

## АНАЛІЗ АНАЛІТИЧНИХ РІШЕНЬ З ПРІОРИТЕЗАЦІЇ ТРАФІКА В ПАКЕТНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

*Голубенко В.В., Ложковський А.Г.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,  
65029, Україна, м. Одеса, вул.Кузнечна, 1.  
[vladimirgolubenko@ukr.net](mailto:vladimirgolubenko@ukr.net), [aloshk@onat.edu.ua](mailto:aloshk@onat.edu.ua)*

## АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПРИОРИТЕЗАЦИИ ТРАФИКА В ПАКЕТНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

*Голубенко В.В., Ложковский А.Г.*

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
65029, Украина, г. Одесса, ул.Кузнечная, 1.  
[vladimirgolubenko@ukr.net](mailto:vladimirgolubenko@ukr.net), [aloshk@onat.edu.ua](mailto:aloshk@onat.edu.ua)*

## ANALYSIS OF ANALYTICAL DECISIONS ON TRAFFIC PRIORITIZATION IN PACKET COMMUNICATION NETWORKS

*Golubenko V.V., Lozhkovskii A.G.*

*O.S. Popov Odesa national academy of telecommunications,  
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine.  
[vladimirgolubenko@ukr.net](mailto:vladimirgolubenko@ukr.net), [aloshk@onat.edu.ua](mailto:aloshk@onat.edu.ua)*

**Анотація.** Пропонується порівняльний аналіз відомих рішень з пріоритезації трафіка. Розглянуто переваги і недоліки описаних рішень, їх вплив на характеристики якості обслуговування в пакетних мережах зв'язку, особливості застосування і загальні рекомендації використання тих чи інших рішень. Моделі пріоритетних систем є однією зі складових з моделювання складних систем. При моделюванні складних систем зазвичай використовуються одноканальні або багатоканальні СМО з однорідним або неоднорідним потоком заявок (мультисервісним, пакетним). Вплив дисципліни обслуговування на основні показники характеристики якості обслуговування за наявності пріоритетного трафіка досліджено не повною мірою. В пакетних мережах використовуються пріоритети двох типів – просторові (Space Priorities) і тимчасові (Time Priorities). Просторові пріоритети визначають стратегію доступу різномісних пакетів у загальний буфер, а тимчасові задають правила вибору пакетів з черги для передачі у сервер (канал). Просторові пріоритети впливають на рівень втрати пакетів, в той час як затримки різномісних пакетів у буфері істотно залежать від тимчасових пріоритетів. Пріоритетне обслуговування черг забезпечує високу якість обслуговування для пакетів з найбільш пріоритетної черги. Якщо середня інтенсивність їх надходження в пристрій не перевищує пропускну здатність вихідного інтерфейсу (і продуктивність внутрішніх просуваючих блоків самого пристрою), то пакети вищого пріоритету завжди отримують ту пропускну здатність, яка їм потрібна. Рівень затримок високопріоритетних пакетів також мінімальний. Однак він не нульовий і залежить в основному від характеристик потоку цих пакетів – чим вище пульсація потоку і його інтенсивність, тим імовірніше виникнення черги, утвореної пакетами даного високопріоритетного потоку.

**Ключові слова:** пріоритезація трафіка, аналіз, характеристики якості обслуговування, аналітичні рішення, пакетні мережі зв'язку.

**Аннотация.** Предлагается сравнительный анализ известных решений по приоритизации трафика. Рассмотрены преимущества и недостатки описанных решений, их влияние на характеристики качества обслуживания в пакетных сетях связи, особенности применения и общие рекомендации использования тех или иных решений. Модели приоритетных систем являются одной из составляющих при моделировании сложных систем. При моделировании сложных систем обычно используются одноканальные или многоканальные СМО с однородным или неоднородным потоком заявок (мультисервисным, пакетным). Влияние дисциплины обслуживания на основные показатели характеристик качества обслуживания при наличии приоритетного трафика исследованы не в полной

мере. В пакетних сетях используются приоритеты двух типов – пространственные (Space Priorities) и временные (Time Priorities). Пространственные приоритеты определяют стратегию доступа разнотипных пакетов в общий буфер, а временные задают правила выбора пакетов из очереди для передачи в сервер (канал). Пространственные влияют на уровень потери пакетов, в то время как задержки разнотипных пакетов в буфере существенно зависят от временных приоритетов. Приоритетное обслуживание очередей обеспечивает высокое качество обслуживания для пакетов из самой приоритетной очереди. Если средняя интенсивность их поступления в устройство не превосходит пропускную способность выходного интерфейса (и производительность внутренних продвигающих блоков самого устройства), то пакеты высшего приоритета всегда получают ту пропускную способность, которая им нужна. Уровень задержек высокоприоритетных пакетов также минимален. Однако он не нулевой и зависит в основном от характеристик потока этих пакетов – чем выше пульсация потока и его интенсивность, тем вероятнее возникновение очереди, образованной пакетами данного высокоприоритетного потока.

