

ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК GPRS-ТРАФІКУ

Експериментально підтверджена самоподібна природа GPRS-трафіку для української GSM-мережі. Проведений статистичний аналіз отриманих експериментальних даних з метою виявлення властивостей самоподібних процесів. Для оцінки ступеню самоподібності був розрахований коефіцієнт Херста, рівний приблизно 0,7.

Кравчук С.О., Слободенюк О.Д., Пистряк В.В. Измерение и анализ характеристик GPRS-трафика. Экспериментально подтверждена самоподобная природа GPRS-трафика для украинской коммерческой GSM-сети. Проведенный статистический анализ полученных экспериментальных данных с целью выявления свойств самоподобных процессов. Для оценки степени самосходства был рассчитан коэффициент Херста, равный приблизительно 0,7.

S. Kravchuk, O. Slobodenuk, V. Pistrak Measurement and analysis of GPRS-traffic characteristics. The self-similar nature of the GPRS-traffic for the Ukrainian commercial GSM-network is experimentally confirmed. The carried out statistical analysis of the received experimental data for the purpose of revealing of properties of self-similar processes. For an estimation of degree of self-similarity Hurst's equal approximately 0,7 the factor has been calculated

Ключові слова: GPRS-трафік, самоподібний процес, коефіцієнт Херста.

За останні роки значного поширення набули два напрями розвитку в сфері телекомунікацій: мережа Інтернет та стільниковий мобільний радіозв'язок. Кількість хостів в Інтернеті збільшується щодня разом із зростанням самих користувачів мережі Інтернет. Паралельно збільшується і кількість абонентів стільникових безпроводових систем зв'язку. На даний час ці два напрямки об'єднані в діючій технології пакетної передачі даних GPRS (General Packet Radio Service) як надбудови в мережах стільникового радіозв'язку [1]. Основною метою GPRS є забезпечення послуг безперервного доступу абонентів стільникового мобільного радіозв'язку до мережі Інтернет. Ефективність обслуговування доступу до пакетної мережі визначається двома основними показниками – висока пропускна здатність та невелика затримка. Для повного використання потенціалу мережі мобільного доступу та її успішного функціонування необхідно забезпечити оптимальний взаємозв'язок між якістю обслуговування QoS, використаними ресурсами мережі та характеристиками трафіку в мережі.

Завдяки простоті та високій збіжності для прогнозування поведінки трафіку мереж з комутацією пакетів раніше використовувались класичні Марківські моделі з розподілом Пуасона, які свого часу були розроблені для мереж з комутацією каналів. Але це призвело до недооцінки вимог до каналу зв'язку та розмірів буферів в пакетній системі, що є наслідком складної фрактальної (самоподібної) природи трафіку в сучасних мережах з комутацією пакетів [2]. Фрактальний тип трафіку, як правило, встановлює більш високі вимоги до технічних характеристик мережі, зокрема місткості буферів, в порівнянні з вимогами до трафіку з розподілом Пуасона. Не виконання таких вимоги призводить до значного зростання затримок та втрат пакетів. Тому на даний час приділяється значна увага дослідженням фрактальних властивостей трафіку в сучасних мережах з пакетною комутацією [2 – 5]. Основна увага таких досліджень була зосереджена на проводових мережах передачі даних. В той же час фрактальна теорія трафіку для безпроводових та гібридних мереж все ще не достатньо досліджена. В [2, 6] проводилось дослідження структури GPRS-трафіку на рівні різних протоколів передачі даних та в залежності від застосувань, що використовуються користувачем. В [7] експериментально досліджувались характеристики GPRS трафіку комерційної європейської мережі мобільного зв'язку. Результати вимірювань та досліджень самоподібності трафіку в українських GPRS/GSM мережах авторам невідомі. Тому метою даної роботи є вимірювання та аналіз самоподібних властивостей GPRS-трафіку національної мережі мобільного зв'язку на базі стандарту GSM.

Результати досліджень дозволять розробникам враховувати особливості національного трафіку при розробці алгоритмів обробки самоподібного трафіку для забезпечення високого рівню якості обслуговування.

В роботі приводиться дослідження реального GPRS-трафіку однієї з національних GSM мереж України та його статистичний аналіз щодо відповідності моделі самоподібного трафіку. Експериментальні дані отримані шляхом проведення вимірювань в GPRS-мережі по інтерфейсу Gi (рис. 1).

