

УДК 621.375.34

Г. А. Мамедов, д. т. н., проф.; Б. Г. Ібрагімов, д. т. н., проф.; Г. А. Саттарова

## ДОСЛІДЖЕННЯ І ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДУКТИВНОСТІ ЛАНКИ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

*Досліджено продуктивність ланки мультисервісних мереж телекомунікації, утворених абонентськими і мережевими терміналами з використанням пакетної технології. На основі моделі отримано аналітичні вирази, які дозволяють оцінити характеристики продуктивності ланки мультисервісних мереж зв'язку і показників гарантованої якості обслуговування неоднорідного трафіку. Проаналізовано характеристики ефективності термінальних засобів забезпечення якості сервісу передачі голосового трафіку.*

**Ключові слова:** продуктивність мережі, ланка мультисервісної мережі, абонентський і мережевий термінал, середня затримка передачі, неоднорідний трафік, середня ймовірність втрати пакетів.

### Вступ

Бурхливий розвиток телекомунікаційних систем та зростаюча потреба операторів зв'язку в підвищенні продуктивності систем обробки інформації на базі сучасних інформаційних технологій вимагає створення розподілених інфраструктур мультисервісних мереж зв'язку з підвищеною ефективністю, що передбачають передачу мережових додатків.

Продуктивність ланки мультисервісних мереж телекомунікації істотно залежить від своєчасної доставки та надійності передачі неоднорідного трафіку з використанням багатофункціональних абонентських і мережових терміналів (БАіМТ) для оперативного управління і контролю телекомунікаційних процесів – передачі, обробки та прийому службового трафіку при виконанні процедури встановлення з'єднань користувачів на вторинних мережах зв'язку. Для вирішення таких завдань велика увага приділяється створенню мультисервісних мереж телекомунікації з підвищеною продуктивністю для управління передачею мережовим додатком.

У системі зв'язку мережеві додатки мультисервісних мереж телекомунікації можна поділити на три основні групи [1]: передача даних, пакетна телефонія та потокове відео – так звані послуги Triple Play – «потрійна гра».

Проведений аналіз показує [2, 3], що трафік комунікаційних додатків, який відносяться до першої групи, не чутливий до затримки, але втрата пакетів може призвести до втрати інформації в цілому або до значного збільшення завантаження каналу за рахунок повторної передачі. Трафік комунікаційних додатків другої і третьої груп вимагає доставку в реальному масштабі часу, тобто з мінімальною затримкою і джиттером.

У [3, 4] досліджено характеристики продуктивності термінального обладнання ланки мультисервісних мереж передачі неоднорідного трафіку та визначено їх деякі показники, такі як: пропускна здатність і ймовірно-часові характеристики системи. Однак, аналіз цих робіт показав, що оцінка продуктивності термінального обладнання мультисервісних мереж зв'язку із заданим показником QoS (Quality of Service) викликає багато проблем при передачі потоків пакетів за єдиними каналами зв'язку та інтеграції різних видів обслуговування неоднорідного трафіку (мови, даних, факсів, Internet, відео та ін ).

У цій роботі розглядаються питання дослідження методів оцінки характеристики ланки мультисервісних мереж телекомунікації з використанням пакетної технології та аналізується продуктивність термінальних засобів забезпечення якості сервісу QoS передачі голосового трафіку, що є найбільш актуальним.

### Загальна постановка задачі

Аналіз розвитку сучасних телекомунікаційних мереж показує, що в цей час відбувається поступове перетворення телефонних мереж загального користування в мультисервісні мережі, які будують на основі мереж зв'язку наступного покоління (NGN – Next Generation Network) з використанням комутації пакетів.

Однією з найбільших технічних проблем при передачі мультимедійних додатків по пакетних мережах є забезпечення якості обслуговування при обробці даних. Саме погана пристосованість мереж з комутацією пакетів до передачі трафіку реального часу, як зазначається в багатьох джерелах, стримує повсюдний розвиток мультисервісних мереж [3, 5].

Враховуючи важливість побудови термінального обладнання мультисервісних мереж зв'язку на базі NGN, слід звернути особливу увагу на показники продуктивності цієї системи. Така система надає користувачам можливість мультисервісного обслуговування, тобто можливість передавати, приймати і обробляти різну за видом і обсягом інформацію в пакетному вигляді. При цьому виникає важливе завдання – розробка методів розрахунку показників продуктивності термінального обладнання мультисервісних мереж зв'язку, яка залежить як від алгоритму роботи абонентського і мережевого терміналу, так і від продуктивності окремих ланок телекомунікаційних мереж, що базуються на сучасних технологіях АТМ (Asynchronous Transfer Mode) і IP-телефонії (Internet Protocol).

