

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТРАФІКУ В ЧЕРГАХ МАРШРУТИЗАТОРІВ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ

*У статті наведено причини перевантажень на ділянках мереж. Проаналізовано трафік комп'ютерних мереж.*

*Розглянуто процес керування інтенсивністю навантаження маршрутизаторів. Також наведено передачу декількох сервісів через єдиний порт даних, що дає змогу звільнити порти для інших зв'язків. Було показано структуру QoS-маршрутизатора.*

*Визначено, що функціонування алгоритму керування чергами оцінюється, як його здатність ефективно контролювати трафік під час періодів перевантаження і вони поділяються на два класи: пасивні та активні.*

*Проведений аналіз наявних алгоритмів керування чергами під час періодів перевантаження в комутаційному обладнанні. Особливу увагу приділено методам TailDrop, що працює з дисципліною FCFS (First Come First Served – перший прийшов перший обслуговується) і методом RED – (Random Early Detection - випадкове раннє виявлення) Знайдено проблеми через які їх не ефективно використовувати. Показано залежність ймовірності скидання від усередненої довжини черги методу RED.*

*Ключові слова: протокол, трафік, ефективність, модель, мережа, черга, маршрутизатор, пакет, TailDrop, RED .*

**Вступ.** Розвиток технологій широкосмугового доступу та зростання популярності різних Інтернет-послуг призводить до зростання потреб, доступної смуги пропускання і відповідно постійного нарощування швидкостей каналів передачі даних. Через скачки трафіку та недосконалість методів керування трафіком на мережі виникають перевантаження, які призводять до переповнення черг маршрутизаторів та погіршення якості обслуговування.

Звіти про швидкості підключення абонентів і спостереження за кількістю користувачів мережі Інтернет свідчать про постійне зростання швидкостей та збільшення аудиторії Інтернету. Так, компанія «Akamai» опублікувала звіт, згідно з яким середня швидкість фіксованого підключення користувачів до мережі Інтернет на середину 2016 року в світі складала 5,6 Мбіт/с і за рік виросла на 23%.

Таким чином, постійне зростання швидкостей доступу і кількості користувачів призведе до нерівномірності пропускних можливостей каналів передачі даних і перепадів інтенсивності трафіку. Звідси, неминуче виникнення перевантажень на окремих ділянках мережі. Часто сумарна швидкість підключення абонентів на вузлі доступу, при наданні послуг без гарантії якості, перевищує доступну швидкість підключення до магістральної мережі. Також можливе виникнення перевантажень при аваріях на інших ділянках мережі та перерозподіл трафіку або при настанні подій поза мережі, але пов'язаних з раптовим зростанням обсягу переданого трафіку.

Спочатку в маршрутизаторах пакети даних, які не можуть бути передані відразу, поміщалися в проміжний буфер при переповненні якого, нові пакети що надходять відкидалися. Переповнення буфера відбувається кожен раз при настанні перевантаження в мережі. Такий пасивний режим роботи буфера називають Tail Drop (відкидання кінця черги). Для запобігання перевантажень в чергах маршрутизатора використовуються активні методи керування на основі методу RED (Random Early Detection – раннє випадкове виявлення). Даний метод контролює тільки усереднене значення поточної довжини черги, змінює ймовірність скидання пакетів за лінійним законом при знаходженні усередненої довжини черги між встановленими верхнім і нижнім порогами.

Серед робіт зарубіжних вчених, які досліджують проблеми обробки трафіку в чергах і оцінки параметрів якості обслуговування, слід відзначити роботи таких авторів:

Гайдамаки Ю.В., Єфімушкіна В.А., Кучерявого Е.А., Печенкіна В.А., Рослякова А.В., Самуйлова К.Е., Степанова С.Н., Якобсон В., Флорйд С., Холлот К., Мішра В., Фенг В., Фенюань Р., Крісостому С., та ін.

Метод відкидання кінця черги Tail Drop, а також метод довільного раннього виявлення RED не завжди справляються з керуванням трафіку, що має складну динаміку і нелінійність зміни навантаження, що призводить до виникнення перевантажень, явища «глобальної синхронізації TCP потоків, коли всі TCP-джерела при переповненні буфера втрачають пакети і одночасно знижують навантаження, а потім знову одночасно її підвищують. В результаті чого, моменти перевантаження змінюються моментами простою, що веде до неефективного використання ресурсів і зниження якості обслуговування. При передачі змішаного трафіку TCP одночасно з UDP, синхронізація TCP-з'єднань і перевантаження також призводять до деградації супутнього UDP трафіку. Ці явища погіршують такі параметри якості обслуговування трафіку, як ефективна швидкість передачі даних, відсоток втрачених пакетів, затримки і різновиди затримок.

