

## ДОСЛІДЖЕННЯ ІМОВІРНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАФІКУ КОРПОРАТИВНОЇ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ

© Романчук В.І., Лаврів О.А., Червенець В.В., Бак Р.І., 2011

**Проаналізовано трафік мультисервісної корпоративної мережі та досліджено його імовірно-статистичні властивості.**

**Ключові слова: трафік, мультисервісна мережа.**

**This paper has proposed an analysis of multimedia corporate network traffic. Its statistic and probabilistic properties had been researched.**

**Key words: traffic, multimedia network.**

### Вступ

Сьогодні у розвитку телекомунікаційних мереж відбувається перехід до мультисервісного обслуговування, що істотно зміщує акценти у архітектурі наявних корпоративних мереж великих організацій. Такі мережі рівня організацій активно впроваджувались на початку ХХІ ст. та орієнтувались, в основному, на передавання корпоративного трафіку як всередині організації, так і назовні, хоча використання зовнішніх каналів обмежувалось високою вартістю трафіку, а, отже, – і низькою їх пропускнуою здатністю. Корпоративний трафік початку століття – це, здебільшого, перенесення послуги передавання та обміну даними. Такий сервіс не вимагає істотного контролю за параметрами якості обслуговування. Необхідним є лише забезпечення низької імовірності втрат інформації в каналі передавання, а також вибір достатньо продуктивних пристроїв обслуговування. Якщо трафік у мережі майже однорідний, то не виникає потреби у залученні додаткових механізмів, що опирались би на властивості та структуру послуг під час визначення способу обслуговування певної інформації.

Окремим питанням є і використання протоколів транспортного рівня. Для цілей мережі передавання даних є важливим гарантоване доручення даних до кінцевого отримувача, отже, виникає необхідність у встановленні наскрізного двостороннього з'єднання з метою підтвердження коректності отриманої інформації. Найпопулярнішим для такого застосування виявився протокол TCP (Transmission Control Protocol). Він успішно функціонує для завдань надійного доручення даних і сьогодні. Однак при всіх видимих перевагах такого протоколу, він не універсальний, а лише вирішує проблему для конкретного типу обслуговування.

Для того, щоб здійснювати передавання інформації потокового характеру, виникає завдання максимізації мережевого ресурсу (як каналного, так і логічного) для конкретного фрагменту даних у конкретний момент часу. Це пояснюється неможливістю повторного отримання помилкового фрагменту інформації, оскільки вона є актуальною лише у призначений для неї інтервал часу. Тому переваги протоколу гарантованого доручення у такому разі стають принциповими недоліками. Логічно припустити, що механізми підтримання гарантованої якості обслуговування повинні бути переміщені з транспортного рівня (коли термінали самі відслідковують наявність помилок, а мережа лише забезпечує сервіс їх виправлення) на рівень мережевої взаємодії. За такого підходу транспортний протокол відповідає лише за наскрізне доручення по мережі до отримувача, але не може гарантувати безпомилковість отриманої інформації. Тому постає завдання забезпечити керування мережевим ресурсом для реалізації диференційного обслуговування різнотипного трафіку.

Ситуація, коли у структурі трафіку останнім часом спостерігається значне тяжіння до використання інтерактивних сервісів та активізації потокових трансляцій у мережі, розрахованій на передавання даних, змушує шукати “слабкі” місця у її структурі та виконувати завдання оптимального вибору ресурсів пристроїв обслуговування для досягнення очікуваної якості обслуговування.

Для того, щоб підійти до методики виконання такого завдання, необхідно дослідити часові та імовірнісні параметри і характеристики реального трафіку корпоративної мережі великої організації, яка з моменту свого впровадження орієнтована на послугу передавання даних, однак із врахуванням зростання потреб користувачів, вимушена обслуговувати мультисервісний трафік.

Запропоновано спосіб статистичного аналізу властивостей трафіку мультисервісної корпоративної мережі та підтвердження гіпотези про його самоподібність.