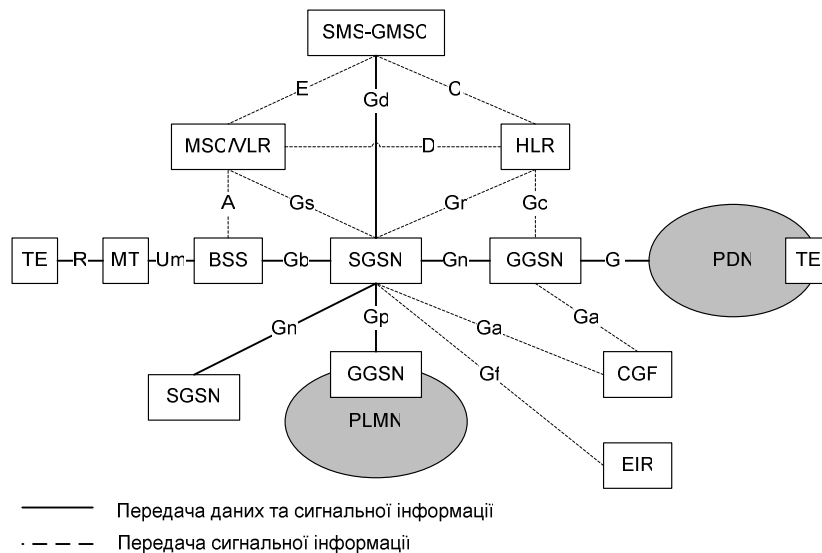


Рис 1. Стандартна архітектура GPRS мережі

Звичайна мережа GSM не має достатнього набору функціональних можливостей, щоб реалізувати послуги пакетної передачі даних. GPRS забезпечує пакетну передачу даних через мережу стандарту GSM, зокрема, надає послугу IP-маршрутизації. IP пакети передаються від мобільного терміналу в Інтернет через GPRS мережу, при цьому немає потреби у використанні протоколу канального рівня PPP (Point-to-Point Protocol). Принцип комутації пакетів використовується на всіх ділянках GPRS мережі. Детальний опис елементів GPRS/GSM мережі наведений в [1, 6].

Постановка експериментальних вимірювань. Для аналізу характеристики GPRS-трафіку були проведені натурні часові вимірювання по інтерфейсу Gi. Для цього був використаний аналізатор, виконаний на базі персонального комп'ютеру (ПК) з 4-ядерним процесором, 8 ГБ оперативної пам'яті, 1 Тбайт об'єму жорсткого диску. ПК за допомогою Ethernet кабелю був підключений паралельно Gi інтерфейсу мережі, а саме по інтерфейсу RJ-45, до вільного порту комутатора мережі, встановленого між GGSN та Border Gate (приграничний з PDN (Public data network) маршрутизатор). При цьому обраний порт конфігурувався як SPAN-порт, тобто відбувалось дзеркальне відображення даних, що проходили через нього. На канальному рівні передача даних відбувалась за протоколом Gigabit Ethernet. Обрана конфігурація ПК обумовлена необхідністю обробки в реальному часі великих об'ємів даних, які, відповідно, потребують значних обчислювальних потужностей, щоб не було втрат пакетів під час моніторингу. Крім того на ПК встановлене спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ), яке дозволяє аналізувати Ethernet інтерфейси та фіксувати трафік, що надходить до них. В даному експерименті було використано ПЗ Wireshark, налаштоване фіксувати Ethernet-фрейми в напрямку Uplink/Downlink в 1 один порт кожні 10 мкс.

Збір фіксованих даних трафіку проводився впродовж 24 годин. Вимірювання мало місце з 10.01.2012 р. (15:00:00) по 11.01.2012 р. (14:59:59). Надалі за допомогою математичного пакету Matlab отримані дані оброблялись для аналізу структури трафіку та його фрактальних властивостей.

Аналіз отриманих даних. Для дослідження мережі був проведений кількісний аналіз характеристик трафіку, який був отриманий впродовж 24 годин. Трафік аналізувався без розподілу на Uplink/Downlink. В результаті процесу агрегування були отримані часові ряди з рівнем агрегації 1 с; 10 с; 100 с. Процедура агрегування полягала в розподілі всього часового інтервалу на однакові проміжки часу, кожному з яких ставилося у відповідність відношення кількості інформації (байт), що пройшла за цей період, до його тривалості (с):

$$Y_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=(k-1)m+1}^{k \cdot m} Y_i \quad (1)$$

