

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА САМОПОДІБНІСТЬ ТРАФІКУ В ІР-МЕРЕЖАХ

У статті пропонується заснований на застосуванні модифікованого експоненціального розподілу аналітичний метод розрахунку середньої затримки, вірогідність втрати (за часом) пакету і параметра Херста для ланки ІР-мережі з самоподібним трафіком.

Ключові слова: самоподібність, якість обслуговування.

M.A. SHEVCHENKO, K.L. HORIASCHENKO, O.Y. KUCHERUK

Khmelnyskiy National University, Ukraine

PROVIDING THE QUALITY OF SERVICE AND SELF-SIMILARITY OF TRAFFIC IN IP-BASED NETWORKS

Increasing of telecommunication traffic had rise up problems of packet transferring. Modern networks also known as "Next Generation Network" had come to solve problems of transferring three basic types of media – voice, video and data streams.

Quality of Service (QoS) technology developed and successfully implemented in all modern softwares with full support in hardwares. QoS used for data stream reservation, network traffic reservation and quick rerouting of packet throughout the network.

In main part of article it is shown voice and video streams requiring delivering packets without delays and repeats. Packets with data can be delivered with delays and repeats in case of transmission faults. Researches had shown what media traffic generates self-like traffic well-known as "fractals". As a result, it is shown memory-effect in NGN. The largest multimedia content in network, the largest correlation between packets in time.

Concept "Quality of service" required to control internet packets. In article it is shown to use Herst value to identify self-like networks. Herst value allow for determining type of QoS.

Keywords: fractal, traffic, Herst value, QoS.

Вступ. В Україні усіма операторами зв'язку проводяться роботи за рішенням концепції NGN (Next Generation Network), тобто створення універсальної мережі зв'язку наступного покоління, що забезпечує надання необмеженого набору послуг з гнучкими налаштуваннями з їх управління, персоналізації, створення нових послуг за рахунок уніфікації мережевих рішень. Концепція і архітектура NGN забезпечує перехід до ІР-стандарту і ріст доходів за рахунок надання нових послуг.

Основна відмінність мереж наступного покоління від традиційних мереж в тому, що уся інформація, циркулююча в мережі, розбита на дві складові. Це сигнальна інформація, що забезпечує комутацію абонентів і надання послуг, і безпосередньо призначені для користувача дані, що містять корисне навантаження, призначене абонентові (голос, відео, дані). Шляхи проходження сигнальних повідомлень і призначеного для користувача навантаження можуть не співпадати. На сьогодні основним пристроєм для голосових послуг в мережах NGN являється Soft-switch (програмний комутатор), який управляє VoIP сесіями. Також важливою функцією програмного комутатора є зв'язок мереж наступного покоління NGN з існуючими традиційними мережами СТОП, за допомогою сигнального і медіа-шлюзів, які можуть бути виконані в одному пристрої.

Проблема переходу від традиційних мереж з комутацією каналів до мереж з комутацією пакетів (NGN) є однією з найбільш актуальних для операторів зв'язку. Перспективні розробки в області ІР-комунікацій пов'язані зі створенням комплексних рішень, що дозволяють під час розвитку мереж наступного покоління зберігати існуючі підключення і забезпечити безперебійну роботу у будь-якій мережі: на інфраструктурі мідних пар, по оптичних каналах, на безпроводній (WiMAX, WiFi) і дротяній (ETTN, PLC і т. д.) мережі.

Основна відмінність NGN-сетей від мереж старого покоління полягає в тому, що ділення між транспортним рівнем і рівнем надання послуг стає швидше логічним, ніж фізичним, тому що NGN-сеть має на увазі легкий і швидкий запуск нових послуг. Саме у цьому і зацікавлені оператори зв'язку – не в побудові транспорту для кожної нової послуги, а в швидкому розгортанні послуг на базі сучасних платформ.

Компонентами мережі NGN є:

- універсальна транспортна мережа, яка включає ІР-ядро мережі і мережі доступу, що використовують різні технології;
- система надання сервісів;
- система обліку абонентів, білінгова система;
- системи управління мережею.

Отже, при цьому усі інформаційні потоки інтегруються в єдину мережу.