### **Самоподібність трафіку мультисервісної мережі та її вплив на прогнозування параметрів пристроїв обслуговування**

У теорії аналізу телекомунікаційних мереж достатньо тривалий період загальноприйнятою була концепція, що будь-який пристрій обслуговування можна описувати засобами систем масового обслуговування та теорії телетрафіку. З деякими засадами згаданого підходу можна погодитись і сьогодні, однак все частіше виникають ситуації, коли розраховані таким способом мережі в певні моменти входять у режим перевантаження і перебувають у такому стані доволі тривалий період часу, що призводить до значних втрат провайдера послуг.

Проведений аналіз показав, що так відбувається через невідповідність обраних моделей реальному мережевому трафіку до і після обслуговування. Це, своєю чергою, пояснюється відмінностями у імовірнісних характеристиках випадкових процесів, які прийняті для моделювання реального трафіку.

Самоподібні процеси характеризуються декількома типовими ознаками:

- дисперсія таких процесів прямує до безмежності;
- автокореляційна характеристика є повільно спадною, що ще називають терміном “важкий хвіст АКХ”;
- параметр Херста такого процесу перебуває в межах від 0 до 1.

Для проведення статистично-імовірнісного аналізу трафіку корпоративної мультисервісної мережі використовували такі методи дослідження:

- RS-аналіз для оцінки параметра Херста випадкового процесу, що відображає трафік мультисервісної мережі.
- Оцінювали відповідність експериментального розподілу аналітичним відомим розподілам із застосуванням критерію Колмогорова.

Метод RS-аналізу відображається такою послідовністю кроків:

Визначається математичне сподівання випадкового ряду  $X_k$  ( $k = 1..N$ ):

$$M_N = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_k \quad (1)$$

Визначається дисперсія вибірки:

$$S_N^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (X_k - M)^2. \quad (2)$$

Визначається інтегральне відхилення:

$$D_j = \sum_{k=1}^j X_k - jM, \quad j \in [1; N]. \quad (3)$$

Визначається рознесення випадкового процесу:

$$R_N = \max_{1 \leq j \leq N} D_j - \min_{1 \leq j \leq N} D_j. \quad (4)$$

З встановленого Херстом співвідношення:

$$\frac{R}{S} \approx \left(\frac{N}{2}\right)^H. \quad (5)$$

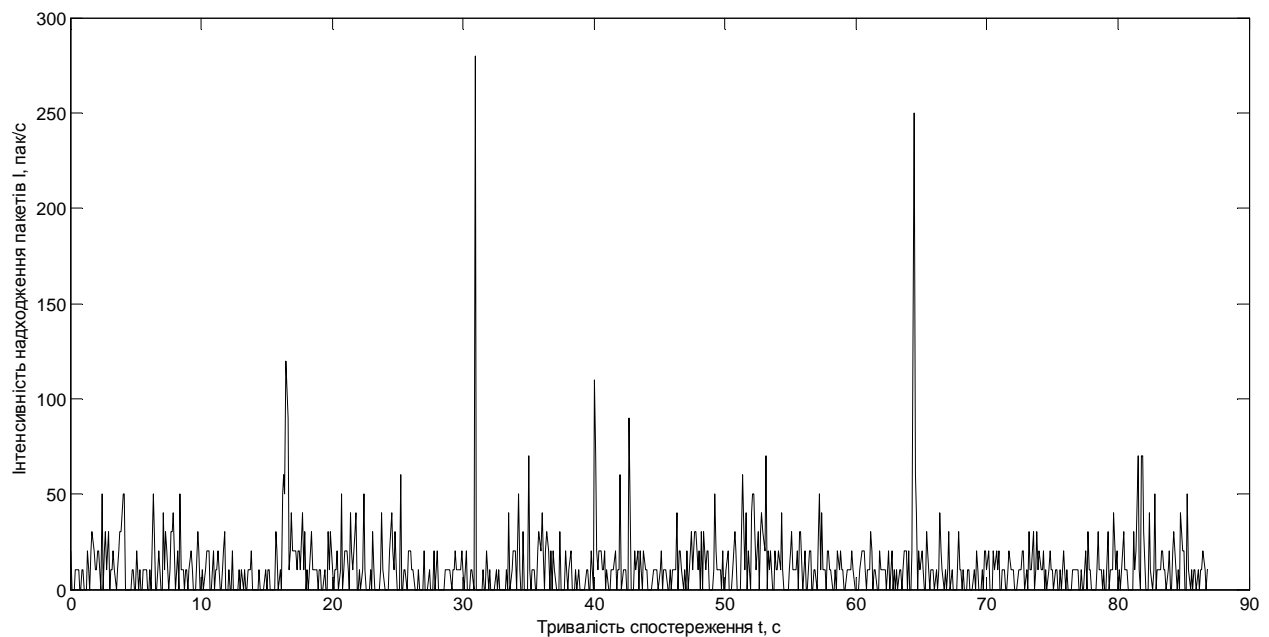
Визначається параметр Херста  $H$ :

