

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ САМОПОДІБНОСТІ ТРАФІКУ

© Лаврів О.А., Бешлей М.І., Гнатчук М.М., Поліщук А.В., 2012

Проаналізовано технологію забезпечення гарантованої якості обслуговування мультимедійного трафіку. Розроблено методіку пріоритизації мультимедійного трафіку. Розроблено імітаційну статистичну модель системи пріоритетного обслуговування мультисервісного трафіку з класифікатором послуг. Проведено дослідження параметрів мультисервісної телекомунікаційної мережі на основі запропонованої імітаційної моделі.

Ключові слова: якість обслуговування, мультисервісний трафік, код диференційованої послуги, буфер.

Analytical review of service quality ensurance technologies for multimedia traffic have been performed. The method of multimedia traffic prioritization has been designed. The simulation statistical model of the priority service system with the service classifier has been created .The parameters of multiservice telecommunication network have been analized on the basis of the simulation model.

Key words: QoS, multiservice traffic, Differentiated Services Code Point, buffer.

Вступ. Ефективність інформаційних систем істотно залежить від якості управління їхніми ресурсами. Основною метою управління мережевими ресурсами є забезпечення заданих показників якості обслуговування (Quality of service, QoS) користувачам, які видають службі заявку на послуги необхідної їм якості, а служба виконує цю заявку або повідомляє про неможливість її реалізації. Підтримка якості обслуговування в сучасних, передовсім мультисервісних ТКС, є досить трудомістким завданням і вимагає узгодженого розв'язання цілого комплексу задач управління мережевими ресурсами. Для одночасного забезпечення різних вимог QoS у систему зв'язку потрібно впроваджувати системи керування трафіком, які, своєю чергою, повинні враховувати особливості різних класів трафіку і забезпечувати ефективний перерозподіл ресурсів мережі. Розподіл ресурсів вузлів комутації забезпечується за допомогою різних алгоритмів буферизації пам'яті та призначення пріоритетів для організації черг пакетів та порядку їх обробки.

Сьогодні відомо декілька рекомендацій щодо визначення відносного пріоритету класів трафіку, запропонованих окремими виробниками телекомунікаційного обладнання [1]. Проте ці рішення різняться і не дають змоги вирішити суперечності у різних вимогах до QoS класів трафіку. Це найчастіше пов'язано з місцевими підходами до проблеми визначення значень відносного пріоритету класів трафіку, які базуються на якійсь одній чи кількох критеріальних характеристиках, не враховуючи всіх особливостей кожного окремого класу трафіку. Також встановлено, що існує і до кінця не вирішена проблема оптимального вибору ресурсів мережі для гарантування замовленої абонентом якості надання послуг.

У статті вирішуються завдання розрахунку параметрів системи обслуговування мультисервісного трафіку для дотримання QoS, а також створення комплексної формалізованої методики визначення відносного пріоритету класів трафіку мультисервісних мереж, яка б враховувала не тільки особливості забезпечення різних показників QoS для різнорідних класів трафіку, але і політику оператора з розподілу пріоритетів відповідно до замовленої абонентом якості надання послуг.

У роботі [2] проаналізовано проблему забезпечення якості обслуговування в мережах з комутацією пакетів і показано основні механізми QoS при передаванні мультимедійного трафіку мережі. Розрізняють три основних рівні обслуговування мережевого навантаження (рис. 1).

Методи забезпечення гарантованої якості обслуговування під час передавання мультимедійного трафіку мережі. Питання управління та забезпечення необхідного рівня якості обслуговування абонентів мультисервісних телекомунікаційних мереж дотепер залишається відкритим і потребує подальшого дослідження. Це питання широко досліджують вчені й фахівці України і Росії. Зокрема, надання абоненту послуг із заявленими параметрами якості та побудову моделей забезпечення гнучкого управління мережею розглядали В. Вишневський, М.С. Соловйов, А.Г. Ложковський.