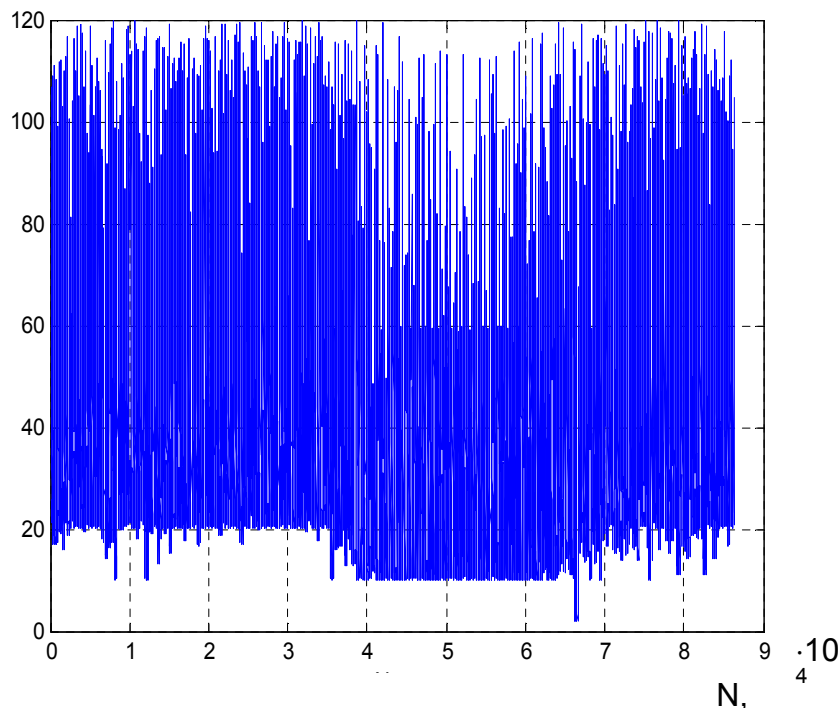
де Y_i – номер відліку в отриманій реалізації трафіку; m – довжина інтервалу часу (рівень) агрегування; k – номер інтервалу.

На рис. 2–4 наведені графіки отриманих агрегованих реалізацій трафіку. З наведених графіків видно, що процес, який аналізується, є доволі нерівномірним, та відповідає багатьом ознакам самоподібних процесів – спостерігається масштабна інваріантність, наявність сплесків, математичне очікування залишається незмінним та приблизно в чотири рази меншим, ніж максимальні значення. В табл. 1–3 наводяться статистичні дані отриманих реалізацій. Загальний об’єм отриманих даних становив 6365953,825 Мбайт.

Таблиця 1

Статистичні дані реалізації трафіку, агрегованого за рівнем 1 с

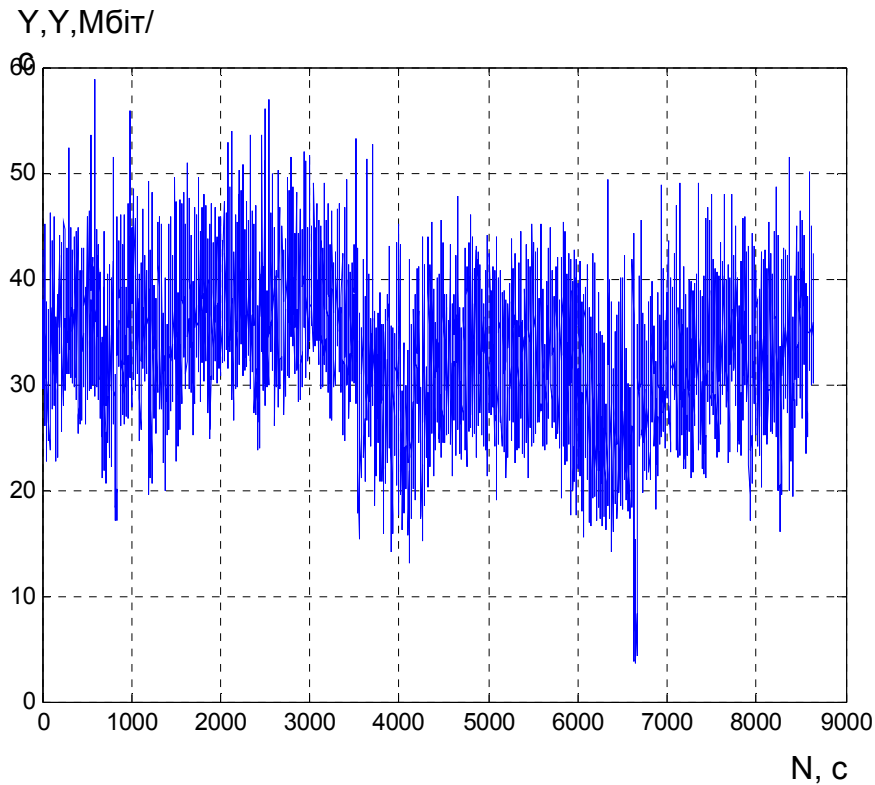
Довжина реалізації, N	86400 відліків з інтервалом 1 с
Максимальне значення, Y	119,9 Мбайт/с
Середньоквадратичне відхилення (СКВ)	14,36 Мбайт/с
Математичне очікування (МО)	32,55 Мбайт/с