**Ключевые слова:** приоритезация трафика, анализ, характеристики качества обслуживания, аналитические решения, пакетные сети связи.

**Abstract.** A comparative analysis of known solutions for traffic priority is proposed. Considered advantages and disadvantages of the described solutions, their impact on the characteristics of the quality of service in packet communication networks, application features and general recommendations for the use of these or other solutions. Models of priority systems are one component of the simulation of complex systems. For modeling systems, commonly used single-channel or multi-channel SMS with homogeneous or heterogeneous flow of applications (multiservice, packet). Influence of the service discipline on the main indicators of the quality of service quality in the presence of priority traffic is not fully investigated. Packet networks use two priority types: Space Priorities and Time Priorities. Spatial priorities determine the strategy of accessing different types of packages in the overall buffer, and the time priorities specify the rules for selecting packets from the queue for transfer to the server (channel). Spatial priorities affect the packet loss level, while delays of different types of packets in the buffer depend essentially on time priorities. Priority queue service ensures high quality of service for packets from the highest priority queue. If the average intensity of their arrival at the device does not exceed the bandwidth of the output interface (and the performance of the internal promotion blocks of the device itself), then the packets of highest priority always receive the bandwidth they need. The level of high priority packet latency is also minimal. However, it is not zero and depends mainly on the characteristics of the flow of these packets - the higher the flow ripple and its intensity, the more likely the occurrence of the queue formed by the packets of this high-priority flow.

**Key words:** prioritization of traffic, analysis, characteristics of quality of service, analytical solutions, packet communication networks.

Пакетні мережі характеризуються наявністю пріоритетного обслуговування. Аналітичні методи дослідження пріоритетних дисциплін обслуговування вимог розроблені здебільшого для дисциплін з одним класом пріоритетів, а більшість результатів отримані за різних припущень і припущень, що обмежують їх застосування на практиці. Детальне дослідження пріоритетних систем обслуговування передбачає застосування комбінованого підходу до моделювання.

У роботах [1...4] приділено увагу складним системам на основі комбінованого підходу, однолінійній системі обслуговування з чергуванням пріоритетів, оптимізації пріоритетного обслуговування у вузлах мереж комутації пакетів, системам обслуговування з різними рівнями просторових і часових пріоритетів. Однак не вирішені питання пошуку універсальних рішень для різного типу систем при обслуговуванні пріоритетного трафіка.

Тому **мета даної статті** полягає в аналізі існуючих аналітичних рішень з пріоритезації трафіка у пакетних мережах зв'язку, розгляді основних переваг та недоліків, запропонованих рішень щодо їх впровадження при обслуговуванні пріоритетного трафіка.

В роботі [1] описано принципи моделювання складних систем, однією зі складових яких є моделі пріоритетних систем. В якості базових моделей дискретних систем з пріоритетами зазвичай використовуються одноканальні або багатоканальні системи масового обслуговування з однорідним або неоднорідним потоком заявок. Для аналітичного дослідження складних систем автор розглядає аналітичні залежності для розрахунку характеристик обслуговування заявок. Зокрема, середній час очікування заявок класу  $k$  визначається за формулою:

$$w_k^{СП} = \frac{\sum_{i=1}^H q_{ki} (3 - q_{ik}) \rho_i}{(2 - \sum_{i=1}^H q_{ik} (3 - q_{ik}) \rho_i) (2 - \sum_{i=1}^H (1 - q_{ki}) (2 - q_{ki}) \rho_i)} + \frac{\sum_{i=1}^H q_{ik} (q_{ik} - 1) \rho_i}{2 - \sum_{i=1}^H q_{ik} (q_{ik} - 1) \rho_i}, \quad (1)$$

де  $\rho_i = \lambda_i b_i$  – завантаження, створюване заявками класу  $i$ ;  $q_{ik}$  – елементи матриці пріоритетів ( $i, k = 1, \dots, H$ ), які беруть у такому значенні: 0, якщо заявки класу  $i$  не мають пріоритету по відношенню до заявок класу  $k$ ; 1, якщо пріоритет відносний; 2, якщо пріоритет абсолютний, причому  $q_{ii} = 0$ .

