

УДК 621.391

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЙНЯТОСТІ БУФЕРА СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ МУЛЬТИСЕРВІСНОГО ТРАФІКА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ АВТОЗУПИНКИ



[М.М. КЛИМАШ](#),

[О.А. ЛАВРІВ](#),

[Б.А. БУГІЛЬ](#),

[Р.І. БАК](#)

Національний університет
«Львівська політехніка»

Запропоновано спосіб прогнозування обсягу пам'яті системи розподілу мультисервісного трафіка на основі імітаційного статистичного моделювання з використанням методу автозупинки. Для прогнозування розроблено статистичний алгоритм, і на його основі в системі MatLab реалізовано імітаційну модель.

The way of storage capacity prediction had been proposed for multiservice distribution system on the basis of simulation statistic modeling with auto hold up method using. Statistic algorithm had been designed for prediction purpose. Simulation model had been deployed on the basis of statistic algorithm.

Предложен способ прогнозирования объема буфера системы распределения мультисервисного трафика на базе имитационного статистического моделирования с использованием метода автоостановки. Для прогнозирования разработан статистический алгоритм, а также на его основании в системе MatLab реализована имитационная модель.

Вступ

Сучасний етап розвитку інфокомунікаційних мереж ставить нові задачі дослідження та моделювання систем розподілу інформації в умовах мультисервісного трафіка. Класичні теорії телетрафіка та систем масового обслуговування були орієнтовані на моносервісні спеціалізовані мережі зв'язку, для яких властивим був поточковий характер трафіка. Виявилось, що аналітичні залежності, встановлені для класичних систем масового обслуговування, недостатньо точно описують процеси і стани систем обслуговування мультисервісного трафіка.

Задача оцінки зайнятості та розміру буфера системи розподілу інформації виникає на етапі проектування мереж зв'язку і вибору мережевих пристроїв для задовільного обслуговування абонентів, а також під час функціонування мережі з метою динамічного управління чергами. В даній роботі для її вирішення розроблена імітаційна модель, яка служить для проектувальника інструментом вибору параметрів мережевого обладнання.

Способи вирішення цієї задачі широко описані як вітчизняними, так і зарубіжними вченими. В роботах [1-4] запропоновано методи визначення розміру буфера на основі моделювання, проте в них не враховано статистичні особливості реального трафіка. Робота [2] присвячена управлінню чергами в реальному масштабі часу. Основна перевага запропонованого в даній статті методу полягає у врахуванні власти-

востей реального мультисервісного трафіка. В результаті можна очікувати вищу адекватність отриманих результатів моделювання, ніж в роботах, які не враховують самоподібність трафіка мультисервісних мереж.

Основна відмінність мультисервісного трафіка від моносервісного полягає у явищі сплесковості, тобто значення пік-фактору такого трафіка суттєво більше за аналогічне значення для спеціалізованої мережі. Відповідно, ускладнюється завдання прогнозування параметрів системи обслуговування такого трафіка через неповну формалізованість пов'язаних з цим задач. Виявилось, що для трафіка мультисервісних мереж не є характерним жоден з імовірнісних розподілів, які використовувались в класичній теорії масового обслуговування.

Як показали дослідження [5], трафік мультисервісних мереж достатньо добре може бути описаний з використанням самоподібних процесів (або процесів з повільно зменшуваною залежністю між сусідніми значеннями випадкової величини). Це означає, що недостатньо враховувати тільки вплив попереднього стану системи на наступний, або, в гіршому випадку, взагалі такий вплив не враховувати. На наступний стан системи в більшій чи меншій мірі будуть впливати всі попередні її стани.