Концепція мультисервісності містить декілька аспектів, що відносяться до різних сторін побудови мережі:

- конвергенція завантаження мережі, що визначає передачу різних типів трафіку у рамках єдиного формату представлення даних, яка визначає тенденцію використання мереж з комутацією пакетів для передачі і аудіо- і відеопотоків, і власне цих мереж;

- конвергенція протоколів, що визначає перехід від безлічі існуючих мережевих протоколів до загального (як правило, IP) і при цьому мультисервісні мережі орієнтуються на єдиний протокол і різні сервіси, що вимагаються для підтримки різних типів трафіку;
 - фізична конвергенція, що визначає передачу різних типів трафіку у рамках єдиної мережевої інфраструктури, тобто і мультимедійний, і голосовий трафіки можуть бути передані з використанням одного і того ж устаткування з урахуванням різних вимог до смуги пропускання, затримок і «тремтіння» частоти;
 - конвергенція пристроїв, що визначає тенденцію побудови архітектури мережевих пристроїв, здатної у рамках єдиної системи підтримувати різнотипний трафік. Так, комутатор підтримує комутацію Ethernet-пакетів, IP-маршрутизацію і з'єднання ATM. Облаштування мережі можуть обробляти дані, що передаються відповідно до загального протоколу мережі (наприклад, IP), і різні сервісні вимоги (наприклад, гарантії ширини смуги пропускання, затримку та ін.);
 - конвергенція додатків, що визначає інтеграцію різних функцій у рамках єдиного програмного засобу (наприклад, Web-браузер дозволяє об'єднати у рамках однієї сторінки мультимедіа-дані типу звукового, відеосигналу, графіки високого розділення та ін.);
 - конвергенція технологій виражає прагнення до створення єдиної загальної технологічної бази для побудови мереж зв'язку, здатного задовольнити вимоги і регіональних мереж зв'язку, і локальних обчислювальних мереж;
 - організаційна конвергенція, що припускає централізацію служб мережевих, телекомунікаційних, інформаційних під управлінням менеджерів вищої ланки. Це забезпечує необхідні організаційські передумови для інтеграції голосу, відеосигналу і даних в єдиній мережі.
- Усі перераховані аспекти визначають різні сторони проблеми побудови мультисервісних мереж, здатних передавати трафік різного типу як в периферійній частині мережі, так і в її ядрі.

Постановка проблеми

Мультисервісна мережа передачі даних припускає сучасний підхід до організації зв'язку. Єдина мережа забезпечить роботу прикладних завдань, надання внутрішньовідомчого телефонного зв'язку і відеоконференцзв'язку, середовище для роботи додатків дистанційного навчання службовців, вирішить завдання автоматизації обробки звернень громадян або споживачів послуг. Мережа надасть можливість розділення та ізоляції інформаційних потоків різних відомств, підрозділів установ.

Отже, з кожним роком мережеві застосування вимагають для своєї роботи все більшої смуги пропускання і менших тимчасових затримок і підтримка якості обслуговування (QoS) опорної IP-мережею є важливим завданням.

Перехід до систем пакетної передачі демонструє, що вживані методи розрахунку в традиційній телефонії не підходять для випадку комутації пакетів. Особливу значущість для проектування мовних і відео сервісів мають адекватні моделі трафіку як окремого джерела, так і мультиплексованих потоків.

Останні дослідження показують, що телекомунікаційний трафік для більшості видів сервісів є самоподібним (фрактальним). Пакетизована передача різних видів інформації зажадала перегляду багатьох завдань теорії телетрафіку, пов'язаних з описом потоків і розрахунком навантажень на мережу у зв'язку з проявом властивостей самоподібності в мережевому трафіку. Пачковий характер трафіку створює складні умови функціонування мережевих структур, що знаходяться під його дією. Це викликано тим, що як довжина пачок, так і паузи між ними змінюються в широких межах тимчасових інтервалів.

Сучасний підхід для механізму забезпечення якості обслуговування Quality of Service

Мережі з комутацією пакетів на основі протоколу IP не забезпечують гарантованої пропускнуої спроможності, оскільки не гарантують доставки.

Для додатків, де не важливий порядок і інтервал приходу пакетів, час затримок між окремими пакетами не має вирішального значення. IP-телефонія є однією з областей передачі даних, де важливий порядок приходу пакетів і важлива динаміка передачі сигналу, яка забезпечується сучасними методами кодування і передачі інформації. Транспортні протоколи стека TCP/IP, що функціонують поверх протоколу IP, не забезпечують високої якості обслуговування трафіку, чутливого до затримок.