Таким чином, задача дослідження та створення нових методів та алгоритмів використання сучасних протоколів транспортного рівня, які дозволяють йому добиватися рівномірності розподілення мережевих ресурсів та використання доступних розмірів черг в мультисервісних мережах, є актуальною.

**Постановка задачі.** При роботі IP-мережі з використанням різних алгоритмів обробки черг відсоток втрачених пакетів становить чималу частину від усього переданого трафіку, оскільки обладнання не здатне обробити абсолютно всі пакети і в алгоритмах є свої недоліки.

Отже, необхідно кожен раз при прийомі пакету робити вибір, приймати його обробку або видаляти з черги. Для здійснення даного вибору для кожного пакета необхідний один або кілька критеріїв, за якими буде здійснюватися вибір. Слід взяти до уваги методи активного керування чергами.

Метою роботи є аналіз чинних алгоритмів обробки трафіку в чергах маршрутизаторів мультисервісної мережі;

**Аналіз відомих досліджень і публікацій.** Зростання популярності технологій передачі відео, будь-яке відео на вимогу VoD (Video-on-Demand), передача відео-програм через Інтернет ОТТ (Over-the-Top), накладає підвищені вимоги до характеристик каналу передачі даних, таких як гарантована швидкість передачі, втрати пакетів, затримки передачі пакетів, а в разі інтерактивних послуг відеоконференцій і IP-телефонії (VoIP, Video Chat) виникають підвищені вимоги до варіації затримок. У той же час, в мультисервісній мережі присутній також трафік іншого роду, наприклад передача файлів P2P, перегляд Web і трафік створюваний автоматичними пристроями M2M, IoT [1], який менш вимогливий до швидкості передачі даних і затримок. Різні програми чутливі до різних мережевих характеристик. Так наприклад, для голосового трафіку доступна смуга пропускання не є критичною, а значення джитера навпаки є дуже важливим. Для передачі файлів, більше важлива швидкість передачі, ніж затримки і джитер.

Трафік мережі Інтернет в основному використовує транспортні протоколи TCP UDP, з переважанням TCP протоколу. Протокол TCP, на відміну від UDP протокола, передбачає встановлення з'єднання і підтвердження отриманих пакетів. Такі сервіси як ОТТ, пошук і перегляд Web-сторінок, передача файлів HTTP/FTP використовують в якості транспорту TCP. Передача аудіо і відео даних в IP-телефонії може бути з використанням як TCP, так і UDP протоколів. Для забезпечення необхідної якості обслуговування QoS (Quality of Service) для кожного типу мережного сервісу в мультисервісних маршрутизаторах використовується ряд технологій управління трафіком [2].

Доступ до мережевих послуг може бути організований за принципом «найкраща спроба» (Best Effort), тобто коли трафік обробляється з параметрами максимально можливими в даний момент часу, але без жодних гарантій щодо забезпечення якості. Для забезпечення гарантованої якості необхідно керувати інтенсивністю навантаження в залежності від пропонованих вимог.

Процес керування інтенсивністю навантаження в маршрутизаторі включає в себе наступні дії [3]:

- моніторинг;
- маркування;
- згладжування;
- скидання.

Насамперед маршрутизатор повинен класифікувати пакети, що надходять, після чого стає можливим визначення навантаження кожного потоку і відповідності поточних значень параметрів. Далі відбувається моніторинг навантаження, якщо значення параметрів трафіку перевищують задані у початковий момент, то маршрутизатор виконує дії щодо обмеження навантаження (policing).

Оптимізація процесу передачі трафіку ставить певні завдання на кожному етапі. Керування допуском навантаження в мережі базується не тільки на пропускних можливостях каналів, але й на ресурсах маршрутизаторів, або буферних просторах. Велика кількість мультиплексованих потоків, конкурують між собою, вимагаючи реалізації механізмів, що дозволяють регулювати кількість цих потоків в залежності від необхідних параметрів якості обслуговування та доступних мережевих ресурсів.