Суттєва проблема полягає в тому, що самоподібні процеси важко математично формалізувати, відповідно отримання аналітичних виразів для опису станів системи з самоподібним трафіком є складним з точки зору обчислень завданням. В існуючих наукових працях по-різному підходять до вирішення цієї проблеми. Зокрема, в роботах [6-7] запропоновано для моделювання та дослідження систем із самоподібним трафіком скористатись відомими залежностями для добре досліджених систем масового обслуговування на основі наближення певних характеристик функцій розподілів самоподібної та добре формалізованих моделей трафіка. Інший підхід, який висвітлюється в [8] та користується все більшою популярністю, полягає у моделюванні самоподібного трафіка та подальшому дослідженні функціонування системи обслуговування такого трафіка на основі розроблених моделей. Обидва методи мають свої переваги та недоліки. Так, при використанні методу статистичного імітаційного моделювання постає питання адекватності отриманих результатів, перевірка якої є окремим достатньо громіздким завданням. На основі методу наближення постає питання, наскільки допущене наближення впливає на розкид параметрів якості обслуговування, які необхідно дослідити. Отримання таких залежностей є на сьогодні невіршеним завданням.

В роботі пропонується підхід до прогнозування розміру буфера системи розподілу мультисервісного трафіка на основі методу статистичного імітаційного моделювання з використанням автозупинки роботи моделі.

I. Загальна характеристика методу автозупинки

Метод автозупинки полягає в тому, що функціонування розробленої моделі переривається в момент досягнення певної точності отриманих результатів.

Для вирішення задачі знаходження моменту зупинки роботи моделі запропоновано ввести параметр «коефіцієнт варіації 2-го порядку», який характеризує осци-

ляцію залежності коефіцієнта варіації інтенсивності надходження пакетів від тривалості моделювання.

Чим нижче значення коефіцієнту варіації другого порядку отримане, тим більша точність результатів моделювання досягається. В даній роботі достатнім вважається значення цього коефіцієнта, близьке до 1%. Проведена при цьому кількість експериментів є достатньою для визначення розміру буфера системи розподілу мультисервісного трафіка з точністю, яка відповідає коефіцієнту варіації 1-го порядку. До того ж, за рахунок зміни значення цього параметра виникає можливість управління точністю визначення параметрів, модельним часом та кількістю проведених експериментів.

II. Спосіб визначення параметра Херста числового дискретного ряду

В проведених дослідженнях для визначення ступеня самоподібності трафіка використовувався параметр Херста, який може приймати наступні значення:

- $0 < H < 0,5$ – випадковий процес є антиперсистентним (ергодичним) рядом, який не володіє самоподібністю;
- $H = 0,5$ – повністю випадковий ряд, аналогічний до випадкових зміщень частинки при класичному броунівському русі;
- $0,5 < H < 1$ – персистентний процес (такий, що самопідтримується), який володіє довготривалою пам'яттю і є самоподібним.

Для оцінки значення параметра Херста випадкового ряду існує багато методик [9]. Найпростішою з них є RS-методика [9], яка, проте, має обмеження на застосування до процесів з малою дисперсією. Однак для потреб задачі, вирішення якої пропонується в роботі, дана методика може бути використана.

Її суть полягає в наступному:

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:

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

Зі встановленого Херстом співвідношення:

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

визначається параметр H :

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

III. Алгоритм моделювання та прогнозування зайнятості буфера

В роботі запропоновано використати метод імітаційного статистичного моделювання для прогнозування зайнятості буфера та визначення його розміру у вузлі мультисервісної мережі. Найбільша доля сучасного трафіка, що передається у телекомунікаційних мережах, припадає на трафік відеоконференції, голосового трафіка та передача даних. У зв'язку з цим, під час експерименту, найбільша увага приділялася вказаним типам трафіка. Найбільш поширеною моделлю, яка застосовується при описі трафіка мультисервісних мереж є модель самоподібних процісів, але при цьому виникають труднощі зі застосуванням цієї моделі для визначення параметрів трафіка на різних ділянках мультисервісної телекомунікаційної мережі. Задля усунення цього недоліку в роботі запропоновано застосовувати імітаційну модель.

Для проведення імітаційного моделювання необхідно було подати на вхід моделі реалізацію потоку пакетів, за своїми статистичними властивостями ідентичну потоку у реальних мультисервісних мережах. Для досягнення цієї мети було проведено вимірювання потоків у реальних мережах, які виникають при передачі у мережі трафіка відеоконференції, голосового трафіка та трафіка даних. За результатами вимірювання було згенеровано дві послідовності величин, за допомогою яких описувався потік пакетів у реальних мережах. Це значення міжпакетних інтервалів та значення довжин пакетів. Значення величин, що утворювали ці послідовності дорівнювали значенням відповідних параметрів реального трафіка, який вимірювався.