Рис 2. Реалізація трафіку, агрегованого за рівнем m

Таблиця 2

Статистичні дані реалізації трафіку, агрегованого за рівнем 10 с

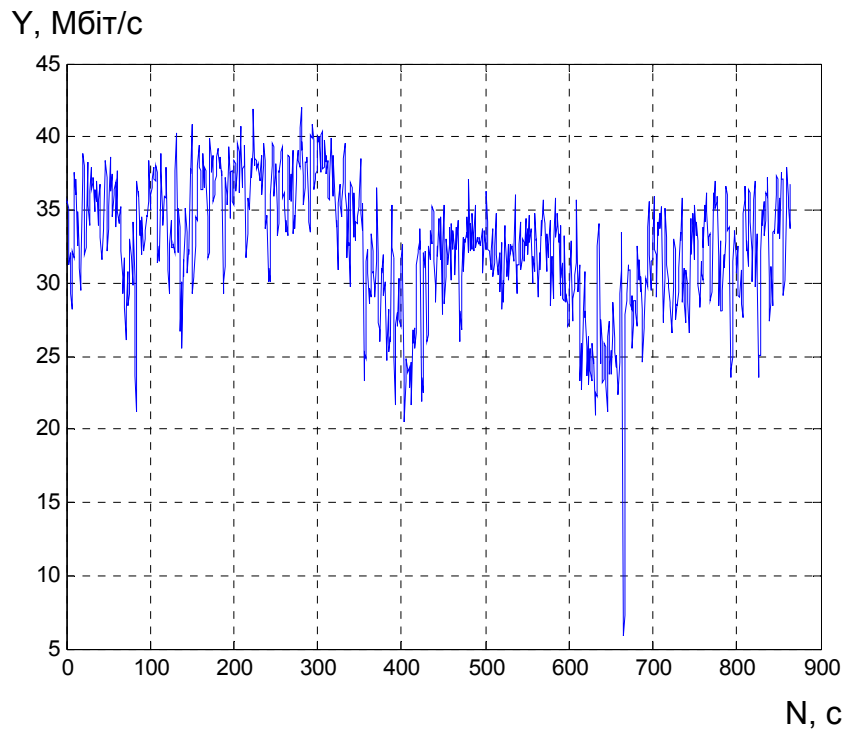
Довжина реалізації, N	8640 відліків з інтервалом 10 с
Максимальне значення, Y	58,87 Мбайт/с
Середньоквадратичне відхилення (СКВ)	6,08 Мбайт/с
Математичне очікування (МО)	32,55 Мбайт/с

Рис. 3. Реалізація трафіку, агрегованого за рівнем $m = 10$ с

Таблиця 3

Статистичні дані реалізації трафіку, агрегованого за рівнем 100 с

Довжина реалізації, N	864 відліків з інтервалом 100 с
Максимальне значення, Y	42,06 Мбайт/с
Середньоквадратичне відхилення (СКВ)	2,36 Мбайт/с
Математичне очікування (МО)	32,55 Мбайт/с

Рис. 4. Реалізація трафіку, агрегованого за рівнем $m = 100$ с

Для подальшого аналізу була побудована гістограма реалізації з рівнем агрегації 1 с, яку було перевірено на відповідність законам розподілу з „важкими хвостами”, наприклад розподілу Вейбула або Парето (рис. 5).

Для оцінки параметрів реалізації використовувався метод максимальної правдоподібності з 95% довірчим інтервалом. Перевірка гіпотези щодо належності реалізації до розподілу Вейбула, яка виконувалась за допомогою критерію Колмогорова-Смірнова показала, що висунута гіпотеза вірна.