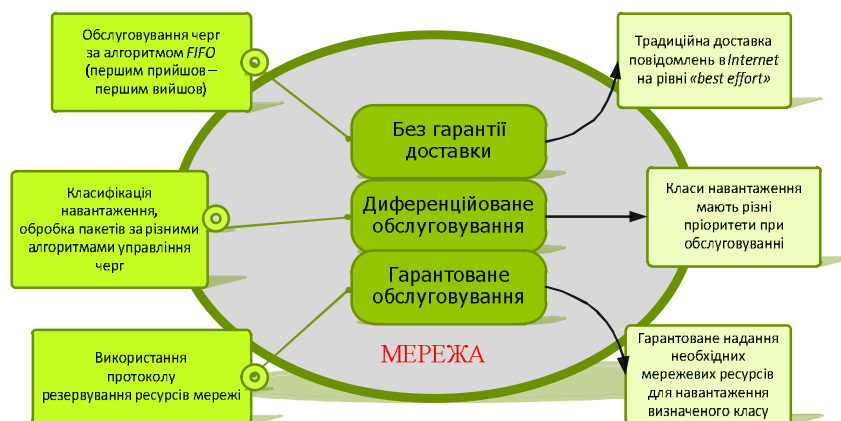


Рис. 1. Основні рівні обслуговування

Технологію з диференціацією сервісів можуть використовувати постачальники мережевих послуг для надання своїм клієнтам широкого діапазону різноманітних пропозицій залежно від вимог до якості обслуговування.

Розроблення методики пріоритезації послуг для різних класів користувачів. З метою забезпечення необхідного рівня якості обслуговування абонентів мультисервісних телекомунікаційних мереж запропоновано методику, яка базується на формалізованому критерії визначення відносного пріоритету класів трафіку і враховує вимоги QoS [3], ймовірність використання послуг та відносний коефіцієнт значущості параметра відносно інших. Для цього виділено сім основних послуг, які надає мультисервісна мережа (*голос, IPTV, відеоконференції, інтерактивні дані, медіа-за-запитом, інтернет-дані, трафік сигналізації*).

Оскільки кожен користувач використовує різні послуги в різному обсязі, то для ширшого охоплення спектра привабливості певних сервісів для абонента вводимо такий параметр, як ймовірність використання певної послуги. Відносно цього параметра розділимо користувачів на три такі групи:

- “домашні користувачі” (Д);
- “офісні користувачі” (О);
- “центри обробки даних” (Ц).

Відносний пріоритет для кожної категорії послуг пропонується розраховувати за формулою (1):

$$P_{vpr_i} = \frac{(p_i \cdot Bp_i \cdot Pp + t_i \cdot Bt_i \cdot Pt + j_i \cdot Bj_i \cdot Pj + c_i \cdot Bc_i \cdot Pc) P_{викор_i}}{\sum_i (p_i \cdot Bp_i \cdot Pp + t_i \cdot Bt_i \cdot Pt + j_i \cdot Bj_i \cdot Pj + c_i \cdot Bc_i \cdot Pc) P_{викор_i}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{викор}}$ – імовірність використання послуги; V_p, V_t, V_j та V_c – коефіцієнти значущості послуг; P_p, P_t, P_j, P_c – відносні коефіцієнти значущості параметрів; j, t, c, p – відносно узагальнювальні коефіцієнти послуг.

Коефіцієнти V_p, V_t, V_j та V_c набувають значення від 1 до 3. Відповідно вище значення означає більшу значущість певного параметра якості обслуговування для певної категорії сервісу.

Таблиця 1

Вхідні дані та результати методики пріоритезації

Параметри Послуги	Втрати пакетів, P, %	Затримка T, мс	Джитер J, мс	Пропускна здатність C, кбіт/с	Ймовірність використання послуг $P_{\text{викор}}$			Відносний пріоритет P_{vpr}			Абсл. пріор.		
					Д	О	Ц	Д	О	Ц	Д	О	Ц
Голосові дані	0.1	150	10	64	0.25	0.15	0.02	0.297	0.195	0.036	2	2	4
Відео-конференція	0.8	100	20	2048	0.1	0.12	0.01	0.103	0.135	0.015	3	3	5
IPTV	1.5	1000	50	4096	0.04	0.03	0.05	0.012	0.008	0.002	4	7	7
Інтернет-дані	0.1	1000	1000	2048	0.08	0.01	0.3	0.008	0.016	0.043	5	4	2
Інтерактивні дані	0.1	400	500	256	0.02	0.08	0.15	0.004	0.012	0.041	7	5	3
Медіа-за-запитом	0.05	500	30	10240	0.01	0.02	0.005	0.007	0.01	0.005	6	6	6
Сигналізація	0.01	100	1000	64	0.5	0.5	0.5	0.57	0.624	0.858	1	1	1