$$H = \frac{\log\left(\frac{R}{S}\right)}{\log\left(\frac{N}{2}\right)}. \quad (6)$$

### **Аналіз характеристик трафіку корпоративної мережі та доведення неможливості його адекватного моделювання відомими імовірнісними розподілами**

Проаналізовано трафік мультисервісної мережі великої організації. Протягом 541 хвилини велося спостереження за інтенсивністю вхідного і вихідного трафіку агрегуючого маршрутизатора. Було зафіксовано значення кількості пакетів, що надійшли, з інтервалом 1 хв.

Спершу було проаналізовано трафік від одного абонента при завантаженні файла із фіксованим значенням швидкості з'єднання (рис. 1). Враховуючи RS-метод оцінювання параметра Херста, визначено, що цей параметр для такого випадкового процесу становить 0,58. Це означає, що процес схильний до персистентності і можна очікувати, що під час агрегації декількох таких процесів згадана тенденція збільшуватиметься, що буде доведено нижче на прикладі аналізу трафіку агрегуючого маршрутизатора.



*Рис. 1. Інтенсивність трафіку від одного абонента у разі завантаження файла зі швидкістю з'єднання 512 кбіт/с*

На рис. 2 наведено трафік, що проходить через агрегуючий маршрутизатор. Штриховою лінією показано вихідний трафік, а суцільною – вхідний. На графіку можна спостерігати, що пік-фактор цього процесу значний, що дає змогу припустити те, що коефіцієнт Херста близький до 1.

