

УДК 621.394.343; 621.391:519.72

Коршун Н. В. (Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)

## ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ЧЕРГ

**Коршун Н. В. Визначення характеристик телекомунікаційної мережі на основі теорії черг.**

В роботі розглядається підхід теорії черг до розрахунку часових характеристик сучасних телекомунікаційних мереж. Досліджено залежності середньої затримки передачі інформації при різних пріоритетах послуг.

**Ключові слова:** ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ, ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ, НАВАНТАЖЕННЯ, ЧАСОВА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПРІОРИТЕТНІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ

**Коршун Н. В. Определение характеристик телекоммуникационной сети на основе теории очередей.** В работе рассматривается подход теории очередей к расчету временных характеристик современных телекоммуникационных сетей. Исследованы зависимости средней задержки передачи информации при разных приоритетах услуг.

**Ключевые слова:** ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ, КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ, НАГРУЗКА, ВРЕМЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ПРИОРИТЕТНОСТЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ

**Korshun N.V. Determination of parameters of the telecommunication network based on the theory of waiting lines.** Usage of the theory of waiting lines for definition of parameters of modern telecommunication networks is reviewing. Investigation of the average information transmission delay dependences of service priority was made.

**Keywords:** TELECOMMUNICATION, QUALITY OF SERVICE, LOAD INTENSITY, TEMPORAL DESCRIPTION, SERVICE PRIORITY

Зростаюча розповсюдженість послуг на основі технології комутації пакетів та зміни в структурі телекомунікаційних мереж, які вона викликає, актуалізують питання побудови мереж наступного покоління – NGN. NGN – концепція побудови мереж зв'язку з пакетним передаванням інформації, які повинні забезпечувати надання необмеженого набору послуг з гнучкими можливостями по управлінню, персоналізації і створенню нових послуг за рахунок уніфікації мережних рішень. Принцип надання усього розмаїття послуг засобами однієї мережі матиме місце і у мережі майбутнього FN, яка повинна об'єднати в собі існуючі інфокомунікаційні мережі та має бути спроможна надавати повний спектр телекомунікаційних послуг у будь-якому місці та у будь-який час з гарантованою якістю [1].

Серед мережних характеристик, які впливають на якість обслуговування, що оцінюється користувачем, можна назвати наступні: продуктивність мережі; надійність мережі/мережних елементів; затримка; варіація затримки (джиттер); втрати пакетів [2].

Середня затримка доставки пакета визначається як середня арифметична величина затримок пакетів у вибраному наборі переданих та прийнятих пакетів. Значення середньої затримки залежить від трафіку, що передається в мережі, і доступних мережних ресурсів. Зростання навантаження та зменшення кількості доступних ресурсів ведуть до зростання черг в вузлах мережі і, як наслідок, до збільшення середніх затримок доставки пакетів.

Мовна інформація та відеоінформація є прикладами трафіку, чутливого до затримок, тоді як додатки, орієнтовані на передачу даних, в основному є менш чутливими. В додатках реального часу збільшення затримки призводить до погіршення якості. Обмеження, пов'язані з середньою затримкою пакетів, відіграють ключову роль при використанні технології VoIP, відео-конференцій та інших послуг реального часу.

Методологічною основою аналізу затримок є теорія масового обслуговування (теорія черг). Моделі цієї теорії нерідко стають основою для достатньо точних апроксимацій затримки та дозволяють отримати позитивні та якісні результати. Для більшої конкретності вважатимемо, що черга складається з пакетів даних. Пакети надходять випадково із середньою швидкістю  $\lambda$  пакетів за одиницю часу. Вони чекають обслуговування в накопичувачі і обслуговуються відповідно до деякої конкретної дисципліни із середньою швидкістю  $\mu$  пакетів в одиницю часу.

**Системи обслуговування з відносними пріоритетами.** При обслуговуванні користувачів часто виникає необхідність у наданні певним категоріям системи послуг за пріоритетами. Класи пріоритетів вводяться для різних послуг і різних категорій абонентів.

Зазвичай використовуються два типи пріоритетів: відносний і абсолютний [2, 3]. У першому випадку користувачі (пакети або виклики послуг) вищого пріоритету стають попереду користувачів (пакетів) нижчого пріоритету в черзі, але не витісняють їх. У разі абсолютного пріоритету, обслуговування користувачів з нижчим пріоритетом припиняється і продовжується лише після того, коли всі користувачі, заявки на обслуговування від яких надійшли з вищим пріоритетом, будуть обслужені. В даному випадку розглянемо відносні пріоритети.

Нехай в черзі очікують обслуговування  $2r$  класи користувачів. Інтенсивність потоків, що створюються ними –  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r$ , причому кожний з цих потоків – пуассонівський. Середній час обслуговування для  $k$ -того класу,  $k = 1, 2, \dots, r$ , дорівнює  $1 - \mu_k$ .