Відповідно до методики пакети маркуються кодовою комбінацією, отриманою у результаті попереднього розрахунку значень критерію для кожного з класів трафіку (табл. 1). Для цього на початковому етапі функціонування системи визначають вхідні дані, які формуються на основі як вимог QoS, так і політики оператора. Наступним кроком, після отримання значень пріоритетів для кожного класу трафіку, є присвоєння кожному із класів своєї кодової комбінації, яка відповідає значенню критерію саме для цього класу трафіку. Після цього отримані комбінації фіксуються у відповідних полях мережевих протоколів.

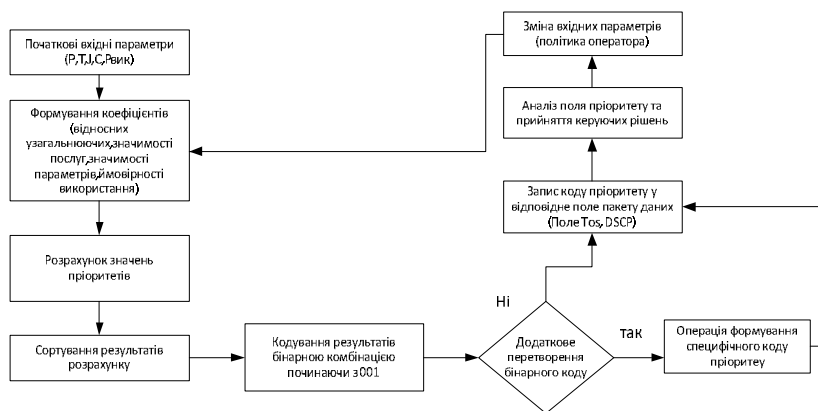


Рис. 2. Алгоритм методики пріоритезації трафіку в мультисервісних телекомунікаційних мережах

DS5	DS4	DS3	DS2	DS1	DS0	-	-
1	0	1	0	0	0	-	-
Пріоритет			Додаткові біти			Невизначені	

Рис .3. Формат поля DSCP

Методику можна використати для розмежування черговості обробки класів трафіку мультисервісних мереж з використанням різних мережевих протоколів, які пристосовані для вказівки рівня пріоритету в заголовках пакетів. Процес визначення пріоритету можна автоматизувати за допомогою створення програмного продукту, який би виконував розрахунок значення відносного пріоритету після визначення нових значень вхідних змінних.

Алгоритм методики пріоритезації мультисервісного трафіку наведено на рис. 2. Крім того, на DSCP основана технологія покрової поведінки PHB (Per Hop Behaviour). Згідно з цією політикою визначаються коди DSCP всередині класів, що істотно розширює можливості з керування ресурсами мережі та забезпечення необхідного рівня QoS [1].

Для адаптації методики до використання з полем DSCP потрібно додатково ввести в алгоритм операнди, які додаватимуть в кодову комбінацію, що визначає пріоритет класу трафіку, комбінацію з трьох бітів, щоб перетворити отримані результати у формат поля DSCP. Ці біти можуть бути сформовані з урахуванням PHB, введенням у методику відповідних операндів, або ж взяті такими, що дорівнюють 0, для отримання шестибітної комбінації селектора класів (рис. 3).