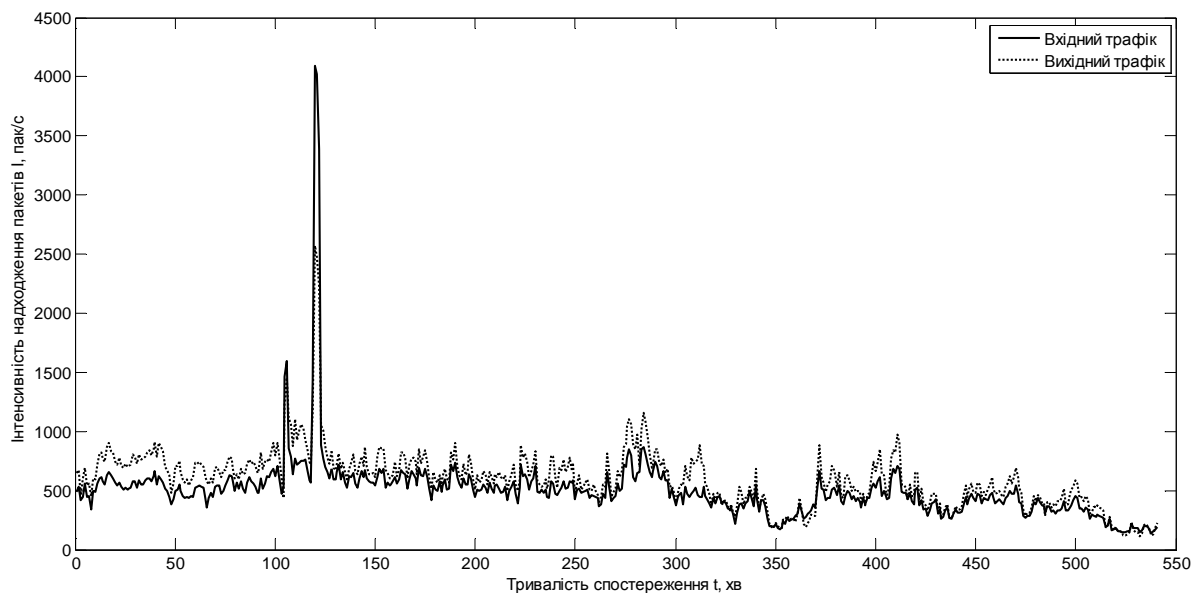


Рис. 2. Інтенсивність агрегованого трафіку корпоративної мультисервісної мережі

На рис. 3 і 4 запропоновано імовірно-статистичний аналіз вхідного і вихідного трафіку та здійснено підбір аналітичного розподілу імовірностей.

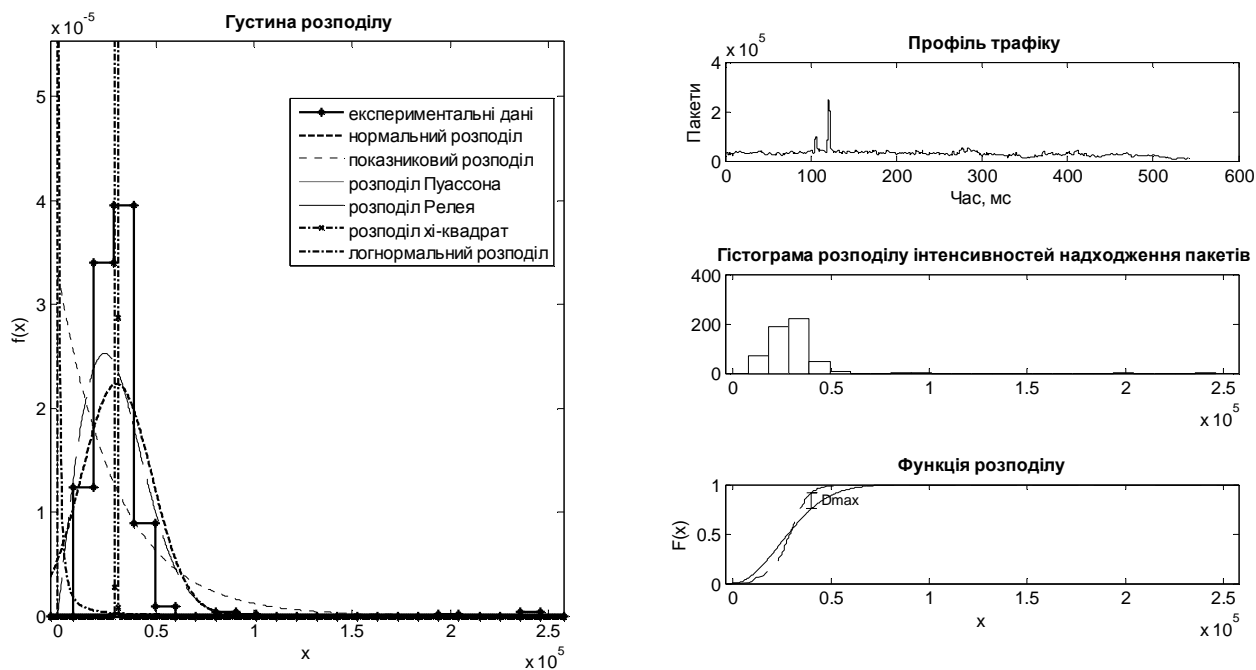


Рис. 3. Імовірно-статистичний аналіз вхідного трафіку корпоративної мультисервісної мережі

Результати проведених статистичних досліджень:

