

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ЛАНКИ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ АБОНЕНТСЬКИХ І МЕРЕЖЕВИХ ТЕРМІНАЛІВ

Досліджуються мультисервісні мережі телекомунікації, утворені абонентськими і мережевими терміналами та запропонована модель функціонування ланки мережі. Отримано аналітичні вирази, які дозволяють оцінити параметри ефективності ланки мережі зв'язку та показники гарантованої якості обслуговування неоднорідного трафіку.

### Вступ

Дослідження та аналіз розвитку телекомунікаційних мереж зв'язку показує, що в наш час відбувається поступове перетворення телефонних мереж загального користування в мультисервісні мережі [1]. Ланки мультисервісної мережі як основа систем управління, доставки і розподіленої обробки інформації на базі сучасних інформаційних технологій висувають високі вимоги до ефективного використання пропускної здатності термінального обладнання телекомунікаційних мереж зв'язку та до характеристик якості обслуговування QoS (Quality of Service) користувачів.

Ефективність ланки мультисервісних мереж істотно залежить від своєчасної доставки та надійності передачі неоднорідного трафіку [2—4] з використанням багатофункціональних абонентських і мережесервісних терміналів (БАіМТ). Останні забезпечують зручність абонентського і мережевого доступу для оперативного управління і контролю телекомунікаційних процесів — передачі, обробки та отримання мультимедійних додатків за виконання процедури встановлення з'єднань користувачів на вторинних мережах зв'язку [2]. Для вирішення таких завдань велика увага приділяється створенню ланки мультисервісних мереж телекомунікації з підвищеною ефективністю для управління передачею мережесервісним додатком, що набуває більшої значущості в системах управління зв'язку.

В [2, 4, 5] досліджено характеристики ефективності термінального обладнання ланки мультисервісних мереж передачі неоднорідного трафіку та визначено їх деякі показники, такі як продуктивність, швидкість роботи БАіМТ та ймовірно-часові характеристики системи. Однак, аналіз цих робіт показав, що оцінка пропускної здатності термінального обладнання мультисервісних мереж зв'язку із заданим показником QoS викликає багато проблем під час передачі потоків пакетів єдиними каналами зв'язку та інтеграції різних видів обслуговування неоднорідного трафіку.

Розглядаються питання дослідження методів оцінки характеристик ланки мультисервісних мереж телекомунікації та аналіз ефективності термінальних засобів, що забезпечують якість сервісу QoS передачі голосового трафіку, що є найбільш актуально.

### Постановка завдання й описи процесів передачі неоднорідного трафіку

На рис. 1 показана структурна схема ланки мережі передачі неоднорідного трафіку, яка складається з системи управління трафіком і доступом інформаційних ресурсів, буферного накопичувача БА і МТ.

На підставі системного аналізу процесу обслуговування потоків пакетів термінальним обладнанням розглядається модель ланки мережі,

що є системою масового обслуговування (СМО) із загальним буферним накопичувачем (БН) кінцевої ємності  $N_{\text{бн}}$ ,  $1 \leq N_{\text{бн}} < \infty$ , тобто системою з обмеженим часом очікування. Вхідні потоки неоднорідного трафіку є пуасонівськими з  $\lambda_i (\lambda_p, \lambda_{\text{нр}}, \lambda_{\text{в}})$ ,  $i = 1, n$ , відповідно.

Якщо  $i$ -й потік пакетів неоднорідного трафіку надходить в момент часу  $t$ , коли є вільний БА і

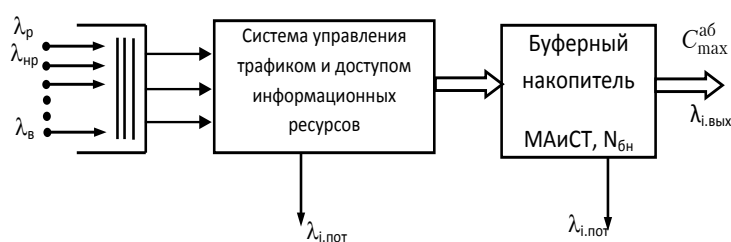


Рис. 1. Структурна схема ланки мережі, утвореної абонентськими і мережевими терміналами