Моделювання та прогнозування розміру буфера системи пріоритетного обслуговування мультисервісного трафіку. Для генерації трафіку, характерного для мультисервісних мереж, пропонується використати метод імітаційного статистичного моделювання. На вхід маршрутизатора надходить агрегований потік пакетів з середньою інтенсивністю (λ). Головним за ступенем впливу на виникнення черг чинником є коефіцієнт використання пристрою – відношення середньої інтенсивності вхідного трафіку пристрою λ до середньої інтенсивності передавання пакетів на вихідний інтерфейс μ . Відповідно пакети, що надходять з інтенсивністю $\lambda 1$ і ($\lambda 1 > \mu$), записуються у буфер, але перед тим, як потрапити у буфер, вони потрапляють у класифікатор, який працює на основі аналізу IP заголовка і залежно від вмісту DSCP поля зчитує DSCP код, який вказує відповідний пріоритет пакета на основі попереднього розрахунку значень критерію для кожного з класів трафіку різної групи користувачів. Після чого класифікатор спрямовує їх у виділені буфери фіксованої різної довжини, у такому разі маршрутизатор міститиме 7 черг для кожної послуги окремо, що забезпечує високу якість обслуговування пріоритетних послуг. Модель системи пріоритетного обслуговування мультисервісного трафіку показано на рис. 4.

Тривалість пакетів визначалася з рекомендованих їх розмірів (від 64 до 1500 байтів). Трафік голосу, сигналізації, інтерактивні дані передаються переважно малими розмірами пакетів, а такі послуги, як IPTV, відео-за-запитом, інтернет-дані, відеоконференція, – великими розмірами пакетів. В роботі пропонується передавати пакети з такими розмірами, частота появи яких описується випадковим чином, розподіленими за рівномірним законом з урахуванням параметра ймовірності використання послуг $P_{\text{викор}}$ із одночасним присвоєнням DSCP коду:

- Трафік сигналізації – 64 до 99 (байт).
- Голос – 100 до 299 (байт).
- Інтерактивні дані – 300 до 599 (байт).
- Відеоконференція – 600 до 799 (байт).
- IPTV – 800 до 1500 (байт).
- Інтернет-дані – 800 до 1500 (байт).
- Відео- за-запитом – 800 до 1500 (байт).

Інтервали між пакетами згенеровано випадковим чином, вони відповідають броунівському руху з параметром Херста $H=0,7$. Управління модельним часом відбувається з використанням методу постійного кроку, з періодом – 1 мс. Пропускна здатність каналу, визначена як сума всіх

пропускних здатностей, необхідних для кожної з послуг, становить 20 Мбіт/с. Кількість пакетів, що задіяні в процесі моделювання, прийнято 40 000. За 1 мс встигає згенеруватись певна кількість пакетів. За кожний такий період визначається інтенсивність надходження пакетів $\lambda = K_{\text{пак}}/1 \cdot 10^{-3}$. Як результат, отримуємо випадковий процес інтенсивності надходження пакетів у часі. На рис. 5 подано алгоритм статистичного прогнозування розміру буфера та роботи класифікатора. За один крок моделювання в буфер надходить K пакетів. Інтенсивність обслуговування μ цих пакетів встановлено не меншою, ніж середня інтенсивність надходження пакетів за спостережуваний період часу. Тривалість періоду спостереження встановлюють на основі визначення коефіцієнтів варіації та застосування методу автозупинки.

Коефіцієнт варіації 1-го порядку визначається як відношення середнього квадратичного відхилення інтенсивності надходження пакетів $S[\lambda]$ до математичного очікування цієї самої величини $M[\lambda]$:

$$K_v^I = \frac{S[\lambda]}{M[\lambda]}. \quad (2)$$

У роботі запропоновано використовувати коефіцієнт варіації 2-го порядку, який характеризує осциляцію залежності коефіцієнта варіації першого порядку від тривалості моделювання. Цей коефіцієнт характеризує точність статистичного моделювання і достатність кількості проведених експериментів при досягненні його значення, близького до 1 %.

$$K_v^{II} = \frac{S[K_v^I]}{M[K_v^I]}. \quad (3)$$

Визначають прогнозований розмір буфера за формулою Полачека–Хінчина [4].

$$N = \frac{l}{m} \cdot \frac{\left(\frac{l}{m}\right)^{\frac{H-0,5}{1-H}}}{\left(1 - \frac{l}{m}\right)^{\frac{H}{1-H}}}. \quad (4)$$