Вибрано розподіл модельного часу з постійним кроком. Значення кроку – 1 мс. Пропускна здатність прямого каналу вибрана рівною 100 Мбіт/с. Кількість пакетів, що задіяні в процесі моделювання, встановлено рівною 200 000. Передбачено, що не обов'язково всі згенеровані пакети будуть необхідні для формування профілю трафіку (їх кількість визначається коефіцієнтом варіації 2-го порядку, який необхідно досягнути). За 1 мс встигає згенеруватись певна кількість пакетів. За кожний такий період визначається інтенсивність надходження пакетів $\lambda = K_{\text{пак}} / 10^{-3}$. Як результат, отримуємо випадковий процес інтенсивності надходження пакетів в часі. Суть запропонованого підходу показано на рис. 1.

За один крок моделювання в буфер надходить K пакетів. Інтенсивність обслуговування μ цих пакетів, під час моделювання була більшою, ніж інтенсивність надходження пакетів за спостережуваний період часу.

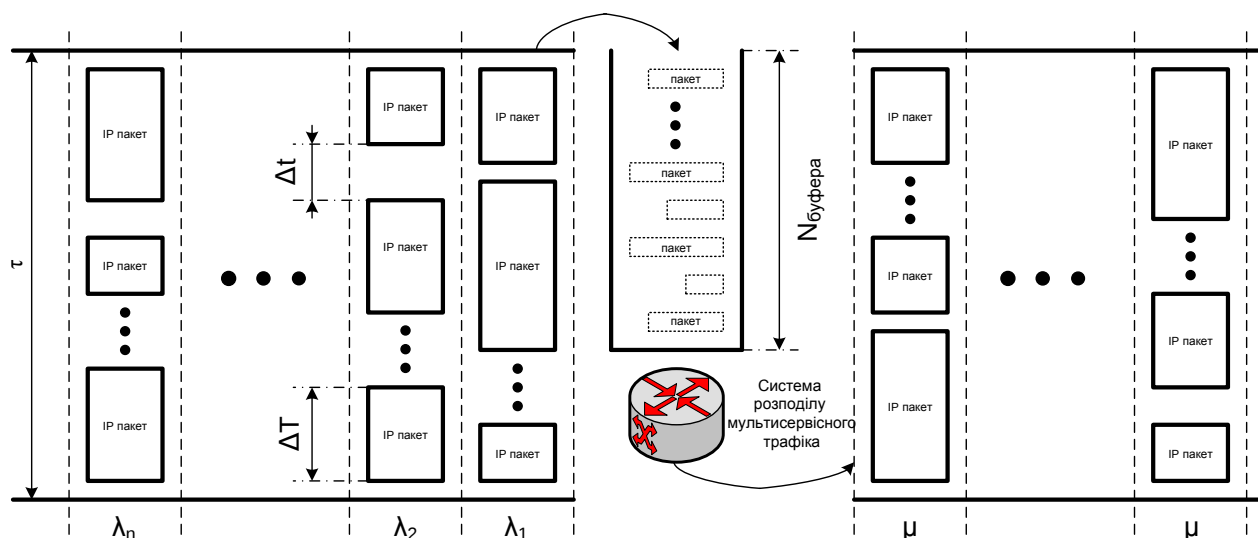


Рис. 1. Модель системи обслуговування мультисервісного трафіка

(τ – інтервал моделювання; λ_i – інтенсивність поступлення пакетів на i -ому інтервалі моделювання; ΔT – тривалість одного пакету (змінна величина); Δt – тривалість інтервалу між пакетами; $N_{\text{буфера}}$ – розрахований розмір буфера; μ – інтенсивність обслуговування пакетів)

Тривалість періоду спостереження визначається на основі обчислення коефіцієнтів варіації та застосування методу автозупинки, який полягає в тому, що функціонування розробленої моделі переривається в момент досягнення певної точності отриманих результатів.