Протокол TCP, хоч і гарантує достовірну доставку інформації, але переносить її з непередбачуваними затримками. Протокол UDP, який, як правило, використовується для перенесення інформації в реальному часі, забезпечує менший, в порівнянні з протоколом TCP, час затримки, але, як і протокол IP, не містить ніяких механізмів забезпечення якості обслуговування.

В той же час необхідно забезпечити механізми, по яких в періоди перевантаження пакети з інформацією, чутливою до затримок (наприклад, мова), не простоюватимуть в чергах або отримують більш високий пріоритет, ніж пакети з інформацією, не чутливою до затримок. Для цієї мети в мережі мають бути реалізовані механізми, що гарантують потрібну якість обслуговування (Quality of Service – QoS).

Об'єктивними, вимірюваними або даними показниками якості є:

- зміна затримки в мережі;
- пропускну спроможність мережі.

Час відгуку оцінюється за:

- проміжком часу від моменту передачі пакету до моменту прийому підтвердження;
- часом затримки однонапрявленого наскрізного з'єднання, що також називається часом запізнювання (latency);
- пропускну спроможністю.

Готовність і надійність оцінюється за:

- можливістю доставання доступу до ресурсів мережі або коефіцієнта використання;
- результатами контролю рівня обслуговування 24/7 (при режимі роботи 24 години в добу, 7 днів в тиждень).

Заходи забезпечення QoS, вживані в IP-мережах:

1. Резервування ресурсів (на час з'єднання просяться і резервуються необхідні для виконання додатка ресурси).

2. Пріоритезація трафіку (розділення трафіку в мережі на класи з пріоритетним порядком обслуговування деяких з них).

3. Перемаршрутизація (дозволяє при перевантаженні в мережі перекласти трафік на резервний маршрут; саме цим способом забезпечується QoS в переважній більшості контролерів SBC).

В сучасних IP-мережах перераховані заходи реалізуються за допомогою технологій IntServ, DiffServ і MPLS з використанням протоколу RSVP.

Основний розділ

Трафік реального часу в IP-мережах

Як правило, велику частину VoIP-трафіку складають потоки інформації, чутливої до затримок. Максимальна затримка не повинна перевищувати 250 мс, причому сюди входить і час обробки інформації на кінцевій станції. Варіацію затримки (джиттер) також необхідно звести до мінімуму. Крім того, необхідно враховувати, що при стискуванні інформація стає чутливішою до помилок, що виникають при передачі, і їх не можна виправляти шляхом повторного запиту саме через необхідність передачі в реальному часі.

Загальна затримка мовної інформації ділиться на дві основні частини – затримка при кодуванні і декодуванні мови в шлюзах або термінальному устаткуванні користувачів і затримка, що вноситься самою мережею. Зменшити загальну затримку можна двома шляхами: по-перше, спроектувати інфраструктуру мережі так, щоб затримка в ній була мінімальною, і, по-друге, зменшити час обробки мовної інформації шлюзом.

Для зменшення затримки в мережі треба скорочувати кількість транзитних маршрутизаторів і сполучати їх між собою високошвидкісними каналами. А для згладжування варіації затримки можна використати такі ефективні методи, як, наприклад, механізми резервування мережевих ресурсів.

Одним із способів уникнути того, щоб мова і інша інформація, що вимагає передачі в режимі реального часу, не простоювала в чергах нарівні із статичною інформацією (звичайні, не голосові дані), є виділення і сортування пакетів, що містять голосову інформацію – Diff - Serv

Опція DiffServ дозволяє класифікувати пакети з трафіку, що йде в локальну мережу. Робота DiffServ ґрунтується на ідентифікаторі DSCP, що є перші 6 біт поля TOS. DSCP визначає, як перенаправлятимуться пакети в DiffServ-мережі (PHB, Per - hop Behavior). Змінюючи значення цього ідентифікатора, різні види трафіку можна розподілити за пріоритетами в черзі.

Модель DiffServ описує архітектуру мережі як сукупність пограничних ділянок і ядра. Приклад мережі згідно з моделлю Diff - Serv наведений на рис. 1.

Достоїнства моделі Diff - Serv:

- забезпечує єдине розуміння того, як повинен оброблятися трафік певного класу;
- дозволяє розділити увесь трафік на відносно невелике число класів і не аналізувати кожен інформаційний потік окремо;

- немає необхідності в організації попереднього з'єднання і в резервуванні ресурсів;
- не потрібно високої продуктивності мережевого устаткування.