Сучасний розвиток пакетних мереж передачі даних підняв технологію Ethernet на новий рівень, тим самим дозволивши надавати мультисервісні послуги з надійністю і якістю мереж SDN, механізмами пріоритетизації та розподілу послуг, доступних в недалекому минулому лише в мережах ATM/FR. Технологія Ethernet вже міцно зайняла центральне місце в провідних мережах компаній провайдерів телекомунікаційних послуг завдяки своїй сумісності з різними середовищами передачі, низькою ціною за Мегабіт, простоті та гнучкості. Бізнес-користувачі вимагають надання послуг з гарантованим рівнем обслуговування безпосередньо в приміщенні офісу. Таким чином, постає завдання доставити трафік з гарантованою якістю до кінцевого абонента. Прості медіаконвертори, працюючи на першому рівні мережевої моделі взаємодії відкритих систем OSI (Layer 1) не можуть вирішити завдання щодо обробки різноманітного трафіку із визначеними пріоритетами та контролем якості. Для цього завдання підходять інтелектуальні пристрої демаркації (поділу відповідальності), тобто, комутатори другого рівня з можливістю обробки заголовків верхніх рівнів (Layer 2+) або маршрутизатори 3 рівня (Layer 3), наведені на рис. 1.



Рис. 1. Схема підключення проміжного маршрутизатора

Нові пристрої забезпечують передачу декількох сервісів через єдиний порт передачі даних. Кожна послуга (наприклад, VoIP, важливі дані або доступ в інтернет) отримує гарантовану смугу пропускання і відповідний пріоритет при обробці. Це також дасть змогу звільнити порти для інших зв'язків і збільшить концентрацію сервісів точки присутності оператора.

Кожен сервіс на вхідному порту класифікується за окремими ознаками:

- мітка користувача на другому рівні VLAN ID;
- пріоритет користувача на другому рівні 802.1 p;
- код послуги заголовка третього рівня DSCP/TOS;
- адреса відправника чи одержувача;
- номер фізичного порта.

Кожному потоку присвоюється клас обслуговування CoS та індивідуальний профіль смуги пропускання (Bandwidth profile). Наприклад, потік з даними VoIP повинен мати невелику, проте гарантовану смугу пропускання CIR = const і оброблятися з найвищим пріоритетом для запобігання затримок у передачі пакетів. Потік, призначений для доступу в інтернет, може зовсім не мати гарантованої смуги пропускання CIR = 0 (Best Effort data) і оброблятися в останню чергу.

Функціонування алгоритму керування чергами, оцінюється здатністю ефективно контролювати трафік, під час періодів перевантаження[4]. Існує декілька алгоритмів керування цим процесом. Вони поділяються на два класи: пасивні й активні[5]. (враховують стан мережі).

Найбільш простий метод – так званий TailDrop, що працює із чергою з дисципліною обслуговування FCFS (First Come First Served – перший прийшов перший обслуговується). Цей метод скидає пакети при переповненні черги та поміщає нові пакети у чергу тільки при звільненні в ній місця. Можна відзначити два головних недоліки цього алгоритму. По-перше, неможливість реалізації принципу «справедливого розподілу ресурсів». По-друге, неможливість завчасного визначення моменту перевантаження. Були зроблені спроби удосконалити механізм TailDrop (алгоритми «імовірнісне скидання пакету» та «скидання початку черги»), щоб вирішити проблему зайняття черги пакетами одного або декількох потоків, однак залишилася проблема завчасного виявлення перевантаження черги.

Структура маршрутизатора забезпечує класифікацію, якість обслуговування та управління трафіком. Отже, розглянемо схему, наведену на рис. 2.