Будемо вважати, що вищий пріоритет має клас 1, нижчий – клас  $r$  із спаданням пріоритетів у послідовності зростання номера. Представимо розрахунок середнього часу очікування для будь-якого класу в припущенні, що пріоритети є відносними. Візьмемо для прикладу клас  $p$  ( $1 \leq p \leq k$ ). Нехай типовий виклик цього класу надходить в довільний момент часу  $t_0$ . Його випадковий час очікування  $W_p$ , що вимірюється від моменту надходження до початку обслуговування, залежить від трьох параметрів. Виклик, який надійшов, повинен очікувати протягом випадкового проміжку часу  $T_0$ , поки закінчиться поточний час обслуговування виклику. Крім того, він повинен чекати випадкове число  $T_k$  одиниць часу, поки закінчиться обслуговування всіх користувачів класу  $k$ , що вищий або дорівнює класу  $p$ , які вже знаходилися у черзі в момент часу  $t_0$ . Нарешті, він повинен чекати випадковий час  $T'_k$  обслуговування користувачів кожного класу  $k$ , вищого за клас  $p$  і виклики яких надійшли протягом часу очікування  $W_p$ .

Об'єднуючи разом ці параметри, отримаємо:

$$W_p = T_0 + \sum_{k=1}^p T_k + \sum_{k=1}^{p-1} T'_k. \quad (1)$$

Для визначення середнього часу очікування:

$$E(W_p) = E(T_0) + \sum_{k=1}^p E(T_k) + \sum_{k=1}^{p-1} E(T'_k). \quad (2)$$

Для того, щоб знайти три середніх значення часу в (2), зазначимо, що  $E(T_k)$  виникає за рахунок середнього числа  $E(m_k)$  користувачів класу  $k$ , які очікують в системі. Кожний з них потребує, в середньому,  $1/\mu_k$  одиниць часу, тому безпосередньо отримаємо:

$$E(T_k) = E(m_k) / \mu_k. \quad (3)$$

Але на основі формули Літгла величина  $E(m_k)$  пов'язана із середнім очікуванням  $E(W_k)$ , а саме:

$$E(m_k) = \lambda_k E(W_k). \quad (4)$$

Об'єднуючи рівняння (3) і (4), отримаємо:

$$E(T_k) = \rho_k E(W_k), \quad \rho_k \equiv \lambda_k / \mu_k.$$

Розглянемо тепер параметр  $E(T_k)$ , який отримали за рахунок надходження, в середньому,  $E(m_k)$  користувачів класу  $k$  протягом проміжку часу  $E(W_p)$ .

Оскільки інтенсивність надходжень дорівнює  $\lambda_k$  і кожний користувач потребує в середньому  $1/\lambda_k$  одиниць часу обслуговування, безпосередньо отримаємо:

$$E(T_k) = \lambda_k E(W_p) / \mu k = \rho_k E(W_p) .$$

Отже, маємо  $E(T_0)$  – це залишковий час обслуговування користувача, який знаходиться на обслуговуючій лінії.

Для системи обслуговування з відносними пріоритетами, які зберігають функціонування (тобто коли обслуговуюча лінія знаходиться в режимі нормальної роботи, а користувач чекає обслуговування), вказаний час не залежить від дисципліни обслуговування. Він повинен бути одним і тим же, якщо користувачі всіх  $k$  класів обслуговуються з однаковим пріоритетом за надходженням.

Для середнього часу очікування в системі M/G/1, знаходимо:

$$E(T_0) = \lambda E(\tau^2) / 2 = \sum_{k=1}^r \lambda_k E(\tau_k^2) / 2 .$$

Це узагальнює описаний вище приклад з двома пріоритетними класами.

Зазначимо особливість систем з пріоритетами, яка полягає в тому, що деякі класи пріоритетів (високі) покращують характеристики, інші – навпаки. Цікаво, що тут має місце закон збереження. Можна показати, що зважена сума часу очікування завжди зберігає своє значення.

Зокрема:

$$\sum_{k=1}^r \rho_k E(W_k) = \rho E(W) ,$$

де  $E(W)$  – час очікування в системі M/G/1 (яка обслуговує чергу за надходженням).

При зменшенні деяких періодів очікування інші в порядку компенсації повинні збільшитися. Цей закон збереження є окремим випадком більш загального закону для систем із збереженням функціонування, який вперше був сформульований Клейнроком.

Скориставшись результатами теорії масового обслуговування і теоремою Літтла, можна обчислити середню затримку проходження інформації в мережі.

Наприклад, середня затримка виклику в системі:

$$T = \frac{1}{\mu} + \frac{P_Q}{m\mu - \lambda} ,$$

де  $\mu$  – швидкість обслуговування (кількість викликів, що обслуговуються в одиницю часу);

$P_Q$  – імовірність події: вимога, яка надійшла, визначає, що в системі всі обслуговуючі прилади зайняті, і буде поставлена у чергу для очікування (визначається за формулою Ерланга);

$m$  – кількість обслуговуючих пристроїв.