Наступним етапом був розрахунок функції спектральної щільності для ряду з рівнем агрегації 100 с (вибір ряду обумовлений мінімальною помилкою, яка вноситься в процесі агрегації реалізації за таким рівнем).

Саме такий аналіз може наглядно підтвердити наявність самоподібних властивостей. Адже в частотній області притаманна самоподібним процесам повільно спадна залежність (ПСЗ) виражається в характерному степеневому законі поведінки спектральної щільності процесу, що аналізується.

$$f(\lambda) \sim \lambda^{\beta-1} L_2(\lambda), \lambda \rightarrow 0, 0 < \beta < 1 \quad (2)$$

де L_2 – повільно змінна в нулі функція, $f(\lambda) = \sum_k r(k) e^{ik\lambda}$ – спектральна щільність, λ – частота, β – показник ступеню степеневі функції, $r(k)$ – автокореляційна функція.

Таким чином, з точки зору спектрального аналізу процес з ПСЗ (2) має спектральну щільність $f(\lambda)$, яка наближається до нескінченності по мірі того як частота λ наближається до нуля (рис. 6). Такий процес часто називають „1/f-шум” або „флікер-шум”.

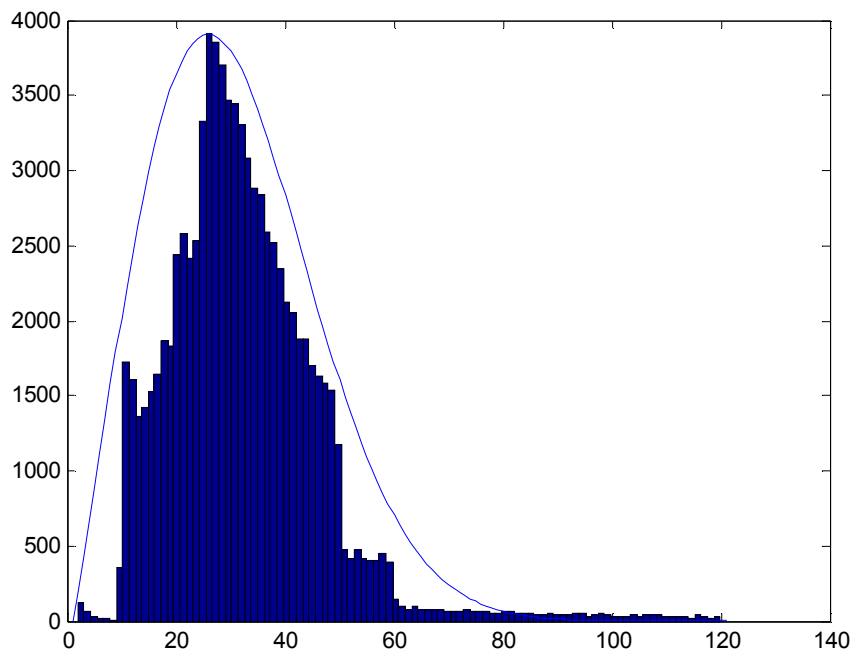


Рис. 5. Гістограма ряду, агрегованого за рівнем 1 с, функція щільності розподілу Вейбула

Нарешті, для остаточної оцінки самоподібних властивостей трафіку був розрахований коефіцієнт Херста H за допомогою 7 методів, які використовуються в програмі Selfis v0.1b [7]. В таблиці 4 наведені результати вимірювання коефіцієнта Херста H для GSM мережі, що вивчається, а також для GSM мережі зарубіжного оператора зв'язку [8] та для проводової мережі передачі даних 1 Гбіт/с [9].