Коефіцієнт варіації 1-го порядку визначається як відношення середнього квадратичного відхилення інтенсивності надходження пакетів до математичного очікування цієї ж величини:

$$K_v^I = \frac{S_\lambda}{M_\lambda}. \quad (7)$$

Даний коефіцієнт характеризує статистичний розподіл значень інтенсивності надходження пакетів. Для адекватного прогнозування розміру буфера необхідно встановити момент, коли проведення додаткових експериментів несуттєво впливає на похибку прогнозування, що визначається коефіцієнтом варіації 1-го порядку і залежить від статистичних властивостей синтезованого трафіка. Для вирішення цієї задачі в роботі запропоновано використовувати коефіцієнт варіації другого порядку, який характеризує осциляцію залежності коефіцієнта варіації першого порядку від тривалості моделювання:

$$K_v^{II} = \frac{S_{K_v^I}}{M_{K_v^I}}, \quad (8)$$

де $S_{K_v^I}$ – середнє квадратичне відхилення коефіцієнта варіації першого порядку;

$M_{K_v^I}$ – середнє значення коефіцієнта варіації першого порядку (він є змінною величиною в процесі моделювання. Зі збільшенням кількості експериментів його осциляція зменшується).

При досягненні вищезгаданим коефіцієнтом заданого значення (при проведенні моделювання встановлено на рівні 1 %) можна вважати, що проведення додаткових експериментів несуттєво позначиться на зміні значення коефіцієнту варіації першого порядку, тобто можна стверджувати, що отримані результати і подальші розрахунки на їх основі характеризуються похибкою, яка визначається значенням коефіцієнта варіації. Додатково до визначення за допомогою імітаційного моделювання зайнятості буфера, в роботі було проведено порівняльний аналіз отриманих результатів з раніш відомими [6, 7], які можуть бути визначенні за допомогою формули:

$$N(M_\lambda, H) = \frac{M_\lambda}{\mu} \frac{\left(\frac{M_\lambda}{\mu}\right)^{\frac{H-0,5}{1-H}}}{\left(1 - \frac{M_\lambda}{\mu}\right)^{\frac{H}{1-H}}} . \quad (9)$$

Оцінку розміру буфера (біт) можна проводити за формулою Норрса [8], яку запишемо у наступному вигляді:

$$B = \left[\frac{[H^H (1-H)^{1-H} \sqrt{-2 \ln(p)}]^{1/H} a^{1/2H} m^{1/2H}}{C - m} \right]^{H/(1-H)} , \quad (10)$$

де B – розмір буфера (біт), H – параметр Херста профілю трафіка, p – імовірність втрати пакету, яку необхідно забезпечити, C – пропускна здатність прямого каналу (біт/с), m – швидкість поступлення пакетів (біт/с), a – коефіцієнт варіації швидкості поступлення пакетів (біт/с).

Алгоритм моделювання та прогнозування зайнятості буфера наведено на рис. 2.

В першому кроці ініціалізуються масиви інтенсивності надходження пакетів, тривалості пакетів та інтервалів між пакетами. Встановлюється початкове значення модельного часу. В другому кроці, на базі вимірювань у реальних мережі, формується вхідний потік пакетів та встановлюється початкове значення коефіцієнту варіації Π порядку. Наступний логічний оператор перевіряє, чи досягнув коефіцієнт варіації Π порядку заданого значення (1 %). Якщо дане значення не досягнуте, то відбувається продовження моделювання з інтервалом 1мс. Якщо досягнуто кінець інтервалу спостереження, то відбувається визначення інтенсивності надходження пакетів і зайнятості буфера на цьому інтервалі. Одержане значення записується в масив. Проводиться обчислення коефіцієнтів варіації 1-го та 2-го порядків і здійснюється перехід на перевірку значення коефіцієнта варіації 2-го порядку. Так відбувається доти, доки не досягнуто задане значення коефіцієнта варіації 2-го порядку. Якщо воно досягнуте, то відбувається зупинка функціонування моделі та визначається зайнятість та розмір буфера з необхідною точністю.