- Об'єм вибірки  $n=541$ ;
- Число ступенів свободи  $f=n-1=540$ ;
- $x_{\min}=8109$ ,  $x_{\max}=245727$ ;
- Кількість інтервалів  $k=23$ ;
- Ширина інтервалу  $h=10331.217$ ;
- Вибіркові параметри розподілу:
- Математичне очікування  $Mx=30064.553$ ;

- Середньоквадратичне відхилення  $S_x=17853.044$ ;
- Дисперсія  $D_x=318731179.87$ ;
- Асиметрія  $A_x=8.1444271$ ;
- Екссес  $E_x=89.7885207$ ;
- Варіація  $V_x=0.5938237$ .

Таблиця 1

Рівні значущості і деякі параметри розподілів

$p_0$	$p$	$t(1-p/2, f)$	$\chi^2(1-p/2, f)$	$\chi^2(p/2, f)$
0.9000	0.1000	1.64768	595.16833	487.10527
0.9600	0.0400	2.05872	609.61842	474.67087
0.9900	0.0100	2.58496	628.40237	459.10785
0.9990	0.0010	3.30863	654.72840	438.36749

Довірчі інтервали для генерального математичного очікування:

- $p=0.1000$ :  $28799.85538 < M_x < 31329.24998$ ;
- $p=0.0400$ :  $28484.35538 < M_x < 31644.74998$ ;
- $p=0.0100$ :  $28080.43143 < M_x < 32048.67393$ ;
- $p=0.0010$ :  $27524.96937 < M_x < 32604.13599$ .

Довірчі інтервали для генеральної дисперсії:

- $p=0.1000$ :  $289186820.35371 < D_x < 353342177.39300$ ;
- $p=0.0400$ :  $282332080.45341 < D_x < 362598274.45093$ ;
- $p=0.0100$ :  $273892724.89080 < D_x < 374889770.87974$ ;
- $p=0.0010$ :  $262879748.54527 < D_x < 392626828.50489$ .

Довірчі інтервали для генеральної асиметрії:

- $p=0.1000$ :  $7.81293 < A_x < 8.47592$ ;
- $p=0.0400$ :  $7.62029 < A_x < 8.66856$ ;
- $p=0.0100$ :  $7.09616 < A_x < 9.19270$ ;
- $p=0.0010$ :  $4.82950 < A_x < 11.45935$ .

Довірчі інтервали для генерального ексцесу:

- $p=0.1000$ :  $89.13163 < E_x < 90.44541$ ;
- $p=0.0400$ :  $88.74988 < E_x < 90.82716$ ;
- $p=0.0100$ :  $87.71124 < E_x < 91.86580$ ;
- $p=0.0010$ :  $83.21959 < E_x < 96.35745$ ;

Виражено параметри гіпотетичних розподілів через статистичні параметри експериментального розподілу:

- 1) нормальний розподіл:  $m_x=30064.5526802$ ;  $s_x=17853.0439945$ ;
- 2) показниковий розподіл:  $\lambda=0.0000333$ ;
- 3) розподіл Пуассона:  $L=30064.5526802$ ;
- 4) Релеєвський розподіл:  $\sigma=23988.0424110$ ;
- 5) хі-квадрат:  $\chi^2=30064.5526802$ ;
- 6) Логнормальний:  $\mu=0.5211728$ ;  $\sigma=4.4249134$ .

Вибираємо рівень значущості для критерію Колмогорова  $p=0.30$ . Найкраще підходить – розподіл Релея. Максимальна різниця  $D_{\max}=0.16562$  досягається при  $x=40012$ . Статистика Колмогорова  $\lambda = 3.85223$ . Квантиль розподілу Колмогорова  $\lambda(0.70)=0.97306$ . Розподіл підібрано неправильно, так як  $\lambda > \lambda(1-p)$ .

Параметр Херста вхідного трафіку  $0,837$ .