Таблиця 2

Результати моделювання мультисервісної мережі

Група користувачів	Середня довжина пакета (L_{cp})	Середня інтенсивність надходження (λ)	Інтенсивність обслуговування (μ)	Кількість пакетів у буфері, (N)	Похибка буфера	Розмір буфера	Параметр Херста (H)	Коефіцієнт використання (ρ)
	байт	пак/с	пак/с	пакети	%	Кбайт	-	-
Група (Д)	332	8314	9000	105	39	34,86	0,62	0,92
	331	8290	10000	27	35,8	8,9	0,66	0,829
	333	8496	11000	6	37,8	2	0,56	0,77
	330	8263	1200	5	36	1,6	0,67	0,67
Група (О)	370	7716	8000	466	36,8	172,5	0,64	0,96
	371	7516	9000	26	36	9,6	0,66	0,83
	369	7484	10000	8	36,8	2,9	0,63	0,74
	373	7257	12000	3	35	1,2	0,63	0,6
Група (Ц)	481	5830	6000	510	39	245	0,63	0,97
	484	6060	7000	25	38	7,3	0,6	0,88
	477	6132	8000	7	40	3,3	0,6	0,76
	483	5962	9000	4	39	1,9	0,64	0,66

Примітка. Жирним виділено результати моделювання, для яких побудовано графіки.

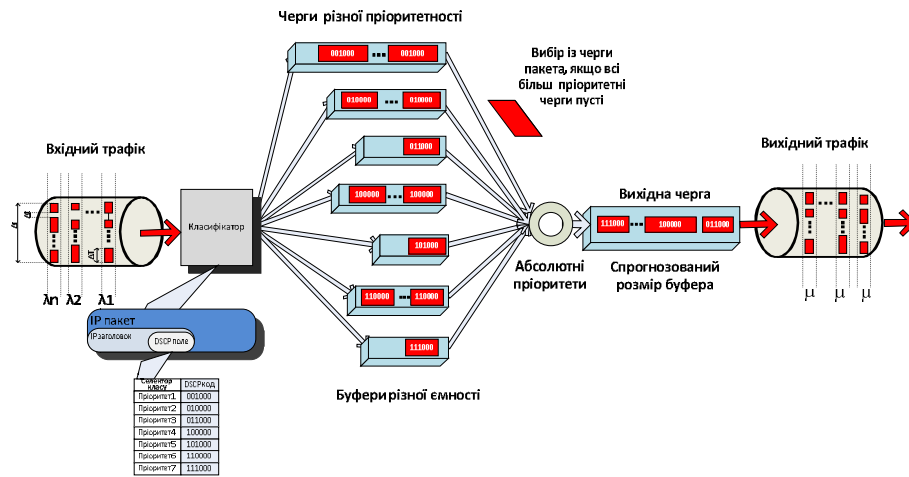


Рис. 4. Модель системи пріоритетного обслуговування мультисервісного трафіку з використанням розробленої методики