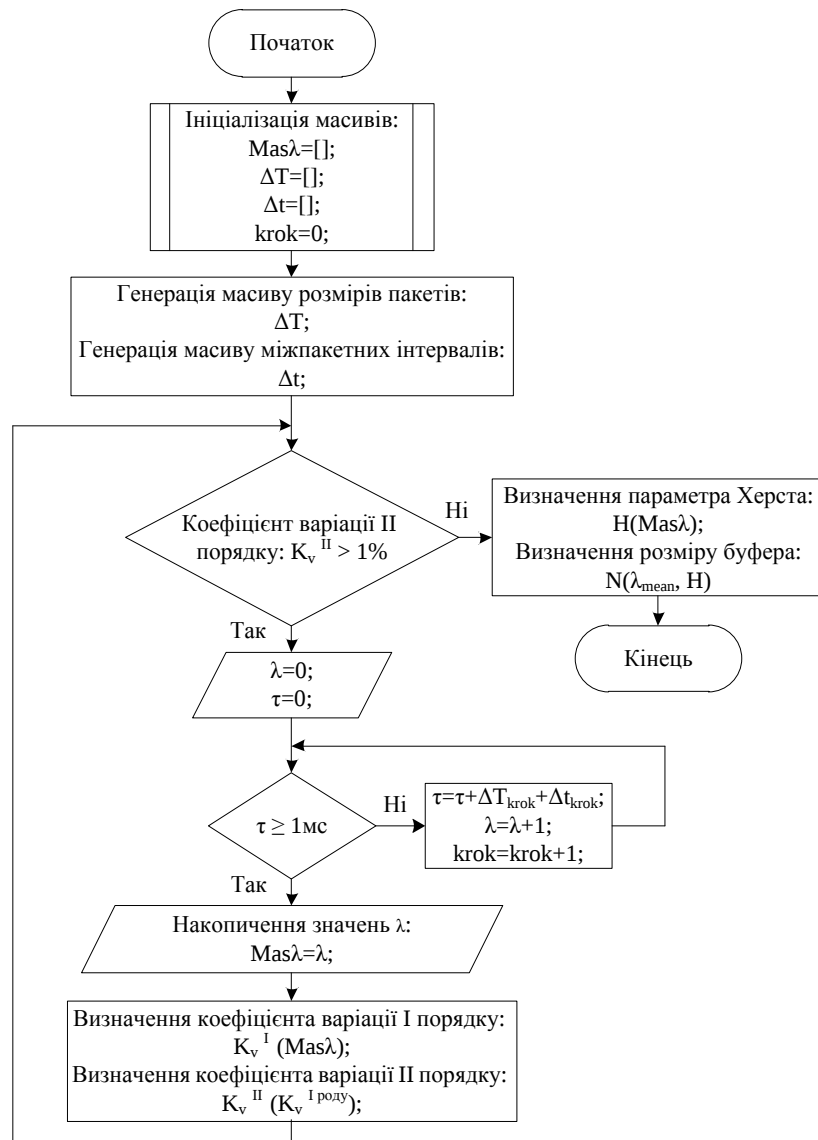


Рис. 2. Алгоритм статистичного прогнозування розміру буфера системи розподілу мультисервісного трафіка

IV. Аналіз результатів моделювання

Вхідні умови:

- кількість пакетів, що отримані за результатами вимірювань у мережі 200 000;
- тривалості пакетів та інтервали між пакетами отримані за результатами вимірювань та є випадковими;
- кількість потоків, що надходять на вхід імітаційної моделі, дорівнює 20;
- значення інтенсивності потоків, що надходять у імітаційну модель, утворюють випадкову послідовність з параметром Херста $H = 0,7$).

Оцінка параметра Херста проведена за методикою, описаною в п.2. Під час експерименту здійснювався аналіз агрегованого потоку на виході вузла, що моделювався. На основі визначеного параметра Херста встановлено, що результуючий трафік також є самоподібним (параметр Херста коливається в межах від 0,68 до 0,75).