До теперішнього часу для Diff - Serv визначено два класи трафіку :

- клас термінової пересилки пакетів (Expedited Forwarding PHB Group);
- клас гарантованої пересилки пакетів (Assured Forwarding PHB Group).

Механізм забезпечення QoS на рівні мережевого пристрою, вживаний в Diff - Serv, включає наступні операції. Спочатку пакети класифікуються на підставі їх заголовків. Потім вони маркуються відповідно до зробленої класифікації (у полі пріоритету Diff - Serv залежно від маркіровки вибирається алгоритм передачі, за необхідності – з вибірковою видалянню пакетів), що дозволяє уникнути затворів в мережі. Завершальна операція найчастіше полягає в організації черг з урахуванням пріоритетів.

Трафік обчислювальних мереж має яскраво виражений асинхронний і пульсуючий характер. Комп'ютер посилає пакети в мережу у випадкові моменти часу, у міру виникнення в цьому необхідності. При цьому інтенсивність посилки пакетів в мережу і їх розмір можуть змінюватися в широких межах –



Рис. 1. Модель Diff - Serv

наприклад, коефіцієнт пульсації трафіку (стосунки максимальної миттєвої інтенсивності трафіку до його середньої інтенсивності) протоколів без встановлення з'єднань може доходити до 200, а протоколів зі встановленням з'єднань – до 20. Чутливість комп'ютерного трафіку до втрат даних висока, оскільки без втрачених даних обійтися не можна і їх необхідно відновити за рахунок повторної передачі [6, 7, 8, 11].

Пакети поступають в мережу без попереднього резервування ліній зв'язку і не з фіксованою наперед заданою швидкістю, як це робиться в мережах з комутацією каналів, а в тому темпі, в якому їх генерує джерело. Передбачається, що мережа з комутацією пакетів на відміну від мережі з комутацією каналів завжди готова прийняти пакет вхід кінцевого вузла.

Процедура резервування пропускної спроможності може застосовуватися і в пакетних мережах. Проте основна ідея такого резервування принципово відрізняється від ідеї резервування пропускної спроможності в мережах з комутацією каналів. Різниця полягає в тому, що пропускна спроможність каналу мережі з комутацією пакетів може динамічно перерозподілятися між інформаційними потоками залежно від поточних потреб кожного потоку, чого не може забезпечити техніка комутації каналів.

Сервісні моделі QoS:

- Best Effort Service – негарантована доставка. Абсолютна відсутність механізмів QoS. Використовуються усі доступні ресурси мережі без якого-небудь виділення окремих класів трафіку і регулювання. Вважається, що кращим механізмом забезпечення QoS є збільшення пропускної спроможності, проте деякі види трафіку (наприклад, голосовий) дуже чутливі до затримок пакетів і варіації швидкості їх проходження. Модель Best Effort Service навіть за наявності великих резервів допускає виникнення перевантажень у разі різких сплесків трафіку [24].

- Integrated Service (IntServ) – модель інтегрованого обслуговування забезпечує наскрізну (End – to – End) якість обслуговування, гарантуючи необхідну пропускну спроможність. Може забезпечити наскрізну (End – to – End) якість обслуговування, гарантуючи необхідну пропускну спроможність. IntServ використовує для своїх цілей протокол сигналізації RSVP, який забезпечує виконання вимог до усіх проміжних вузлів. Дозволяє додаткам виражати наскрізні вимоги до ресурсів і містить механізми забезпечення цих вимог. IntServ можна коротко охарактеризувати як резервування ресурсів (Resource reservation). При цьому маршрутизатори повинні зберігати інформацію про потоки і аналізувати кожен пакет, визначити чи належить він до конкретним потоком з тим, щоб направити пакет відповідно до критеріїв потоку.

- Differentiated Service – модель диференційованого обслуговування забезпечує QoS на основі розподілу ресурсів в ядрі мережі і певних класифікаторів і обмежень на межі мережі, комбінованих з метою надання необхідних послуг. У цій моделі вводиться розділення трафіку за класами, для кожного з яких визначається свій рівень QoS. DiffServ складається з управління формуванням трафіку (класифікація пакетів, маркіровка, управління інтенсивністю) і управління політикою (розподіл ресурсів, політика відкидання пакетів). DiffServ є найбільш відповідним прикладом «розумного» управління пріоритетом трафіку.