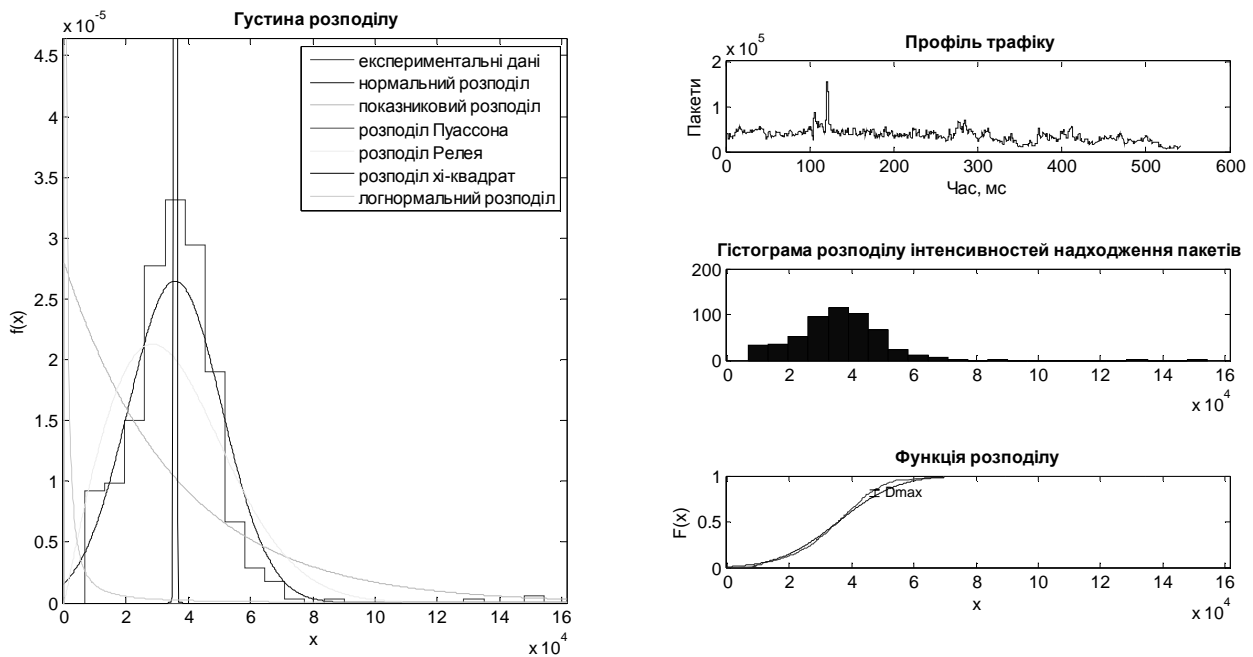


Рис. 4. Імовірнісно-статистичний аналіз вихідного трафіку корпоративної мультисервісної мережі

Результати проведених статистичних досліджень:

- Об'єм вибірки  $n=541$ ;
- Число степенів свободи  $f=n-1=540$ ;
- $x_{\min}=6817$ ,  $x_{\max}=154189$ ;
- Число інтервалів  $k=23$ ;
- Ширина інтервалу  $h=6407.478$ ;
- Вибіркові параметри розподілу:
- Математичне очікування  $Mx=35723.675$ ;
- Середньоквадратичне відхилення  $Sx=15068.627$ ;
- Дисперсія  $Dx=227063523.475$ ;
- Асиметрія  $Ax=2.1395800$ ;
- Ексцес  $Ex=14.7511545$ ;
- Варіація  $Vx=0.4218107$ .

Таблиця 2

Рівні значущості і деякі параметри розподілів

$p_0$	$p$	$t(1-p/2, f)$	$\chi^2(1-p/2, f)$	$\chi^2(p/2, f)$
0.9000	0.1000	1.64768	595.16833	487.10527
0.9600	0.0400	2.05872	609.61842	474.67087
0.9900	0.0100	2.58496	628.40237	459.10785
0.9990	0.0010	3.30863	654.72840	438.36749

Довірчі інтервали для генерального математичного очікування:

- $p=0.1000$ :  $34656.22354 < Mx < 36791.12581$ ;
- $p=0.0400$ :  $34389.92992 < Mx < 37057.41944$ ;
- $p=0.0100$ :  $34049.00321 < Mx < 37398.34614$ ;
- $p=0.0010$ :  $33580.17276 < Mx < 37867.17659$ .