МТ (їх загальна кількість складає  $Nm$ ), то він займає його на час обслуговування. Після закінчення порогу часу обслуговування потоки пакетів залишають СМО з імовірністю  $P_{i,n}$ , тобто губляться. Моделлю СМО є БН з обмеженою місткістю і в кожній черзі є обмежена кількість місць очікування  $L_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  в буферному накопичувачі. З огляду на характер досліджуваної моделі СМО, слід звернути особливу увагу на характеристики пропускної здатності ланки мережі для гарантованої якості передачі неоднорідного трафіку БА і МТ.

У статті розглядаються питання дослідження моделі функціонування ланки мультисервісної мережі, утвореної терміналами багатофункціонального типу та оцінки показників пропускної здатності систем передачі неоднорідного трафіку. Припустимо, що  $i_p(t), i_{np}(t), i_b(t)$  — кількість терміналів, зайнятих обслуговуванням мовних  $\lambda_p$ , немовних  $\lambda_{np}$  і відео  $\lambda_b$  трафіків у момент часу  $t$  під час передачі та очікування, відповідно. Оскільки пакети в широкосмугових мережах телекомунікації займають єдиний термінальний ресурс, де мінімальна швидкість  $V \geq 2048$  Кбит/с, то  $[i_p(t) + i_{np}(t) + i_b(t)] \leq N_m$ .

Слід зазначити, що функціонування СМО описується марковским процесом  $r(t) = \{i_p(t), i_{np}(t), i_b(t)\}$ , де  $i_p(t)$  — кількість зайнятих терміналів або місць очікування пакетів мовного потоку;  $i_{np}(t)$  — кількість зайнятих терміналів або місць очікування пакетів немовного потоку;  $i_b(t)$  — кількість зайнятих терміналів або місць очікування пакетів відеопотоку. У разі виконання умови  $\left[ (\lambda_p + \lambda_{np} + \lambda_b) / (N_m / b_i) \right] < 1$  існує стаціонарний стан, для якого складена система алгебраїчних рівнянь і множина можливих станів  $S$  описується таким чином:

$$S = \left\{ (i_p, i_{np}, i_b) : i_p + i_{np} + i_b \leq N_m, 0 \leq i_p \leq N_m, 0 \leq i_{np} \leq N_m, 0 \leq i_b \leq N_m \right\}, \quad (1)$$

де  $N_m$  — кількість абонентських і мережевих терміналів у ланках мультисервісних мереж зв'язку.

### Аналіз моделі процесів функціонування ланки мережі

Структурна схема ланки мережі з використанням БАіМТ і алгоритми функціонування її системи передачі трафіку описуються системою диференціальних рівнянь Колмогорова–Чепмена. Скориставшись моделлю системи і діаграмою станів [3], можна виписати системи рівнянь балансу, які описують стаціонарну статистику системи [3, 4]:

$$(\lambda + \mu)P_n = \lambda P_{n-1} + \mu P_{n+1}, \quad n \geq 1, \quad (2)$$

де  $P_n$  — імовірність перебування системи в стані  $n$ .

У цьому випадку швидкість надходження потоків пакетів на ланку залежить від поточного стану системи — від кількості пакетів, що вже надійшли. Отриманий Марківський процес є процесом народження і загибелі. Ці умови можна сформулювати за допомогою процесу розмноження та загибелі в такому вигляді:

$$\lambda = \lambda_i, i = 1, 2, 3, \dots; \quad b_i = \begin{cases} i \cdot \mu^{-1}, & \text{якщо } 0 \leq i \leq N_m; \\ N_m \cdot \mu^{-1}, & \text{якщо } N_m \leq i \leq N_m + k, \end{cases} \quad (3)$$

де  $k$  — кількість місць для очікування, кінцеве;  $m$  — інтенсивність обслуговування потоків пакетів.