Інші характеристики, такі як середній час перебування заявки (очікування й оброблення), середнє число запитів, які перебувають у стані очікування, і система (у стані очікування і на обробленні) можуть бути розраховані на основі середнього часу очікування  $w_k$ .

Аналіз впливу сумарного завантаження системи на характеристики обслуговування заявок [1] при використанні пріоритетних дисциплін обслуговування показує, що середній час перебування у системі заявок усіх класів зростає зі збільшенням сумарного завантаження  $R$ , причому більш різко в області великих значень завантаження, особливо для заявок фонових класів. В області перевантажень, коли  $R \geq 1$ , проявляється властивість захисту від перевантажень високопріоритетних заявок за рахунок відмови в обслуговуванні низькопріоритетними заявками. При цьому час перебування фонових заявок зростає необмежено і прямує до нескінченності, в той час як для високопріоритетних заявок час перебування має кінцеве значення.

У разі довільних потоків заявок, відмінних від найпростіших, для яких коефіцієнт варіації інтервалів між заявками  $v_a \neq 1$ , значно ускладнюється аналітичний розрахунок характеристик обслуговування заявок, що зумовлює застосування імітаційного моделювання. Введення пріоритетних дисциплін обслуговування в разі  $v_a \neq 1$  не завжди забезпечує менший час очікування для заявок високопріоритетного класу [1].

В роботі [2] показано вплив дисципліни обслуговування різних класів заявок на основні показники якості функціонування однолінійної системи в разі, коли прилад миттєво перемикається на обслуговування вимог іншого типу.

Шляхом аналітичних рішень автором були знайдені формули, які дозволяють визначити характеристики якості обслуговування, такі як період зайнятості системи, що починається з обслуговування заявки  $i$ -го пріоритету, середнє число вимог кожного потоку, обслугованих за період зайнятості та ін.

Автор зазначає, що завдання, в якому час перемикавання не дорівнює нулю, дуже важливе для додатків і надто важке для дослідження, залишається поки не вирішеним.

В роботі [3] автор стверджує, що в пакетних мережах використовуються пріоритети двох типів – просторові (Space Priorities – SP) і тимчасові (Time Priorities – TP). Просторові пріоритети визначають стратегію доступу різнотипних пакетів у загальний буфер, а тимчасові задають правила вибору пакетів з черги для передачі у сервер (канал). Таким чином, просторові пріоритети, головним чином, впливають на рівень втрати пакетів, в той час як затримки різнотипних пакетів у буфері істотно залежать від тимчасових пріоритетів. Автор досліджує задачі оптимізації цих моделей з множинними пріоритетами. Аналіз результатів вирішених автором завдань у [3] дозволяє зробити наступний висновок: при заданих значеннях розміру буфера комутатора і навантажень різнотипних потоків, за рахунок вибору відповідної схеми пріоритетності можна домогтися мінімізації вартості системи. Як зазначає автор, важливістю запропонованого підходу є можливість його застосування і при інших схемах визначення просторових і часових пріоритетів. Так, наприклад, даний підхід може бути використаний і при дослідженні моделей з абсолютними пріоритетами, а також з ситуаційними пріоритетами, що залежать від поточного стану буфера.

В роботі [4] на відміну від інших робіт модель відрізняється кількома моментами: розглядається модель із загальним буфером для очікування різнотипних заявок і так само для знаходження характеристик моделі тут пропонується числовий метод, заснований на принципах теорії фазового укрупнення.

Множинні пріоритети визначаються наступним чином [4]. Оскільки трафік першого типу є більш чутливим до можливих втрат пакетів через переповненість загального буфера, ніж трафік другого типу, то вони (тобто заявки першого типу) мають високі просторові пріоритети. Оскільки трафік другого типу є більш чутливим до можливих затримок в черзі, ніж трафік першого типу, то заявки другого типу мають високі відносні тимчасові пріоритети, тобто заявки першого типу приймаються для обслуговування лише тоді, коли в момент звільнення каналу в буфері відсутні заявки другого типу. Автор описує функціонування буфера двовимірним ланцюгом Маркова (а точніше – двовимірним процесом народження і загибелі) зістанами типу  $n = (n_1, n_2)$ , де  $n_i$  вказує число заявок  $i$ -го типу в черзі,  $i = 1, 2$ . Наприклад, середній час затримки в черзі заявок  $i$ -го типу (*Call Transfer Delay, CTD<sub>i</sub>(B, c)*) визначається за допомогою формули Літтла для систем обслуговування з кінцевою чергою [4]:

$$CTD_i(B, c) = Q_i(B, c) / \lambda_i (1 - CLP_i(B, c)), \quad i = 1, 2. \quad (2)$$

Тут  $Q_i(B, c)$  позначає середнє число заявок  $i$ -го типу в черзі,  $i = 1, 2$ .