Обслуговуваний трафік X повинен розглядатися як сума декількох компонент :

$$X = \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n (\lambda_i t + \sqrt{a_i \lambda_i} Z_i^{(i)}) = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right) t + \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i \lambda_i} Z_i^{(i)}, \quad (1)$$

де X_i – деякий стандартний процес, i , що описує i -у компоненту трафіку, і процеси X_i статистично незалежні;

$Z_i^{(i)}$ – фрактальний броунівський рух зі значенням параметра Херста H_i .

Отже, трафік, що поступає, складається з суміші декількох процесів з різними значеннями параметра Херста і має складну природу і важко досліджувати його властивості. Тому найбільш важливим є з'ясувати, наскільки істотно залежать його властивості від значень параметра Херста його компонент. З ростом параметра Херста такі статистичні властивості процесу як передбачуваність, розмах значень і тому подібне лише погіршуються. Точне визначення значення параметра Херста ускладнене у тому випадку, коли є лише одна компонента. Тому визначити статистичними засобами усі параметри, що характеризують сумарний потік є неможливою, особливо якщо інтенсивності окремих компонент є відносно малими.

Висновки

Самоподібний трафік має особливу структуру, що зберігається при багатократному масштабуванні, тобто в реалізації є присутньою деяка кількість викидів при відносно невеликому середньому рівні трафіку.

Самоподібні процеси можна виявити за декількома рівноцінними ознаками [9]:

1) Вони мають гіперболічно затухаючу кореляційну функцію виду $R(k) \approx k^{(2H-2)} L(t)$ при $k \rightarrow \infty$.

Отже, кореляційна функція є не підсумовуваною і ряд, утворений послідовними значеннями кореляційної функції, розходиться $\sum_k R(k) = \infty$. Ця нескінченна сума є ще одним визначенням довготривалої залежності

(ДВЗ), тому усі самоподібні процеси є довготривало залежними. Наслідки цього істотні, оскільки кумулятивний ефект в широкому діапазоні затримок може значно відрізнятися від того, який спостерігається в короткочасній залежності (КВЗ) процесу (наприклад, пуассонівський). Аналіз телетрафіку базується на КВЗ, для яких ДВЗ можуть викликати серйозні наслідки. ДВЗ є причиною тривалих пульсацій, які перевищують середній рівень трафіку і це може призвести переповнюванню буферів і викликати втрати, затримки; дисперсія вибіркового середнього затухає повільніше, ніж величина зворотна розміру вибірки. Якщо

ввести в розгляд нову тимчасову послідовність $\{X_i^{(m)}; i = 1, 2, \dots\}$, отриману шляхом усереднювання первинної послідовності $\{X_i; i = 1, 2, \dots\}$ по послідовних блоках розміру m , що не перетинаються, тоді для самоподібних процесів характерне повільніше зменшення дисперсії згідно із законом $\sigma^2(X^{(m)}) \propto m^{2H-2}$ при $m \rightarrow \infty$, тоді як для теорії телетрафіку $\sigma^2(\{X_i^{(m)}; i = 1, 2, \dots\}) = \sigma^2 m^{-1}$, тобто зменшується обернено пропорційно до об'єму вибірки. Це говорить про те, що статистичні характеристики вибірки (середнє значення і дисперсія) сходяться особливо при H до 1. Це виражається на усіх заходах самоподібних процесів.

2) При розгляді самоподібного процесу в частотній області, прояв ДВЗ призводить до статичного характеру спектральної щільності поблизу нуля. А процеси КВЗ характеризуються спектральною щільністю, що має позитивне і кінцеве значення при $w=0$.

Неформально самоподібний (фрактальний) процес можна визначити як випадковий, статистичні характеристики якого проявляють властивості масштабування. Самоподібний процес істотно не змінює виду під час розгляду в різних масштабах за шкалою часу. Зокрема, на відміну від процесів, що не мають фрактальних властивостей, не відбувається його строго згладжування при усереднюванні за шкалою часу – процес зберігає схильність до сплесків [10, 11].