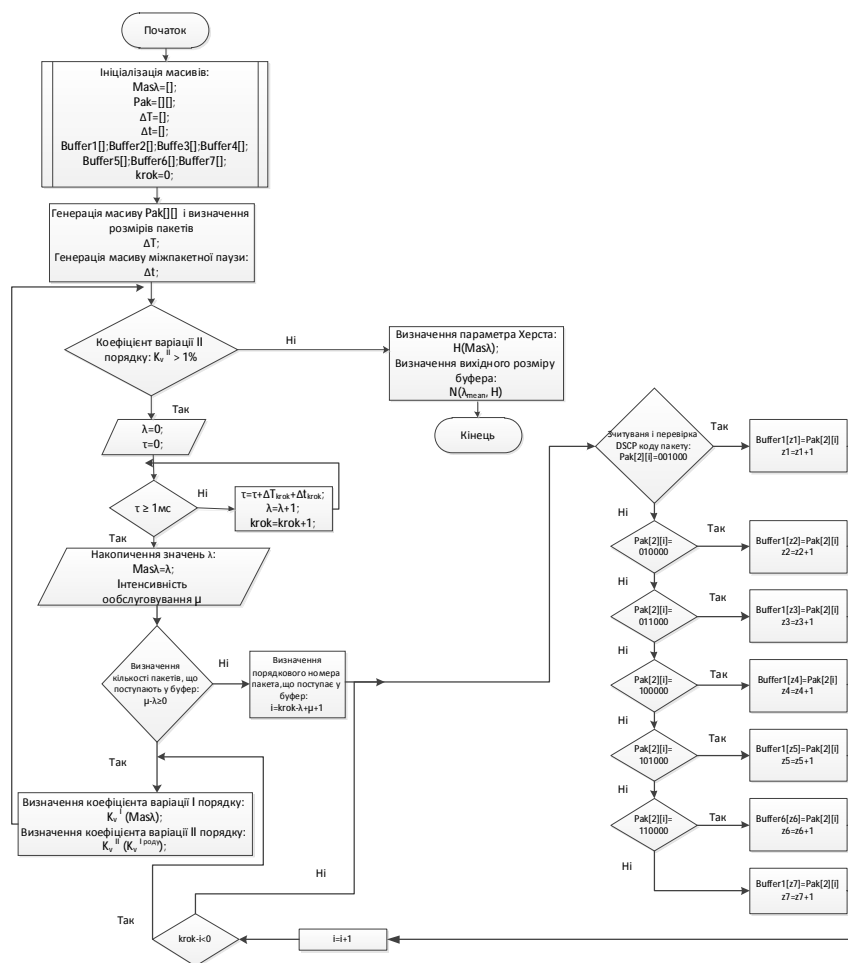


Рис. 5. Алгоритм статистичного прогнозування розміру буфера та роботи класифікатора у маршрутизаторі в разі надходження мультисервісного трафіку

У табл. 2 наведено результати моделювання для трьох груп користувачів за різних коефіцієнтів використання мережі, на рис. 7 показано, як змінюватиметься прогнозований розмір буфера залежно від ρ . Зазначимо, що довжина черги у буфері не обмежується тільки коефіцієнтом використання мережі (залежність, яку показано на рис. 7, отримано з результатів моделювання), а також вагомий вплив на неї здійснює параметр Херста. Як бачимо, зі збільшенням коефіцієнта використання та параметра Херста збільшується стрімкість зростання довжини черги в буфері.