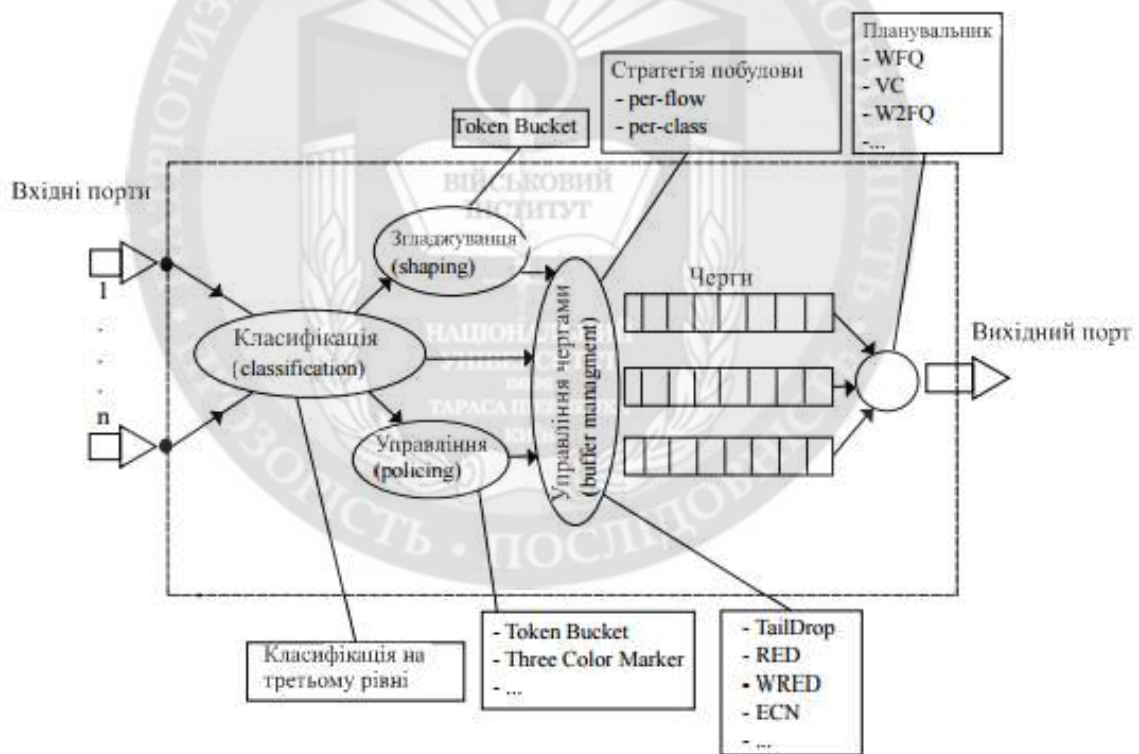


Рис. 2. Структура QoS-маршрутизатора

Пакети надходять на вхідні порти маршрутизатора. Згодом вони проходять процедуру класифікації (Classification), як правило на основі аналізу заголовків IP-пакетів по полю DSCP, на основі адреси відправників або одержувача. Далі, у відповідності з присвоєним класом, пакети можуть проходити процедуру згладжування (Shaping) чи управління навантаженням (Policing), яка визначає на основі встановлених політик, скільки пакетів може бути допущено для передачі далі для кожного класу. Після застосування політик управління, пакети надходять в черги, які можуть бути визначені на кожен потік або на кожен клас та можуть мати ієрархічну

структуру у відповідності зі структурою побудови. Кожній черзі може бути привласнений свій метод управління (Buffer management), наприклад TailDrop чи RED, за допомогою якого приймається рішення про переміщення кожного пакета в чергу або рішення про його відновлення, маркування. Методи управління чергою застосовуються так само для попереджувального скидання або маркування пакетів, щоб завчасно визначити момент сплеску навантаження та не допустити переповнення черги. Черги можуть мати, наприклад, строгий пріоритет згідно з порядком якого планувальник (Scheduler) буде обслуговувати пакети з різних черг, або планувальник може реалізовувати обслуговування черг у пропорції визначається «відносною вагою» черги. Далі на вихідному порту маршрутизатора пакети з різних черг можуть заново перемаркуватися (наприклад, встановлюватися нові коди DSCP в IP-заголовках) для інформування наступного маршрутизатора про існуючі класи обслуговування.

Використання методу TailDrop для управління TCP трафіком призводить до виникнення явища «глобальної синхронізації», коли при переповненні буфера маршрутизатора одночасно скидаються всі подані пакети, і всі TCP передавачі зменшують розмір TCP-вікна і потім синхронно його збільшують, викликаючи нове перевантаження. Це явище також призводить до збільшення скидання пакетів UDP трафіку при його одночасному проходженні через загальну чергу маршрутизатора. В підсумку виходить, що Tail drop нераціонально використовує простір пам'яті маршрутизатора. Не-TCP програми, що не володіють захистом від перевантаження, також спричиняють затори в мережі. Для протидії цьому явищу був розроблений метод випадкового раннього виявлення перевантажень RED.