Застосовуючи теорему Літтла, знаходимо середню кількість вимог у системі:

$$N = T\lambda = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda P_Q}{m\mu - \lambda} .$$

Аналогічно за допомогою відомих співвідношень у теорії масового обслуговування визначається середній час проходження інформації в телекомунікаційній мережі в залежності від різних умов.

Графічна залежність  $\rho$  від  $\mu$  при різних  $\lambda$  та пріоритетах послуг наведена на рис. 1.

На рис. 2 наведена залежність коефіцієнту використання системи від швидкості обслуговування комутаційної системи при надходженні послуг, які мають різний пріоритет та інтенсивність надходження. З графіка видно, що послуги, які мають нижчий пріоритет, збільшують коефіцієнт використання системи, що в свою чергу, як наслідок, веде до збільшення середньої затримки повідомлень в комутаційній системі.

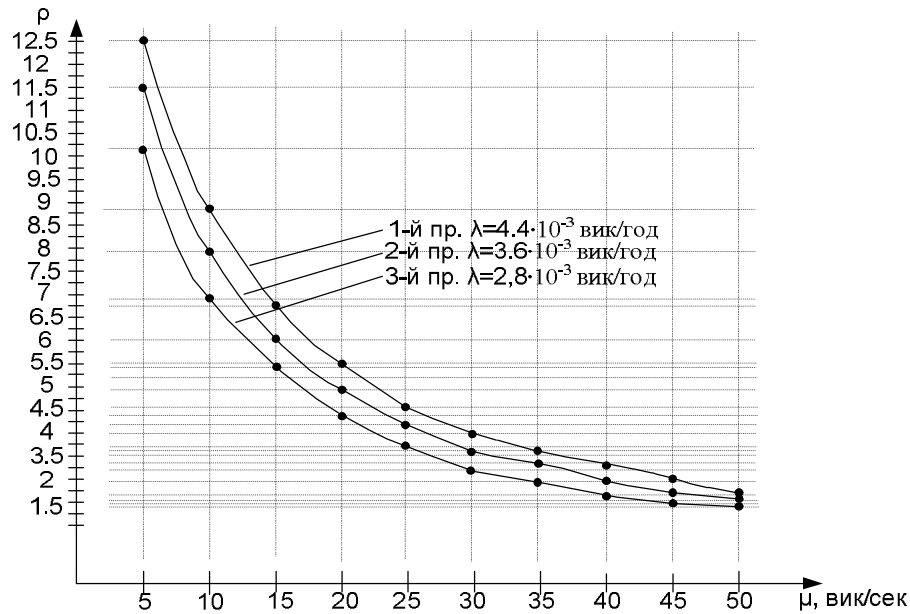


Рис. 1. Залежність  $\rho$  від  $\mu$  при різних  $\lambda$  та пріоритетах послуг

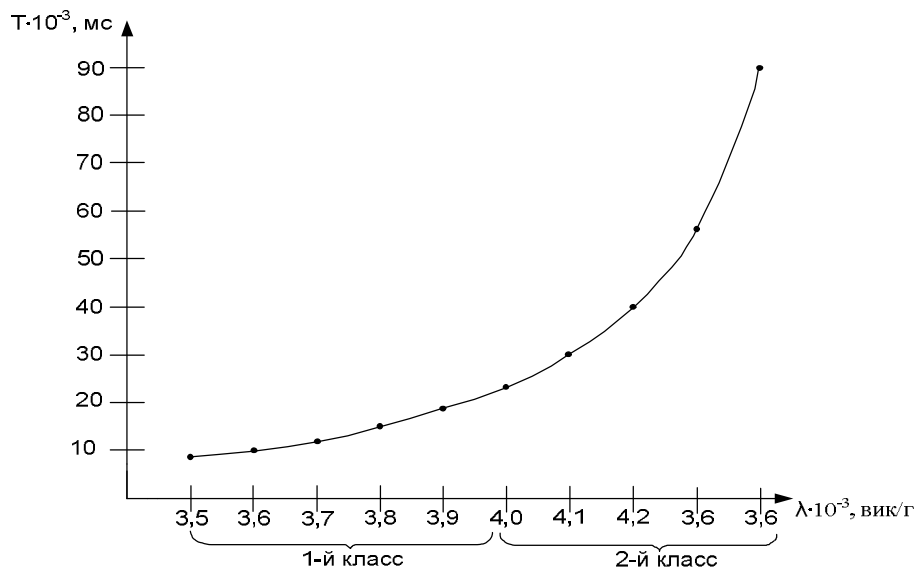


Рис. 2. Залежність середньої затримки від послуг, які мають різні пріоритети

Послуги умовно поділені на два класи: перший клас має найвищий пріоритет, а другий – найнижчий. Послуги, що мають нижчий пріоритет, вносять більш суттєву затримку в системи комутації, ніж послуги з високим пріоритетом.

### Література

1. Будущие сети: Целевые установки и цели проектирования // Рекомендация МСЭ-Т У.3001.
2. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер . – М.: Мир, 1989. – 554 с.
3. Стеклов В. К. Проекування телекомунікаційних мереж / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. – К.: Техніка, 2002. – 792 с.