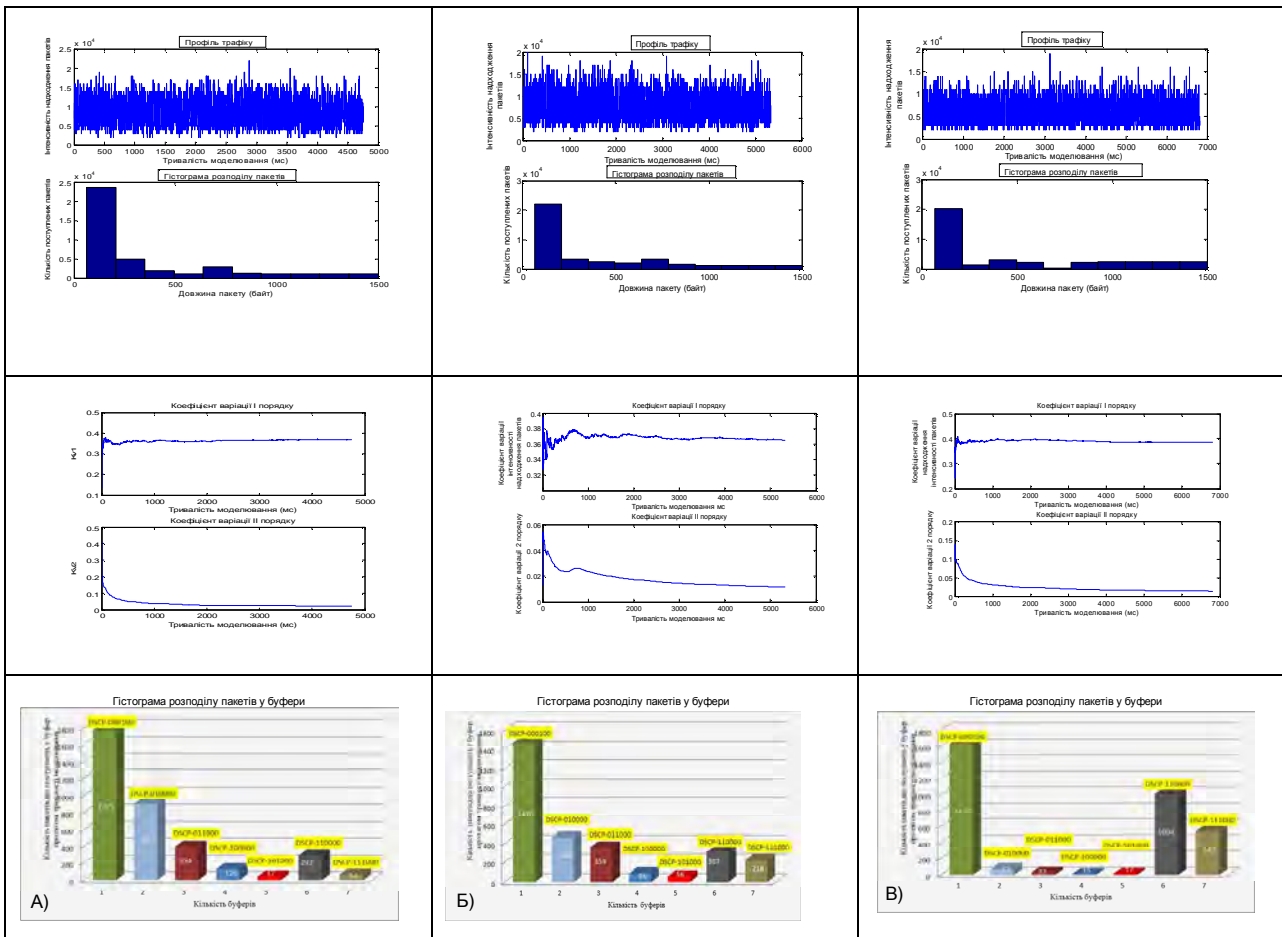


Рис. 6. Група домашніх користувачів (А) – профіль трафіку, гістограма розподілу пакетів, коефіцієнт варіації 1-го порядку, коефіцієнт варіації 2-го порядку, гістограма розподілу пакетів у буфері і відповідно для групи офісних користувачів (Б) та центр обробки даних (В)

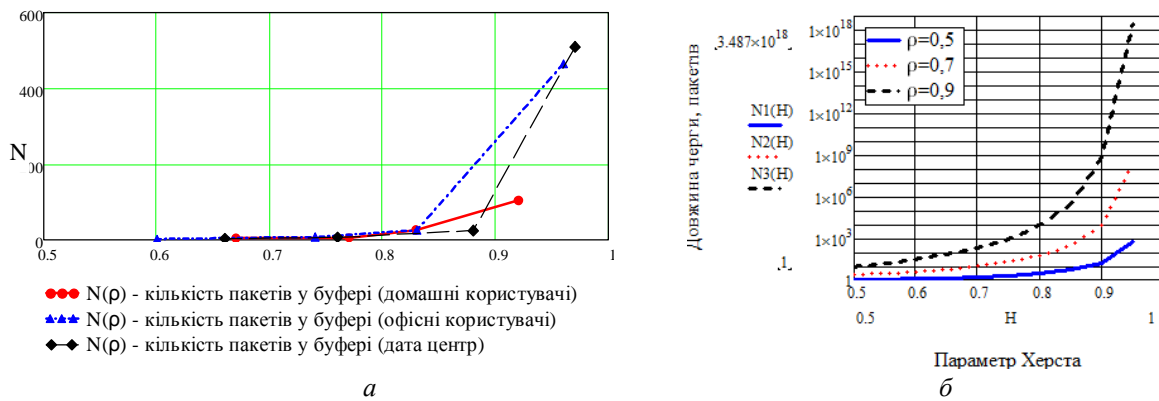


Рис. 7. Залежність розміру буфера N від коефіцієнта використання мережі ρ (а), залежність довжини черги від параметра Херста за різних коефіцієнтів використання мережі (б)