На основі запропонованого алгоритму проведено моделювання та прогнозування зайнятості буфера системи розподілу мультисервісного трафіка. В результаті моделювання отримано профіль трафіка, який достатньо проаналізувати для прогнозування зайнятості буфера з точністю 13,7% (рис. 3):

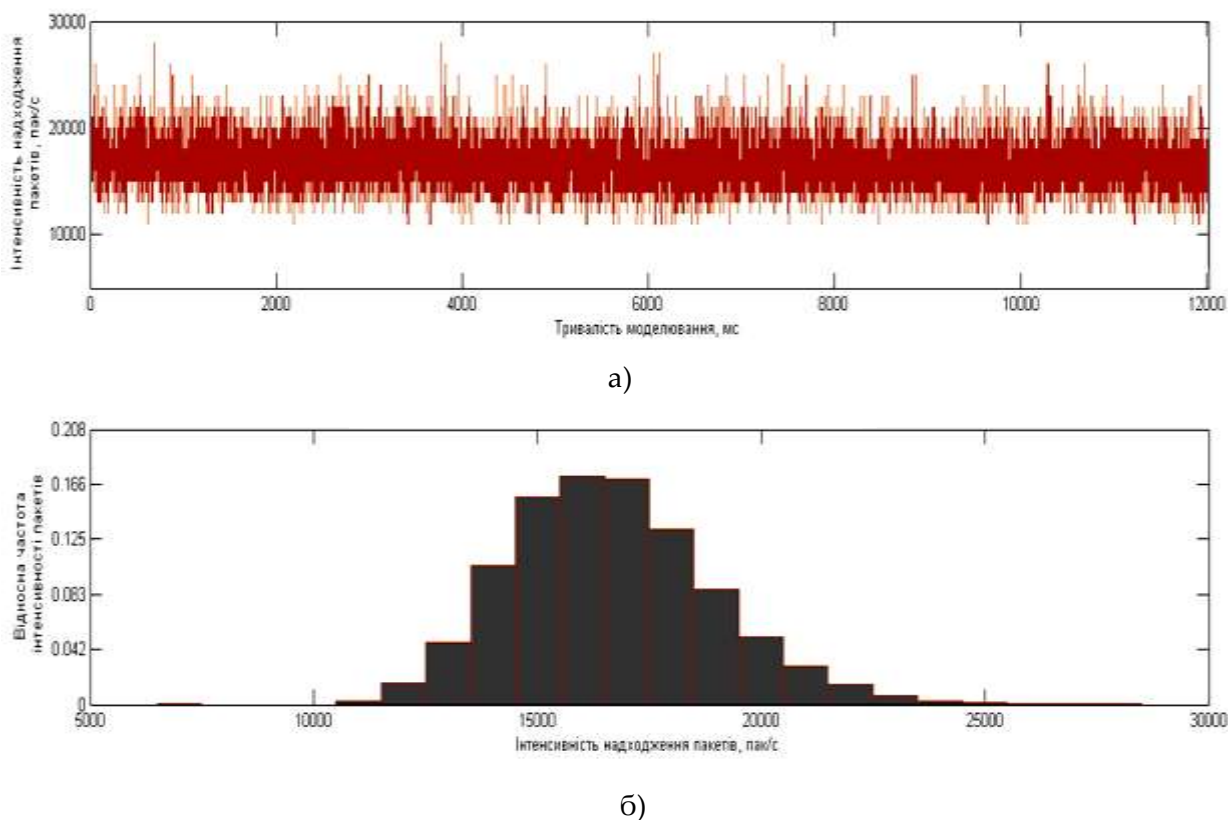


Рис. 3. Одержаний профіль трафіка (а) та його густина розподілу (б)

Середнє значення інтенсивності надходження пакетів становить 17 010 пак/с. Відповідно інтенсивність обслуговування становила 18 000 пак/с, що забезпечує високий коефіцієнт використання мережі. Зі зростанням коефіцієнта використання та параметра Херста збільшується крутизна зростання довжини черги в буфері як функції від параметру Херста (рис. 4).

За результатами імітаційного моделювання встановлено, що зайнятість буфера (середня довжина черги) складає 2360 пакетів. За (9) отримано, що зайнятість буфера (довжина черги) складає 2484 пакети. Це дає змогу стверджувати про можливість використання формули (9) для розрахунку величини зайнятості буфера. Враховуючи середню довжину IP-пакету (782 байти), яка відповідає вхідним умовам проведеного імітаційного моделювання, задіяний об'єм пам'яті буфера становить 1,85 Мбайт.

За (10) розмір буфера становить 22,7 Мбайт. Велика різниця між середнім значенням задіяного об'єму буфера та його необхідним розміром пояснюється критично близькими значеннями швидкості передавання та пропускної здатності каналу та малим значенням припустимої ймовірності втрат пакетів.