Метод RED (Random Early Detection) – це випадкове раннє виявлення. Алгоритм дозволяє пом'якшити ефект від втрати пакетів навіть при надзвичайно великих навантаженнях. Якщо буфер практично порожній, то всі пакети пропускаються в звичайному режимі. Коли черга починає рости, то імовірність відкидання пакетів також починає рости. Коли буфер повністю заповнюється, ймовірність стає рівною одиниці та всі вхідні пакети відкидаються. Механізм RED досі є найбільш поширеним в маршрутизаторах, хоча багатьма дослідниками вказувалися його недоліки [7], оскільки метод відстежує лише усереднену довжину черги, що допускає коливання довжини черги, і змінює ймовірність скидання відповідно до лінійного закону, що не дозволяє ефективно регулювати нелінійну динаміку трафіку.

Метод RED [8] оцінює середнє значення черги шляхом обчислення експоненціального зваженого ковзного середнього  $a$  за рекурентною формулою:

$$a = (1 - \omega)a + \omega \cdot q,$$

де  $q$  – поточне значення черзі, а  $\omega$  – ваговий коефіцієнт з рекомендованим значенням 0,002.

Якщо черга порожня, то робиться оцінка середнього значення черги  $a$  в період відсутності пакетів по наступній формулі:

$$a = a \cdot (1 - m)^m,$$

де  $m$  – очікувана кількість пакетів, що надійшли в чергу. Без такого припущення оцінка  $a$  буде неправильна. Якщо пакет надходить у момент коли черга порожня, то  $m$  розраховується за формулою:

$$m = (t - t_0) / s$$

де  $t$  – поточний час,  $t_0$  – момент часу, коли черга стала порожньою, а  $s$  – середній розмір пакету.

Ймовірність маркування/скидання пакетів лінійно змінюється в інтервалі від 0 до  $\max_p$  за формулою:

$$P_{drop} = \frac{\max_p (a - \min_{th})}{(\max_{th} - \min_{th})},$$



де  $\min_{th}$  – мінімальний поріг середнього значення черги, до якого не відбувається скидання,  $\max_{th}$  – максимальний поріг, після якого скидаються всі пакети, а  $\max_p$  – максимальне значення ймовірності скидання. Графік ймовірності скидання пакета наведено на рис. 3.

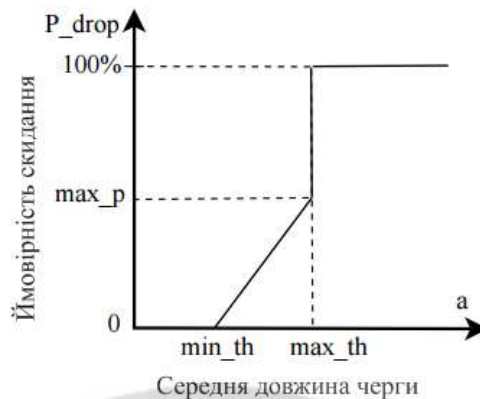


Рис. 3. Залежність ймовірності скидання від усередненої довжини черги для методу RED

Реальна ймовірність скидання пакетів  $P_a$  обчислюється на основі лічильника надійшли пакетів з моменту останнього скидання:

$$P_a = \frac{P_{drop}}{(1 - n \cdot P_{drop})},$$

де  $n$  – кількість пакетів, що прийшли в чергу з моменту останнього скидання.

Тим не менше, вибір адекватних параметрів RED є складним завданням. Складність підбору параметрів і крайня залежність поведінки алгоритму від встановлення цих фіксованих значень є одним з недоліків методу RED.

Використання RED робить неможливим поділ за класами якості обслуговування (QoS). Тому у випадку, коли QoS важливо, використовуються інші варіанти алгоритму, такі як Weighted RED (WRED) або RED In/Out (RIO).

**Висновки.** На основі попереднього аналізу методів відкидання кінця черги Tail Drop, а також метод довільного раннього виявлення RED не завжди справляються з управлінням трафіком зі складною динамікою та нелінійністю зміни навантаження. Тому для запобігання перевантажень, контролювання середньої затримки в черзі і поліпшення параметрів якості обслуговування, при передачі даних по мережі на основі протоколів TCP/IP потрібна розробка нових методів обробки трафіку в чергах маршрутизатора.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Росляков А.В. Интернет вещей / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, А.Ю. Гребешков, М.Ю. Самсонов. – Самара: ПГУТИ : ООО«Издательство Ас Гард», 2014. – 340 с.
2. Васильев А.Б. Тестирование сетей связи следующего поколения / А.Б. Васильев, Д.В. Тарасов, Д.В. Андреев под общей редакцией проф. А.Е. Кучерявого. – М. : ФГУП ЦНИИС, 2008. – 144 с.
3. Благодаров А.В. Моделирование и синтез оптимальной структуры Ethernet / А.В. Благодаров, А.Н. Пыльнин, Д.М. Скуднєв, А.П. Шибанов. – Издательство «Гор. Линия-Телеком», 2011. – 112 с.
4. Коваленко Т.Н. Модель активного управления очередями в распределенных инфокоммуникационных системах, представленная сетью Петри / Т.Н. Коваленко // журнал «Проблемы телекоммуникаций». – 2012. – № 2(7). – С.58-67.
5. Масленников А.Г. Методы активного управления очередями маршрутизаторов / А.Г. Масленников // Московский технический университет связи и информатики, ВС/NW, 2011. – №2 (19). – С.1-12.

