливістю є врахування класів обслуговування трафіка користувачів під час розподілу інформаційних потоків в межах розрахованої пропускної здатності ТКМ.

Подальший напрямок досліджень вбачається в урахуванні більшої кількості чинників, що впливають на пропускну здатність та визначенні переліку методів, які дозволяють ефективно розв'язувати відповідну задачу оптимізації.

## Перелік посилань

- Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер. — СПб. : Питер, 2009. — 164 с.
- Бройдо В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / В.Л.Бройдо. — СПб. : Питер, 2004. — 703 с.
- Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов. — М. : Высш. шк., 2001. — 343 с.
- Клейнрок Л. Коммуникационные сети: стохастические потоки и задержки сообщений / Л. Клейнрок. — М. : Наука, 1970. — 255 с.
- Поповский В.В. Симплициальная модель оценки структурной сложности телекоммуникационных систем / В.В. Поповский, А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2003. — Вып. 5 (5). — С. 48-51.
- Стрелковская И.В. Применение теории моделей и тензорного анализа при моделировании телекоммуникационных систем / И.В. Стрелковская, Т.И. Григорьева // Радиотехника: Всеукр. науч.-техн. сб., — 2007. — Вып. 148, — С. 102-106.
- Пасечников И.И. Методология анализа и синтеза предельно нагруженных информационных сетей / И.И. Пасечников. — М. : Машиностроение, — 2004. — 250 с.
- Лемешко А.В. Модель многопутевой QoS-маршрутизации в мультисервисной телекоммуникационной сети / А.В. Лемешко, О.А. Дробот // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. — 2006. — № 144. — С. 16-22.
- Лемешко А.В. Тензорная модель решения задачи многопутевой маршрутизации информационного трафика

- заданного объема с требуемым временем доведения в двухполюсных телекоммуникационных сетях / А.В. Лемешко // Прикладная радиоэлектроника. — 2003. — Том. 2, №2. — С. 140-146.
10. Лемешко А.В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантиями качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсева // Проблемы телекоммуникаций. — 2012. — № 4 (9). — С. 16-31.
  11. Стрелковская И.В. Использование тензорного метода при расчёте телекоммуникационной системы, представленной узловой сетью / И.В. Стрелковская, И.Н. Соколовская // Проблемы телекоммуникаций. — 2010. — № 1 (1). — С. 68-75.
  12. Кутковецкий В.Я. Ймовірнісні процеси і математична статистика в автоматизованих системах / В.Я. Кутковецкий. — Миколаїв, 2003. — 170 с.
  13. Ложковский А.Г. Теорія масового обслуговування в телекомунікаціях / А.Г. Ложковский — Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. — 112 с.
  14. Бовда Ю.О. Метод обмеження вхідного навантаження в SDN мережах / Ю.О. Бовда, О.Б. Плугова, В.Г. Бондаренко // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. — 2017. — Вип. № 3. — С. 17-24.
  15. Сбітнев А. І. Алгоритм визначення зв'язності військової ретрансляційної системи рухомого радіозв'язку / А.І. Сбітнев, А.П. Волобуєв, Д.А. Бухал // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. — 2012. — № 3. — С. 46-49. — Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo\\_2012\\_3\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2012_3_12).
  16. Дансмор Б. Справочник по телекоммуникационным технологиям / Б. Дансмор. — М. : Вильямс, 2004. — 640 с.
  17. Амато В. Основы организации сетей Cisco / В. Амато. — М. : Вильямс, 2002. — 512 с.
  18. Пьявченко Т.А. Автоматизированные информационно-управляющие системы / Т.А. Пьявченко — Т. : ТРТУ, 2007. — 271 с.
  - [6] Strelkovskaia I.V., Grigorieva T.I. Primenenye teorii modelei i tenzornogo analiza pri modelirovanii telekommunikatsionnykh sistem [Application of the theory of models and tensor analysis in the modeling of telecommunication systems] // Radiotekhnika: Ukr. scientific-techn. coll., - 2007. - Issue. 148, - P. 102-106.
  - [7] Pasechnikov I.I. (2004) *Metodologiya analiza i sinteza predel'no nagruzhenykh informatsionnykh setei* [Methodology of analysis and synthesis of extremely loaded information networks]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 250 p.
  - [8] Lemeshko A.V. and Drobot O.A. (2006) Model' mnogoputevoi QoS-marshrutizatsii v mult'iservisnoi telekommunikatsionnoi seti [Model of multipath QoS-routing in multiservicing telecommunications network]. *Radiotekhnika KhNURE*, No. 144, pp. 16-22.
  - [9] Lemeshko A.V. (2003) Tenzornaya model' resheniya zadachi mnogoputevoi marshrutizatsii informatsionnogo trafika zadannogo ob'ema s trebuemym vremenem dovedeniya v dvukhpolyusnykh telekommunikatsionnykh setyakh [Tensor model of solving the problem of multipath routing of information traffic of a given volume with the required time in two-pole telecommunication networks]. *Applied radio electronics*, Vol. 2, No. 2, pp. 49-53.
  - [10] Lemeshko A.V., Evseeva O. and Garkusha S. (2014) Research on tensor model of multipath routing in telecommunication network with support of service quality by greate number of indices. *Telecommunications and Radio Engineering*, Vol. 73, Iss. 15, pp. 1339-1360. DOI: 10.1615/telecomradeng.v73.i15.30
  - [11] Strelkovskaya I. V., Solovskaya I. N. (2010) Using of tensor method for calculating the telecommunications network, which is presented by the nodal network. *Problemy telekomunikatsii*, No. 1 (1), pp. 68-75. (in Russian)
  - [12] Kutkovetskyi V.Ya. (2003) *Imovirnisni protsesy i matematychna statystyka v avtomatyzovanykh sistemakh* [Probabilistic processes and mathematical statistics in automatized systems]. Mykolaiv, 170 p.
  - [13] Lozhkovskiy A.H. (2010) *Teoriia masovoho obsluhovuvannia v telekomunikatsiiah* [Mass service theory in telecommunications]. Odesa, ONAZ im. O.S. Popova, 112 p.
  - [14] Bovda Yu.O., Pluhova O.B. and Bondarenko V.H. (2017) Metod obmezhenia vkhidnogo navantazhenia v SDN merezhakh [The method of the interference in the inventory in the SDN networks]. *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu telekomunikatsii ta informatyzatsii*, Iss. 3, pp. 17-24.
  - [15] Sbitniev A. I., Volobuev A.P. and Bukhal D.A. (2012) Alhorytm vyznachennia zv'iaznosti viiskovoi retranslatsiinoi systemy rukhomoho radiozv'iazku [Algorithm for determining the coherence of the mobile military relay radio communication system]. *Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta obrony*, Iss. 3, pp. 46-49.
  - [16] Dunsmore B. and Skanier T. (2003) *Telecommunications Technologies Reference*, Cisco Press, 640 p.
  - [17] Amato V. (2000) *Cisco networking essentials. Volume 1*. Cisco Press, P. 512 p.
  - [18] P'yavchenko T.A. and Finaev V.I. (2007) *Avtomatizirovannye informatsionno-upravlyayushchie sistemy* [Automated information-control systems]. Taganrog, TRTU, 271 p.