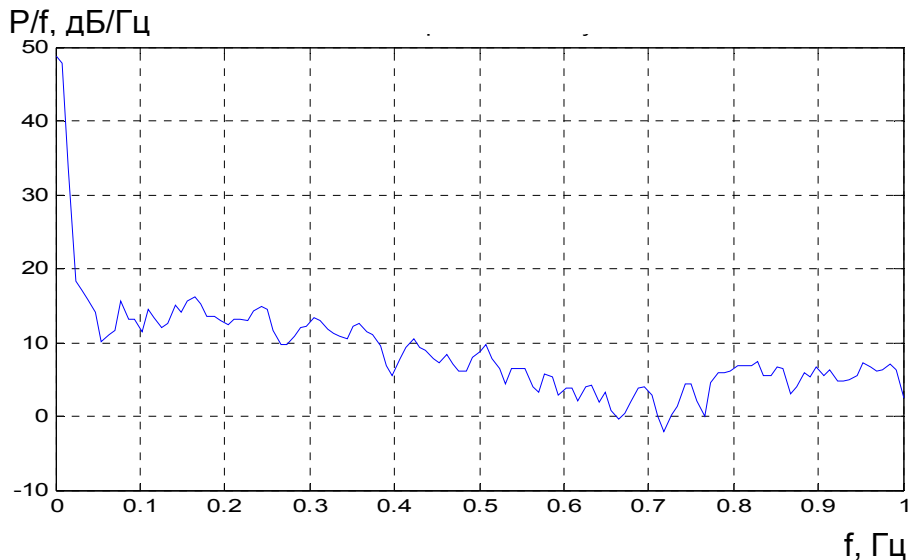


Рис. 6. Залежність спектральної щільності від частоти

Таблиця 4

Значення коефіцієнту Херста для ряду методів

Мережа	Коефіцієнт Херста для наступних методів							Середнє значення
	Аналіз дисперсії	R/S-метод	Метод періодограм	Метод абсолютних моментів	Аналіз зміни дисперсії	Метод оцінки Ебрі-Вейча	Оцінка Вітла	
Національна безпроводова мережа	0,875	0,701	0,599	0,782	0,89	0,567	0,583	0,714
зарубіжна безпроводова мережа	-	-	-	-	-	0,69	-	0,69
проводова мережа	-	0,851	0,870	0,860	0,878	-	-	0,865

Отже, бачимо, що розраховані за допомогою різних тестів значення показнику Херста відрізняються між собою, що обумовлено чутливістю методів до значень статистичних вибірок та недостатнім за часом розміром досліджуваної реалізації.

Проте всі значення параметру $H > 0.5$, і це дозволяє зробити висновок, що процес, який спостерігається, є самоподібним. Крім того, бачимо, що значення параметру Херста майже співпадає для національної і зарубіжної GSM мережі, та є трохи меншим, ніж в проводових мережах передачі даних.

Це підтверджує, що наявність самоподібних властивостей трафіку в мережі залежить лише від телекомунікаційних технологій та протоколів, що використовуються в мережі, а не від середи передачі або інших факторів.

Висновки. Експериментально підтверджена самоподібна природа GPRS-трафіку для української комерційної GSM-мережі.

Проведений статистичний аналіз отриманих експериментальних даних з метою виявлення властивостей самоподібних процесів. Для оцінки ступеню самоподібності був розрахований коефіцієнт Херста, рівний приблизно 0,7.

Подальшим напрямком досліджень планується оцінка впливу самоподібного трафіку на якість обслуговування в мережах GSM, зокрема на розмір затримки, час обслуговування та ймовірність втрати пакетів при передачі даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2008. – 328 с.
2. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения / О.И. Шелухин, А.В. Осин, С.М. Смольский. – М. : Физматлит, 2008. – 368 с.
3. Петров В.В., Богатырев Е.А. Статистический анализ сетевого трафика // Тез. десятой междунар. научно-техн. конф. „Радиоэлектроника, электротехника и энергетика”, 2-3 марта 2004 г., Москва. – М: Издательство МЭИ, 2004. – Т. 1. – С. 66 –75.
4. On the self-similar nature of ethernet traffic / W.E. Leland, M.S. Taqqu, W. Willinger, D.V. Wilson // IEEE/ACM Transactions of Networking. – 1994. – № 2(1). – P.1 – 15.
5. Цыбаков Б.С. Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса // Радиотехника. – 1999. – № 5. – С. 24 – 31.
6. Шелухин О.И. Мультифракталы. Инфокоммуникационные приложения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 576 с.
7. Thomas Karagiannis. Selfis v0.1b – програма для аналізу параметра Херста [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cs.ucr.edu/~tkarag/Selfis/Selfis.html>.
8. R.A. Kalden. Mobile Internet Traffic Measurement and Modeling Based on Data From Commercial GPRS Networks: dissertation to obtain the doctor's degree / Roger August Kalden; University of Twente. – Enschede, Netherlands, 2004. – 200 p. – Режим доступу: http://doc.utwente.nl/48238/1/thesis_kalden.pdf.
9. Крюков Ю.А. Метод сбора данных о текущих характеристиках в высокоскоростных каналах пакетной передачи данных // Системный анализ в науке и образовании. – 2009. – № 3. – С. 14–24.