Довірчі інтервали для генеральної дисперсії:

- $p=0.1000$ :  $206016174.50473 < Dx < 251720336.31629$ ;
- $p=0.0400$ :  $201132870.03823 < Dx < 258314363.33450$ ;

- $p=0.0100$ :  $195120688.20309 < D_x < 267070803.44509$ ;
- $p=0.0010$ :  $187275063.51714 < D_x < 279706651.62944$ .

Довірчі інтервали для генеральної асиметрії

- $p=0.1000$ :  $1.80809 < A_x < 2.47107$ ;
- $p=0.0400$ :  $1.61544 < A_x < 2.66372$ ;
- $p=0.0100$ :  $1.09131 < A_x < 3.18785$ ;
- $p=0.0010$ :  $-1.17534 < A_x < 5.45450$ .

Довірчі інтервали для генерального ексцесу

- $p=0.1000$ :  $14.09426 < E_x < 15.40805$ ;
- $p=0.0400$ :  $13.71252 < E_x < 15.78979$ ;
- $p=0.0100$ :  $12.67388 < E_x < 16.82843$ ;
- $p=0.0010$ :  $8.18222 < E_x < 21.32009$ .

Виражено параметри гіпотетичних розподілів через статистичні параметри експериментального розподілу:

- 1) нормальний розподіл:  $m_x=35723.6746765$ ;  $s_x=15068.6271264$ ;
- 2) показниковий розподіл:  $\lambda=0.0000280$ ;
- 3) розподіл Пуассона:  $L=35723.6746765$ ;
- 4) Релеєвський розподіл:  $\text{sig}=28503.3684795$ ;
- 5)  $\chi^2$ -квадрат:  $\chi^2=35723.6746765$ ;
- 6) Логнормальний:  $\mu=0.8631987$ ;  $\sigma=4.3864268$ .

Вибираємо рівень значущості для критерію Колмогорова  $p=0.30$ . Найбільше підходить – нормальний розподіл. Максимальна різниця  $D_{\max}=0.07037$  досягається при  $x=47355$ . Статистика Колмогорова  $\lambda=1.63669$ . Квантиль розподілу Колмогорова  $\lambda(0.70)=0.97306$ . Розподіл підібрано неправильно, оскільки  $\lambda > \lambda(1-p)$ .

Параметр Херста вихідного трафіку 0,907.

### Висновки

У роботі розглянуто основні тенденції розвитку корпоративних мереж зв'язку та проведено аналіз трафіку сучасної корпоративної мережі великої організації. На основі проведених досліджень доведено, що агрегований трафік мультисервісної мережі є самоподібним з параметром Херста, близьким до одиниці, що свідчить про неможливість точної апроксимації такого випадкового процесу аналітичними розподілами імовірностей. Це припущення перевірене на основі проведено підбору аналітичного розподілу за критерієм Колмогорова. Найближчим для вхідного трафіку виявився розподіл Релея, а для вихідного – нормальний розподіл. Однак для жодного з цих розподілів не виконана умова критерію Колмогорова, тому найпридатнішими для аналітичного моделювання трафіку мультисервісних корпоративних мереж можна вважати самоподібні процеси.

1. Ложковський А.Г. Исследование системы обслуживания с ожиданием и рекуррентным потоком вызовов // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2004. – № 2. – С. 56–59. 2. Ложковський А.Г., Ганифаєв Р.А. Оценка параметров качества обслуживания самоподобного трафика энтропийным методом // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2008. – № 1 – С. 57–62. 3. Лаврів О.А. Моделювання та дослідження параметрів QoS в системі розподілу інформації з самоподібним вхідним потоком і обслуговуванням за порядком черги. Матер. наук.-практ. конф. “Проблеми телекомунікацій – 2011”. – 2011 р.