Автор зазначає, що зі зростанням параметра шанси для прийняття в буфер заявок першого типу зростають, і, таким чином, вірогідність їх втрати зменшується, а одночасно з цим збільшується ймовірність втрати пакетів другого типу. При цьому швидкості їх зміни істотно залежать від значень параметрів моделі  $n_1, n_2$  і  $B$  (див. рис. 1).

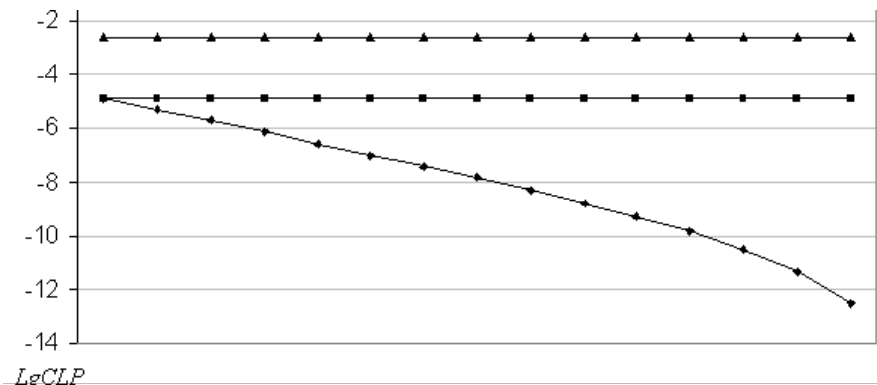


Рисунок 1 – Залежність ймовірностей втрат різнотипних заявок від параметра за  $B = 60$ :  $\lambda_1 = 0,1$ ;  $\lambda_2 = 0,85$ ;  
 ▲ –  $CLP_i$ ; ■ –  $CLP_2$ ; ◆ –  $CLP_1$

Аналіз аналітичних рішень щодо пріоритезації трафіка та його впливу на характеристики якості обслуговування у пакетних мережах зв'язку, по-перше показують зацікавленість питанням пріоритезації та його впливу на QoS серед вчених. Знайдені аналітичні рішення дають змогу розрахувати характеристики якості обслуговування для окремих видів (моделей) систем та дозволяють покращити роботу систем з пріоритетами. Однією з головних задач залишається пошук універсальних рішень, які б підходили для різного типу систем, з урахуванням пріоритетності трафіка.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Алиев Т.И. Исследование сложных систем на основе комбинированного подхода / Алиев Т.И. // ИММОД-2003.
2. Духовный И.М. Однолинейная система обслуживания с чередованием приоритетов / Духовный И.М. // Пробл. передачи информ., 5:2 (1969), 61-71; Problems Inform. Transmission, 5:2 (1969), 47-55.

3. Васиф Ш. Фейзиєв. Оптимизация приоритетного обслуживания в узлах сетей коммутации пакетов / Васиф Ш. Фейзиєв // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 2 (16). – С. 223-225.
4. Пономаренко Л.А.. Анализ системы обслуживания с различными уровнями пространственных и временных приоритетов / Л.А. Пономаренко, А.З. Меликов, Ф.Н. Нагиев // Информационно-управляющие комплексы и системы. – 2006. – № 2(18). – С. 80-89.

REFERENCES:

1. T.I. Aliyev. "Study of complex systems based on a combined approach" IMMOD-2003.
2. I.M. Duxovnyj. "One-line service system with alternating priorities". Problems programs infor., 5: 2 (1969), 61-71; Problems Inform. Transmission 5: 2 (1969), 47-55.
3. Vasif S. Feyziev. "Optimization of priority service in the nodes of packet switching networks" Optical-electronic information technology-energy technology. № 2 (16), 2008: 223-225.
4. L.A. Ponomarenko, A.Z. Melikov, F.N. Nagiyev. "Analysis of the service system with different levels of spatial and temporal priorities" Information control complexes and systems, № 2 (18), 2006: 80-89.

DOI 10.33243/2518-7139-2018-1-2-89-93