З урахуванням вищевикладеного, математичне формулювання завдання продуктивності ланки мультисервісних мереж зв'язку на основі сучасних інформаційних технологій може бути представлено наступною цільовою функцією:

$$E_{np} = \sup_i [E_{i,np}], \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

при наступних обмеженнях:

$$T_{i,cp.z} \leq T_{i,cp.z,\text{дон.}}, C_{i,a} \leq C_{i,a,\text{дон.}}, P_{i,n} \leq P_{i,n,\text{дон.}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де  $C_{i,a}$  – вартість апаратних і програмних засобів термінального обладнання мультисервісних мереж зв'язку при передачі  $i$ -го потоку пакетів;  $P_{i,n}$  – середня ймовірність втрати пакетів при передачі  $i$ -го трафіку;  $T_{i,cp.z}$  – середній час затримки при передачі  $i$ -го потоку пакетів.

Вирази (1) і (2) визначають математичне формулювання задачі для оцінки характеристик ефективності термінального обладнання телекомунікаційних мереж при обслуговуванні неоднорідного трафіку, і її можна назвати цільовою ефективністю системи.

Відомо [3, 6], що однією з ключових проблем у розвитку телекомунікації є забезпечення якості обслуговування неоднорідного трафіку термінального обладнання мультисервісної мережі зв'язку. Для гарантованого QoS неоднорідного трафіку мультисервісних мереж зв'язку необхідно забезпечити певні показники: середню затримку при передачі потоку пакетів, ємність буферних накопичувачів вхідного порту, пропускну здатність, ймовірність втрат при передачі потоків пакетів та ін. Причому кожен трафік, що обслуговується (мова, дані, відео), пред'являє певні вимоги до показників продуктивності.

Для алгоритму розрахунку показників продуктивності термінального обладнання мультисервісних мереж зв'язку необхідно розробити схему функціонування моделі ланки, яка найбільш точно буде враховувати телекомунікаційні процеси управління передачею потоків пакетів, що протікають у розглянутій мережі при наданні послуг.

#### Математичний опис моделі ланки мультисервісних мереж зв'язку

Для вирішення поставленого завдання, що характеризує якісні показники каналів системи передачі, необхідно розробити модель ланки мережі, яка створює основу запропонованого алгоритму розрахунку продуктивності термінального обладнання мультисервісних мереж

зв'язку.

Алгоритм функціонування ланки мережі полягає в пересиланні первинної інформації від джерела навантаження до одержувача при наявності віртуального каналу зв'язку.

Управління передачею трафіку починається з вхідного порту в мережі і закінчується інтегральним мультиплексором (ІМ) та граничним маршрутизатором (ГМ) на виході з мережі зв'язку [4]. ІМ терміналу та ГМ у каналах систем передачі можуть виділяти і обробляти в першу чергу чутливі до затримок пакети мови і відео з використанням протоколу MPLS (Multiprotocol Label Switching).

З алгоритму роботи слідує, що ланкою мережі є багатолінійна система масового обслуговування (СМО), у якій під дією випадкового середовища з плином часу у випадкові моменти одночасно змінюються параметри  $\lambda$ ,  $\mu$ , і  $N_m$ . Припустимо, що кількість можливих режимів функціонування системи, які відрізняються значеннями цих параметрів, скінченне і дорівнює  $l$ , а тривалість  $i$ -го режиму розподілена по показовому закону з параметром  $b_i$  ( $b_i = \mu_i^{-1}$ ;  $i = \overline{1, n}$ ).

Крім того, досліджувані ланки мережі є СМО типу  $M/M/1/N_6$  із втратами з інтенсивністю  $\lambda_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , вхідних трафіків, в яких доступно  $N_{i,m}$  терміналів [6].

У  $i$ -му режимі на вхід СМО надходить найпростіший потік трафіку з параметром  $\lambda_i$ , а тривалості обслуговування заявок є незалежними випадковими величинами, розподіленими по показовому закону з параметром  $\mu_i$ . Число абонентських і мережевих терміналів, задіяних в  $i$ -му режимі, позначимо через  $N_{i,m}$ .

Тоді функціонування ланки мережі описується класичним одномірним Марківським процесом, що є процесом розмноження і загибелі (Birth-Death Processes, BDP). Особливостям розглянутої системи відповідають такі коефіцієнти:

- коефіцієнт процесу розмноження визначається наступним чином [3, 6]:

$$\lambda_i = 0, \text{ якщо } i \geq N_m \text{ та } i < N_m \text{ при } \lambda_i = \lambda \quad (3)$$

- коефіцієнт процесу загибелі:

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

де  $\mu_i$  – тривалість обслуговування  $i$ -го трафіку.