## References

- [1] Olifer V.G. (2009) *Komp'yuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly* [Computer networks. Principles, technologies, protocols]. SPb., Piter Publ., 164 p.
- [2] Broido V.L. (2004) *Vychislitel'nye sistemy, seti i telekommunikatsii* [Computing systems, networks and telecommunications]. SPb., Piter Publ., 703 p.
- [3] Sovetov B.Ya. (2001) *Modelirovanie sistem* [System Modeling]. Moskow, Vysshaya shkola, 343 p.
- [4] Kleinrok L. (1970) *Kommunikatsionnye seti: stokhasticheskie potoki i zaderzhki soobshchenii* [Communication networks: Stochastic flows and message delays]. Moskow, Nauka, 255 p.
- [5] Popovskii V.V., Lemeshko A.V. and Evseeva O.Yu. (2008) Simplitsial'naya model' otsenki strukturnoi slozhnosti telekommunikatsionnykh sistem [Simplicative model of estimation of structural complexity of telecommunication systems]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 5, pp. 48-51.

## Методический подход для оптимального использования пропускной способности телекоммуникационных сетей

*Свида И. Ю., Зварич А. О., Бухал Д. А.*

В статье рассмотрен методический подход, который позволяет определять оптимальные маршруты передачи информации и осуществлять распределение информационных потоков в пределах имеющейся в них пропускной способности. В отличие от существующих предложенный подход маршрутизации информационных потоков применяет метод окрестностей и границ и одновременно учитывает класс обслуживания трафика пользователей с решением соответствующей задачи оптимизации.

*Ключевые слова:* пропускная способность; информационные потоки; телекоммуникационная система общего пользования

## Technical approach to optimal utilization of telecommunication system bandwidth

*Svyda I. Yu., Zvarych A. O., Bukhal D. A.*

At the present time, the opportuneness of commercial operations requires the convergence of different types of traffic and the ensuring of the necessary quality of services related to the transmission of data, voice and video. Consequently, there is need to optimize the telecommunication networks (TCN) functioning with the purpose of timely support of business users processes in real time. It

leads to management processes accelerating with increasing the efficiency and the tempo of making rational decisions. However, the continuous increase in the amount of transmission information needed, the number of users that forms a distributed information environment, the complexity of network services lead to an increase of the information intensity exchange in TCN. Failure of any of its telecommunication node leads to changes in routes, intensities of information torrents, operating modes of network elements, etc. In addition, the functioning of the TCN is complicated by the fact that it is constantly exacerbated the growing contradiction between the increasing of the amount of information needed to make a management decision and the reduction of time for the cycle of business processes management. Today, a considerable practical interest is the study of issues related to the optimization of the use of such limited resource as the productive capacity of TCN, which is an actual scientific task. As a result of the conducted researches for the efficient functioning of TCN at the required level, it is proposed a methodical approach for optimal use of TCN productive capacity during the transmission of information. It allows to determine the optimal routes for transmitting information by the productive capacity indicator and distributing information torrents within their available productive capacity taking into account the classes of user traffic servicing. The first feature of the proposed approach is the application (for the first time) of the nodes and the limits method for optimal routes calculating for information transmission in the TCN. The second feature is to take into account the classes of user traffic servicing during the distribution of information torrents within the calculated TCN productive capacity.

*Key words:* bandwidth; information flows; general use telecommunication system