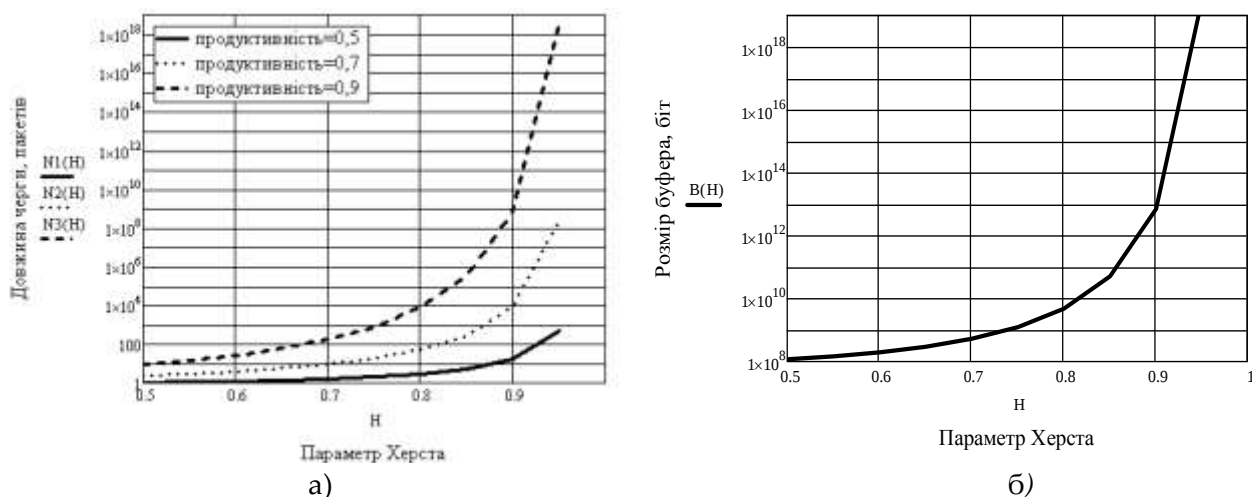


Рис. 4. Залежність довжини черги від параметра Херста при різних коефіцієнтах використання мережі (а) та залежність розміру буфера від параметра Херста за формулою Норроса (б)

Досягнуті значення коефіцієнтів варіації I та II порядків відповідно становлять 13,7% і 1% (рис. 5):