Література

1. Городецкий А.Я. Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях : учеб. пособие / Городецкий А.Я., Заборовский В.С. – СПб : Изд-во СПбГТУ, 2000. – 102 с.
2. Хастингс Н. Справочник по статистическим распределениям / Хастингс Н., Пикок Дж. – М. : Статистика, 1980. – 95 с.
3. Шелухин О.И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях / Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. – М. : Радиотехника, 2003. – 480 с.
4. Збаравський В.В. Реалізація концепції Triple play в мережі ADSL / В.В. Збаравський, К.Л. Горященко, Л.О. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 2. – С. 266–270.
5. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Бертсекас Д., Галлагер Р. ; пер. с англ. – М. : Мир. 1989. – 544 с.
6. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / Крылов В.В. Самохвалов С.С. – СПб : БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
7. Лившиц Б.С. Теория телетрафика : учебник для вузов / Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. – 2-е изд. – М. : Связь, 1979. – 224 с.
8. Бестугин А.Р. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей / Бестугин А.Р., Богданова А.Ф., Стогов Г.В. – СПб : Политехника, 2003. – 174 с. : ил.
9. Данилов А.Н. Анализ методов оценки параметров трафика мультисервисной сети доступа / А.Н. Данилов, С.Т. Кайюмов // Т-Comm Телекоммуникации и транспорт. – 2011. – № 3. – С. 38–39.
10. Власов А.И. Methods for predictive forecasting broadband networks [Електронний ресурс] / Власов А.И. / МГТУ. – Режим доступу : <http://swsys.ru>.
11. Треногин Н.Г. Фрактальные свойства сетевого трафика в клиент-серверной информационной системе / Н.Г. Треногин, Д.Е. Соколов // Вестник СУВПТ. – С. 163–172.
12. Горященко К.Л. Законодавча база застосування технологій керування телекомунікаційними мережами / К.Л. Горященко, І.В. Гула // Вісник ХНУ. – 2017. – № 4. – С. 256–262.

References

1. Gorodetskii A.Ia. Informatika. Fraktalnye protsessy v kompiuternykh setiakh : ucheb. posobie / Gorodetskii A.Ia., Zaborovskii V.S. – SPb : Izd-vo SPbGTU, 2000. – 102 s.
2. Khastings N. Spravochnik po statisticheskim raspredeleniiam / Khastings N., Pikok Dzh. – M. : Statistika, 1980. – 95 s.
3. Shelukhin O.I. Fraktalnye protsessy v telekommunikatsiakh / Shelukhin O.I., Teniakshhev A.M., Osin A.V. – M. : Radiotekhnika, 2003. – 480 s.
4. Zbaravskiy V.V. Realizatsiia kontseptsii Triple play v merezhi ADSL / V.V. Zbaravskiy, K.L. Horiashchenko, L.O. Kovtun // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2012. – № 2. – S. 266–270.
5. Bertsekas D. Seti peredachi dannykh / Bertsekas D., Gallager R. ; per. s angl. – M. : Mir. 1989. – 544 s.
6. Krylov V.V. Teoriia teletrafika i ee prilozheniia / Krylov V.V. Samokhvalov S.S. – SPb : BKhV-Peterburg, 2005. – 288 s.
7. Livshits B.S. Teoriia teletrafika : uchebnik dlia vuzov / Livshits B.S., Pshenichnikov A.P., Kharkevich A.D. – 2-e izd. – M. : Sviaz, 1979. – 224 s.
8. Bestugin A.R. Kontrol i diagnostirovanie telekommunikatsionnykh setei / Bestugin A.R., Bogdanova A.F., Stogov G.V. – SPb : Politekhnikha, 2003. – 174 s. : il.
9. Danilov A.N. Analiz metodov otcenki parametrov trafika multiservisnoi seti dostupa / A.N. Danilov, S.T. Kaiiumov // T-Comm Telekommunikatsii i transport. – 2011. – № 3. – S. 38–39.
10. Vlasov A.Y. Methods for predictive forecasting broadband networks [Elektronnyi resurs] / Vlasov A.Y. / MHTU. – Rezhym dostupu : <http://swsys.ru>.
11. Trenogin N.G. Fraktalnye svoistva setevogo trafika v klient-servernoi informatsionnoi sisteme / N.G. Trenogin, D.E. Sokolov // Vestnik SUVPT. – S. 163–172.
12. Horiashchenko K.L. Zakonodavcha baza zastosuvannia tekhnolohii keruvannia telekomunikatsiiny my merazhamy / K.L. Horiashchenko, I.V. Hula // Visnyk KhNU. – 2017. – № 4. – S. 256–262.

Рецензія/Peer review : 9.10.2018 р.

Надрукована/Printed : 11.11.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Підченко С.К.