За рекомендаціями форумів ATM і ETSI [2] на мережевому рівні аналіз процесів передачі потоку різнотипних пакетів трафіку дозволяє обчислювати необхідні характеристики якості функціонування абонентських і мережевих терміналів мультисервісної мережі зв'язку наступного покоління для забезпечення гарантованого QoS. До цих показників відносяться: максимальне значення пікової пропускної здатності, ємність БН вхідного порту, середній час затримки передачі, коефіцієнт ефективного використання мережевих комутаторів.

На основі (1) і системно-технічного аналізу схеми функціонування моделі ланки мультисервісної мережі зв'язку створено ефективний алгоритм розрахунку, який враховує об'єднання процесів різного обслуговування і мультиплексування потоків пакетів неоднорідного трафіку [3, 6], що дозволяє оцінити характеристики каналів систем передачі.

#### Оцінка характеристики продуктивності ланки систем передачі неоднорідного трафіка

Для оцінки показників продуктивності систем передачі неоднорідного трафіку на основі запропонованої моделі ланки мережі необхідно звернути особливу увагу на необхідну швидкість передачі ланок  $V_{i,mr}$ ,  $i = \overline{1, n}$  при заданій швидкості надходження вхідного потоку  $\lambda_i$ , завантаженні системи  $\rho_i < 1$ ,  $i = \overline{1, n}$  і кількості абонентських та мережевих терміналів  $N_{i,m}$ ,  $i = \overline{1, n}$  і  $N_{i,t} = \sum_j m_{i,j}$ , де  $m_{i,j}$  – кількість абонентських і мережевих терміналів у ланках

мережі, трафік яких проходить через ці термінали.

Одним із важливих показників продуктивності ланки мережі для маршрутизації потоків різнотипних пакетів трафіку є максимальне значення пікової пропускної спроможності (Peak-rate throughput), що характеризує максимальне число пакетів, яке ланка може передавати в одиницю часу, і визначається наступним виразом:

$$C_{i.m.n.} (\lambda_i \leq \lambda_{i.don.}) = \sum_j C_{i,j}, i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

де  $C_{i,j}$  – пропускна здатність, що забезпечується для абонентських і мережевих терміналів  $j$  та, враховуючи ефективні алгоритми стиснення даних, визначається наступним чином:

$$C_{i,j}(\lambda_i, b) = K_{i.cж} \cdot \frac{P_i}{b} \cdot m_{i,j}, i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

де  $K_{i.cж}$  – коефіцієнт стиснення трафіку  $i$ -го потоку пакетів на основі диференціальних алгоритмів і алгоритмів інтерполяції мовних і відеосигналів.

У ланці мультисервісної мережі одним із ключових показників QoS трафіка є середня ймовірність втрат пакетів для трафіку реального часу і потокового трафіку. З алгоритму роботи ланки мереж зв'язку випливає, що величина середньої ймовірності втрат пакетів залежить від кількості  $N_{i.m}$  блочно-модульних систем абонентських і мережевих терміналів, коефіцієнта варіації (відповідно, розподілів вхідного потоку і часу обслуговування трафіку) і ємності буферного накопичувача (БН) ланки мережі при виконанні стратегії «End to end».

Середня ймовірність втрати пакетів у наскрізному з'єднанні при реалізації стратегії «End to end» для мовного трафіку можуть бути визначені як

$$P_{i.cn.} (p_i < p_{i.don.}) = 1 - (1 - P_{i.nc.}) \cdot (1 - P_{i.ter.}), i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

де  $P_{i.nc.}$  – імовірності втрати мережі при передачі  $i$ -го мовного потоку пакетів;  $P_{i.ter.}$  – імовірності втрати на багатофункціональному абонентському і мережевому терміналі через перевищення допустимої затримки при передачі  $i$ -го мовного потоку пакетів.

На основі дослідження [6] визначено, що причиною появи  $P_{i.ter.}$  є перш за все джиттер затримки, і в цьому випадку перевищення допустимого значення затримки в ланці мультисервісної мережі в цілому для мовного трафіку виявиться критичним  $T_{i.cp.z} \leq T_{i.cp.z.don}$  з урахуванням рекомендацій ІТУ-Т, G.114.