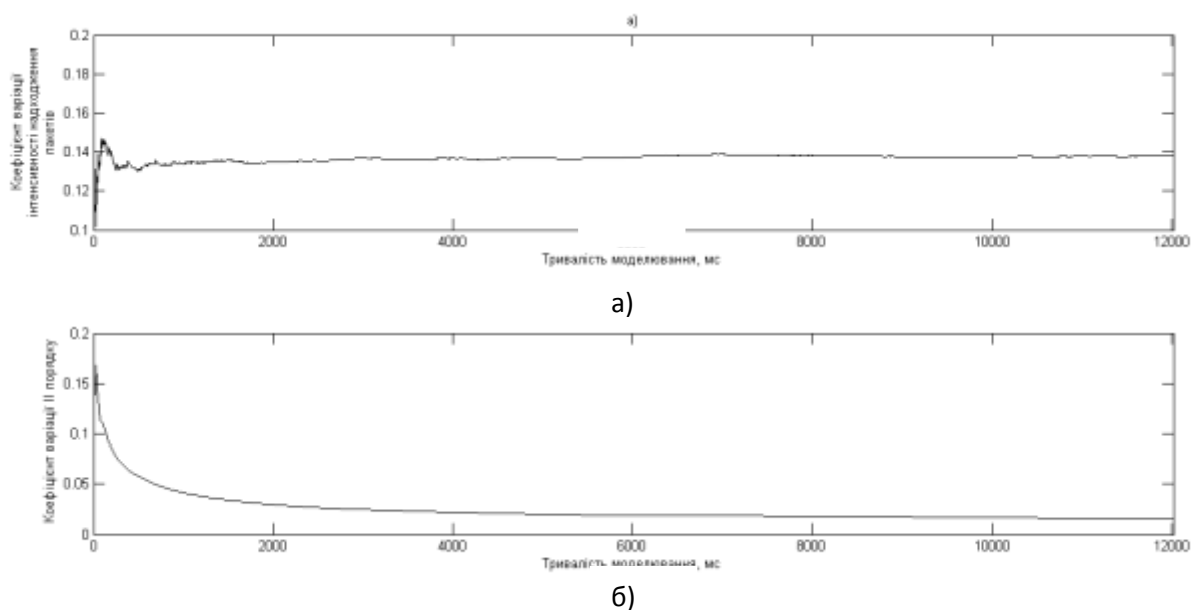


Рис. 5. Залежність коефіцієнта варіації I порядку (а) та коефіцієнту варіації II порядку (б) від тривалості моделювання

Коефіцієнт варіації I порядку характеризує можливу точність оцінки розміру буфера і визначається характером закону розподілу інтенсивності надходження пакетів. Коефіцієнт варіації II порядку характеризує достатність тривалості спостереження для визначення коефіцієнта варіації I порядку. Він є асимптотично спадним і його значення визначається тривалістю моделювання та кількістю проведених експериментів (рис. 5)

Висновок

В статті запропоновано спосіб прогнозування зайнятості буфера системи розподілу мультисервісного трафіка та його розмір на основі імітаційного статистичного моделювання з використанням методу автозупинки. При прогнозуванні враховувались значення коефіцієнта варіації інтенсивності надходження пакетів, коефіцієнта використання мережі та параметра Херста, який характеризує властивості трафіка. Вхідний трафік, який описується послідовностями значень міжпакетних інтервалів та значень довжин пакетів, отримано за результатами вимірювання у реальній мережі. Потoki пакетів, що надходили до моделі, повторювали реалізації потоків у реальній мережі. Оцінка параметра Херста проводилась на основі RS-методики, а управління модельним часом здійснювалось на основі постійного кроку. Значення параметра Херста свідчить про наявність у потоків, що досліджувалися ефекту самоподоби. Для прогнозування розроблено статистичний алгоритм і на його основі в системі MatLab реалізовано імітаційну модель. У випадку проведення експерименту з кількістю вхідних пакетів 200 000 точність прогнозування складає 13,7% і прогнозована зайнятість буфера становить 1,85 Мбайт, а його розмір 22,7 Мбайт. Величина різниці значень зайнятості буфера, отриманих за результатами імітаційного моделювання та розрахунку за формулою Норрса (9), не перевищує точності прогнозування, що дозволяє стверджувати про можливість застосування цієї формули для розрахунків.

Список літератури:

1. *Hu N., Ren L., Chang J.* Evaluation of Queue Management Algorithms: Course Project Report for 15-744 Computer Networks [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/user/hnn/www/cs744_project/744-report.doc.
2. *Лемешко А.В., Симоненко А.В.* Управление очередями на узлах активной сети // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 151. – С. 92–97.
3. *Haught J., Hopkinson K., Stuckey N., Dop M., Stirling A.* A Kalman filter-based prediction system for better network context-awareness // Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2010. – P. 2927 – 2934.
4. *Jain A., Karandikar A., Verma R.* An Adaptive Prediction based Approach for Congestion Estimation in Active Queue Management (APACE) // GLOBECOM. – 2003. – P. 4153-4157.
5. *Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., Wilson D.V.* On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version) // IEEE/ACM Trans, on Networking. – 1994. – Vol. 2, No 1. – P. 1 – 15.
6. *Ложковский А.Г.* Исследование системы обслуживания с ожиданием и рекуррентным потоком вызовов // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2004. – № 2. – С. 56–59.
7. *Ложковский А.Г., Ганифеев Р.А.* Оценка параметров качества обслуживания самоподобного трафика энтропийным методом // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2008. – № 1. – С. 57–62.
8. *Patel A., Williamson C.* Statistical multiplexing of self-similar traffic: theoretical and simulation results [Електронний ресурс] // Department of Computer Science. University of Saskatchewan, 1997. – 14 p. – Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.44.92>.
9. *Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В.* Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Монография: Под ред. О.И. Шелухина. – М: Радиотехника, 2003. – 480 с.