Для існування стаціонарного розподілу черги будемо вважати, що завантаження системи

$$\rho_i = (\lambda_i N_m^{-1} b_i) < 1, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Враховуючи модель функціонування СМО і постановку задачі, математичне формулювання запропонованого підходу для вибору критеріїв, що оцінюють характеристики термінального обладнання ланки мультисервісних мереж зв'язку в процесі передачі  $i$ -го потоку пакетів неоднорідного трафіку, може бути подана такою групою показників:

$$Q_{i,\text{кф}} = \left\{ C_{i,\text{max}}, \left[ E(L_{\text{cp}}) \right], P_{i,\text{пот}} \right\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

де  $C_{i,\text{max}}$  — максимальне значення пропускної здатності абонентських і мережевих терміналів лан-

ки мережі під час передачі  $i$ -го потоку пакетів неоднорідного трафіку;  $P_{i,\text{пот}}$  — імовірність втрати мережі під час обслуговування  $i$ -го потоку пакетів;  $[E(L_{cp})]$  — середня кількість пакетів трафіку в ланках мереж зв'язку.

Вираз (5) описує пропонувану ММ і показники функціонування термінального обладнання ланки мультисервісних мереж телекомунікації.

### Оцінка показників ефективності ланки мережі

На основі моделі ланки мережі передачі неоднорідного трафіку можуть бути обчислені їх показники ефективності за відомими ймовірностями станів функціонування системи.

З урахуванням алгоритмів роботи (див. рис. 1), вхідних та вихідних потоків пакетів  $i$ -го трафіку пропускна здатність ланки мережі передачі неоднорідного трафіку визначається виразом

$$C_{\max} = N_m \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_{i,\text{ВЫХ}} = N_m \sum_{i=1}^n (\lambda_{i,\text{ВХ}} - \lambda_{i,\text{ПОТ}}). \quad (6)$$

Враховуючи нормувальне рівняння  $P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1$ , яке заміщає одне будь-яке рівняння системи (2), сприяємо розв'язанню цієї системи.

Розв'язавши рівняння (2) з використанням нормувального рівняння, отримаємо такі імовірнісні характеристики ланки мультисервісної мережі:

$$P_0 = \left[ 1 + \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k!} \mu^{-k} \right]^{-1}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

З урахуванням (7) можуть бути визначені  $k$ -ті ймовірності станів функціонування ланки мережі передачі неоднорідного трафіку, які виражаються таким чином:

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} \left[ 1 + \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k!} \mu^{-k} \right]^{-1}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Оскільки стан  $n$  є станом обслуговування абонентським і мережевим терміналом максимально допустимої кількості ланок мережі, то  $P_n$  є ймовірністю  $P_{\text{пот}}$  того, що черговій заявці буде відмовлено в обслуговуванні, тобто

$$P_{\text{пот}} (\rho \leq \rho_{\max}, N_{\text{бн}}) = \frac{\rho^n}{n!} \left[ 1 + \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k!} \mu^{-k} \right]^{-1}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Вираз (9) визначає показники QoS ланки мультисервісної мережі для максимального коефіцієнта завантаження системи передачі неоднорідного трафіку.

Коефіцієнт ефективного використання ланки мережі за допомогою середньої довжини пакета  $L_n$  виражається таким чином:

$$\rho = \frac{\lambda_i}{N_m C_{\max}} L_n < 1, \quad (10)$$

де  $L_n$  — середня довжина переданого пакета.

Крім того (4), (9) і (10) є алгоритмами визначення основних показників гарантованої якості обслуговування QoS неоднорідного трафіку.

З урахуванням (9), відносна пропускна здатність ланки мережі виражається формулою

$$C_{\max}^{\text{от}} = 1 - P_{\text{пот}} (\rho \leq \rho_{\max}) = 1 - \frac{\rho^n}{n!} \left[ 1 + \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k!} \mu^{-k} \right]^{-1}. \quad (11)$$

Однією з найважливіших характеристик моделі СМО ланки мережі є абсолютна пропускна здатність  $C_{\max}^{\text{аб}}$  середня кількість потоків пакетів трафіку, яку може обслужити систему за одиницю часу. Тоді на основі (9) і (11) можна оцінити абсолютну пропускну здатність ланки мережі, рівну добутку інтенсивності потоку заявок на відносну пропускну здатність, тобто

$$C_{\max}^{\text{аб}} = \lambda C_{\max}^{\text{от}} = \lambda \left( 1 - \frac{\rho^n}{n!} P_0 \right). \quad (12)$$