У ланці мультисервісної мережі навантаження є різнорідним з різними вимогами до QoS трафіка. Для забезпечення гарантованої якості обслуговування потоків мовних пакетів і відеотрафіку, створюваних додатками реального часу, необхідно створити умови, щоб затримка при передачі будь-якого трафіку була обмежена з припустимою величиною  $T_{i.cp.z.don.}$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Враховуючи алгоритми роботи досліджуваної схеми передачі неоднорідного трафіку [6] і особливості моделі ланки мережі при передачі  $i$ -го потоку пакетів трафіку від джерела навантаження до одержувача, мінімальне значення середнього часу затримки визначається виразом:

$$T_{cp.z} = \sum_{j=1}^{k-1} T_{j.ter} + T_{j.kc} + \frac{L_{j.n}}{C_j}, \quad (8)$$

де  $T_{j.ter}$  – середня затримка в черзі на виході з  $j$ -го абонентського і мережевого терміналу;  $T_{j.kc}$  – середня затримка в каналі зв'язку  $j$ -им і  $(j+1)$ -им термінальним пристроєм;  $L_{j.n}$  – середня довжина пакета, що передається, призначеного для  $j$  вузлів зв'язку.

Вираз (8) визначає, з чого складається середній час затримки при проходженні потоків пакетів по каналах передачі, і характеризує повну затримку при передачі трафіку мультисервісною мережею.

Різнорідність трафіку в сучасних мультисервісних мережах телекомунікації на базі АТМ, Наукові праці ВНТУ, 2011, № 2

IP-телефонії та NGN технологій зумовлює необхідність диференційованого підходу до забезпечення різних додатків мережевими ресурсами.

Для підтримки якості обслуговування в мережах зв'язку, що відповідають рекомендації ІТУ-Т E.800, Y.1540 і G.1000, необхідною умовою є наявність ресурсів в мережі. У мультисервісних мережах телекомунікації, утворених абонентськими і мережевими терміналами з використанням пакетної технології, резерв ресурсу ланки мережі визначається наступним чином:

$$R_{res}(\rho_i \leq \rho_{i.don}) = 1 - \sum_{i=1}^n \eta_i, 1 \leq i \leq n, \quad (9)$$

де  $\eta_i$  – коефіцієнт ефективного використання термінальних і мережових ресурсів, необхідний для обслуговування при передачі  $i$ -го потоку пакетів;

Вираз (9) характеризує резервування ресурсів системи, що базується на протоколі RSVP (Resource Reservation Protocol) і дозволяє точніше визначити резерв ресурсу ланки мультисервісних мереж зв'язку.

Для задоволення певних служб, визначуваний резерв ресурсів термінального обладнання на всіх ланках мультисервісних мереж дозволяє скласти плановану маршрутизацію трафіку відповідно до рекомендації ІТУ-Т E.800, що забезпечують вибір шляху (QoS-routing), який задовольняє вимоги до якості обслуговування для конкретного потоку пакетів неоднорідного трафіку.

### Висновки

На основі системно-технічного аналізу створено модель, що описує алгоритми функціонування термінального обладнання ланки мультисервісної мережі. Результати дослідження показали, що запропонована модель ланки мережі є основою для аналізу ефективності термінального обладнання ланки мережі і дозволяє оцінити основні показники продуктивності мультисервісних мереж телекомунікації.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанов С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей / С. Н. Степанов. – Москва.: Эко-Трендз, 2010. – 256 с.
2. Дансмор Б. Справочник по телекоммуникационным технологиям / Б. Дансмор, Т. Скандьер. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2004. – 640 с.
3. Мамедов Г. А. Про один підхід оцінки пропускної здатності ланки мультисервісних мереж зв'язку / Г. А. Мамедов, Б. Г. Ібрагімов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. Міжнародний науково-технічний журнал. – 2009. – № 1 (17). – С. 225 – 228.
4. Жерновий Ю. В. Математические модели, вычислительные методы системы массового обслуживания М/М/n/r, функционирующей в синхронной случайной среде / Ю. В. Жерновий // Информационные процессы, Том 9. – № 4. – 2009. – С. 352 – 363.
5. Ібрагімов Б. Г. Метод расчета временных характеристик систем управления передачей неречевых сообщений / Б. Г. Ібрагімов // Приборы и системы. – Управление, контроль, диагностика. – № 4. – 2006. – С. 32 – 35.
6. Ibrahimov B. G. Research and estimation characteristics of terminal equipment a part of multiservice communication networks / B. G. Ibrahimov // Automatic Control and Computer Sciences. – 2010. – Vol. – 48. – No. 6. – P. 54 – 59.

**Мамедов Гавар Амір огли** – ректор Азербайджанського технічного університету, д. т. н., професор, завідувач кафедри «Автоматика та управління».

**Ібрагімов Байрам Ганімаат огли** – д. т. н., професор кафедри «Багатоканальні телекомунікаційні системи», тел: 994 12 4 324 878, Email: i.bayram@mail.ru

**Саттарова Гюнеш Аріф кизи** – аспірант кафедри «Автоматика та управління». Азербайджанський технічний університет.