#### REFERENCES:

1. Roslyakov A.V., Vanyashin S.V., Grebeshkov A.Yu., Samsonov M.Yu. (2014). Internet veschey. A.V. Roslyakov. Samara. PGUTI OOO «Izdatelstvo As Gard». 340.
2. Vasilev A.B., Tarasov D.V., Andreev D.V. pod obschey redaktsiey prof. A.E. Kucheryavogo. (2008). *Testirovanie setey svyazi sleduyushchego pokoleniya*. Moskva. FGUP TsNIIS. 144.
3. Blagodarov A.V., Pyilnin A.N., Skudnev D.M., Shibanov A.P. (2011). Modelirovanie i sintez optimalnoy struktury Ethernet. *Izdatelstvo «Gor. Liniya-Telekom»*. 112.
4. Kovalenko T.N. (2012). Model aktivnogo upravleniya ocheredyami v rasrelennykh infokommunikatsionnykh sistemakh, predstavlenaya setyu Petri. *Zhurnal «Problemy telekommunikatsiy»*. 2(7). 58-67.
5. Maslennikov A.G. (2011). Metody aktivnogo upravleniya ocheredyami marshrutizatorov. *Moskovskiy tehnikeskiy universitet svyazi i informatiki, BC/NW*. 2 (19). 1-12.

Рецензент: д.т.н., проф. Сбітнєв А.І.

к.т.н., доц. Огневой А.В., Самсонюк Б.С., Рябая Л.А.  
**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ТРАФИКА В ОЧЕРЕДЯХ  
МАРШРУТИЗАТОРОВ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ**

*В статье приведены причины перегрузок на участках сетей. Проанализированы трафик компьютерных сетей.*

*Рассмотрен процесс управления интенсивностью нагрузки маршрутизаторов. Также приведены передачу нескольких сервисов через единый порт данных, что дает возможность освободить порты для других связей. Было показано структуру QoS-маршрутизатора.*

*Определено, что функционирование алгоритма управления очередями оценивается как его способность эффективно контролировать трафик во время периодов перегрузки и они делятся на два класса: пассивные и активные.*

*Проведен анализ существующих алгоритмов управления очередями во время периодов перегрузки в коммутационном оборудовании. Особое внимание уделено методам TailDrop, что работает с дисциплиной FCFS (First Come First Served) – первый пришел-первый обслуживается) и методом RED – Random Early Detection - случайное раннее обнаружение) Найдены проблемы через которые их эффективно использовать. Показана зависимость вероятности сброса от усредненной длины очереди метода RED.*

*Ключевые слова: протокол, трафик, эффективность, модель, сеть, очередь, маршрутизатор, пакет, TailDrop, RED.*

Ph.D. Ognjevyj O.V., Samsoniuk B.S., Ryaba L.O.  
**ANALYSIS METHODS FOR TRAFFIC IN THE QUEUES OF THE ROUTERS  
MULTISERVICE NETWORK**

*The article presents the causes of congestion on sections of the network. Analyzed the traffic of computer networks.*

*The process control intensity of the routers. Also, given the transmission of multiple services through a single data port that gives you the opportunity to free up ports for other connections. It has been shown the structure of a QoS router.*

*It is determined that the operation of the algorithm of queue management is assessed as its ability to efficiently control traffic during congestion periods and they are divided into two classes: passive and active.*

*The analysis of existing algorithms for managing queues during periods of congestion in the switching equipment. Special attention is paid to the methods TailDrop that works with the FCFS discipline (First Come First Served) and RED - Random Early Detection. The problems found through which to use them effectively. The dependence of the probability of discharge from the average queue length method RED.*

*Keywords: protocol, bandwidth, efficiency, model, network, queue, router, pack, TailDrop, RED.*