На основі (12) мінімальна ємність буферного накопичувача БАіМТ ланки мережі, що працює в

режимі «FIFO» визначається виразом

$$N_{\text{бн}} = (\lambda_{\text{вх}} - C_{\text{max}}^{\text{аб}}) T_{\text{пер.}} + B, \quad \lambda_{\text{вх}} \geq C_{\text{max}}^{\text{аб}}, \quad (13)$$

де  $B$  — максимальний сплеск під час обробки потоку пакетів (burst), що вимірюється в тих самих одиницях, що і обсяг даних.

Позначимо інтенсивність обслуговування одного пакета трафіку абонентським і мережевим терміналом через  $\mu$ . Тоді середня кількість пакетів трафіку  $L_{\text{cp}}$ , що обслуговуються одним абонентським і мережевим терміналами, складе

$$E[L_{\text{cp}}] = \mu^{-1} C_{\text{max}}^{\text{аб}} = \frac{\lambda}{\mu} - \frac{\rho^{n+1}}{n! + \sum_{k=1}^n (\rho^k/k!) \cdot (n!)}. \quad (14)$$

На рис. 2 подано графічну залежність ймовірності втрати від кількості БАіМТ за заданого завантаження  $\rho_i = 0,30, \dots, 0,45$  ланки мережі.

Аналіз графічної залежності  $P_{\text{пот}} = F(\rho_i, N_{i,m}, V_{i,m})$  показує, що зі зростанням кількості БАіМТ  $N_m \geq 20$  ланки мультисервісної мережі, ймовірність втрати зменшується, відповідаючи вимогам якості обслуговування системи передачі неоднорідного трафіку, і зростає їхня пропускна здатність.

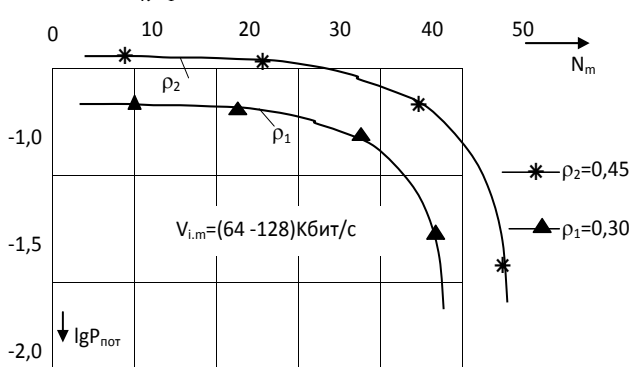


Рис. 2. Графічна залежність ймовірності втрати від кількості БАіМТ ланки мережі

### Висновок

Отримані в результаті дослідження формули (1)—(14) є алгоритмами розрахунку, що визначають основні показники ефективності системи передачі неоднорідного трафіку.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дансмор Б. Справочник по телекоммуникационным технологиям / Б. Дансмор, Т. Скандьер. — М. : Издат. Дом «Вильямс», 2004. — 640 с.
2. Ершов В. А. Мультисервисные телекоммуникационные сети / В. А. Ершов, Н. А. Кузнецов — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — 432 с.
3. Вишне夫斯基 В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В. М. Вишне夫斯基. — М. : Техносфера, 2003. — 512 с.
4. Деарт В. Ю. Мультисервисные сети связи. Транспортные сети и сети доступа / В. Ю. Деарт. — М. : Инсвязьиздат, 2008. — 168 с.
5. Яновский Г. Г., Кох Р. Эволюции и конвергенция в электросвязи / Г. Г. Яновский, Р. Кох. — М. : Радио и связь, 2001. — 280 с.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних наук

Стаття надійшла до редакції 16.05.11  
Рекомендована до друку 24.05.11

**Рашиддізаде Тимур Джамал огли** — аспірант кафедри телекомунікаційних мереж та технологій.

Азербайджанський технічний університет, Баку, Азербайджан