У табл. 3 наведено розрахунок часів затримок пакетів у вузлі та кількість вузлів у мережі, яка забезпечує QoS для трьох груп користувачів (рис. 8) згідно з (5) та (6).

$$T_{3,6} = \frac{N \times L_{сер}}{C}, \quad (5)$$

де N – кількість пакетів у буфері; C – пропускна здатність каналу; $L_{сер}$ – середнє значення довжини пакета.

$$K_{\text{вузлів}} = \frac{T_{\text{мін}}}{T_{\text{з.в}}}, \quad (6)$$

де $T_{\text{мін}}$ – допустимий час затримки трафіку реального часу; $T_{\text{з.в.}}$ – час затримки пакетів у вузлі.

Відповідно до рекомендацій ІТУ-Т мінімальний час затримки пакетів для якісного надання мультисервісних послуг буде тотожним з допустимим часом затримки трафіку реального часу, а саме $T_{\text{мін}} = 100$ мс. На основі цього загальний час затримки при буферизації пакетів мережевими пристроями не повинен перевищувати допустимого часу затримки трафіку реального часу.

Таблиця 3

Розрахунок часу затримки пакетів у вузлі для трьох груп користувачів

Групи \ Параметри	$L_{\text{сер}}$, біт	N, Пакетів (у буфері)	C, Мбіт/с	$T_{\text{з.в.}}$, мс	$T_{\text{мін.}}$, мс	$K_{\text{вузл.}}$, шт.
Домашні користувачі	332*8	105	20	13.9	100	7
Офісні користувачі	371*8	26	20	3.85	100	33
Центр обробки даних	482*8	25	20	4.82	100	20

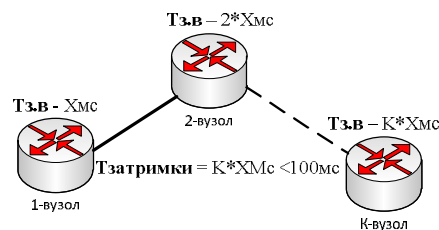


Рис. 8. Оптимальна кількість вузлів у мережі, яка забезпечує QoS

Висновки. Проаналізовано основні параметри, що характеризують QoS в IP-мережах, які є базовими при наданні послуг абонентів в мультисервісній мережі. Розроблено методику пріоритизації послуг мультисервісного трафіку. Відповідно запропоновано та подано алгоритм пріоритизації трафіку в мультисервісних телекомунікаційних мережах. Оцінка можливої довжини черг в мережних пристроях необхідна для вибору параметрів якості обслуговування за відомих характеристик трафіку. Проте поведінка черг є імовірнісним процесом, на який впливає багато чинників, особливо при складних алгоритмах обробки черг, що використовують пріоритети. Тому для визначення розміру буфера запропоновано імітаційну статистичну модель системи пріоритетного обслуговування мультисервісного трафіку з використанням розробленої методики пріоритизації. Досліджено вплив коефіцієнта використання мережі та параметра Херста на кінцевий об'єм пам'яті буфера для трьох груп користувачів. Визначено тривалості затримки пакетів у вузлі та розраховано максимальну кількість вузлів, яку можна встановити для якісного надання мультисервісних послуг. Надалі планується впровадити розроблену методику розрахунку відносного значення пріоритету послуг у мережних пристроях ущільнення трафіку, визначення особливостей реалізації методики в складі систем керування трафіком мереж, побудованих за різними мережевими технологіями.

1. Vegesna S. *IP Quality of Service.* / Srinivas Vegesna. – Cisco Press. – 2001. – 368 с. 2. Захараш О.М., Таран О.О. *Методи забезпечення гарантованої якості обслуговування у відомчих мережах зв'язку для передачі мультимедійного навантаження* // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”. – № 1. – 2009. С. 44–51. 3. *ITU-T Recommendation Y.1540/Y.1541. Network performance objectives for IP-based services.* Geneva: International Telecommunication Union. [Електронний ресурс] – 2006./ - Режим доступу: <http://www.itu.int/rec/dologin~type=items.5> 4. Крылов В.В., Самохвалова С.С. *Теория телетрафика и ее приложения.* – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 288 с.