

М.І. Кирик, Т.В. Андрухів, В.В. Червенець, Н.М. Плєсканка
Національний університет “Львівська політехніка”

ДОСЛІДЖЕННЯ БУФЕРИЗАЦІЇ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ В МЕРЕЖАХ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

© Кирик М.І., Андрухів Т.В., Червенець В.В., Плєсканка Н.М., 2012

Проаналізовано мультимедійний трафік корпоративної мережі зв’язку. Досліджено імовірісно-статистичні властивості цього трафіку. Виконано математичне моделювання, для визначення характеристик досліджуваного трафіку.

Ключові слова: буферизація, мультимедійний трафік.

This paper has proposed an analysis of multimedia corporate network traffic. Its statistic and probabilistic properties had been researched. A mathematical modeling to describe the properties of the studied traffic has done.

Key words: buffering, multimedia traffic.

Вступ. Якщо трохи солі робить їжу смачнішою, то збільшення її кількості має посилити прекрасний смак їжі. Насправді ж це не так. Ця логіка також часто застосовується і в цифровій техніці. За аналогією можна говорити і про те, що використання буферів малих розмірів недоцільно, тому зараз розміри буферів постійно збільшуються, що насправді в деяких випадках призводить до зменшення продуктивності роботи мережі.

Основні принципи буферизації даних. Використання буферизації даних є необхідною умовою для нормального функціонування мережі. Якщо порівнювати мережу передачі даних із дорогою, якою всі рухаються на максимальній швидкості, то в момент, коли ця дорога переповнюється, залишається два варіанти: зіткнутися з іншим автомобілем або ж зійти з дороги і чекати, допоки вона звільниться. Втрата пакетів всередині сеансу зв’язку не є настільки критичною (коли пакет втрачається на початку чи в кінці сесії, то це може призвести до деяких затримок, які будуть помітні користувачеві). Однак поставити пакет у чергу на незначний час краще, аніж втратити цей пакет і повторно його передавати. Через це всі мережеві пристрої, а саме маршрутизатори, комутатори, модеми та ін. володіють буферною пам’яттю, в якій можуть зберігатись пакети, що не можуть бути передані відразу. Оскільки мережевий трафік, як правило, має пульсуючий характер, то використання буферизації даних дає змогу усунути такі проблеми. У попередніх поколіннях комп’ютерної техніки розмір буферів мережевого рівня, на якому працює протокол управління передаванням TCP (Transmission Control Protocol), було обмежено до 64К, але сучасніші операційні системи підтримують достатньо великі розміри TCP-буферів. Але слід враховувати і те, що розмір буфера повинен вибиратись відповідно до пропускної здатності мережі, в якій знаходиться цей пристрій. Отже, необхідно пам’ятати, що занадто великий розмір мережевого буфера за невеликої пропускної здатності приведе до значних затримок. Але, з іншого боку, занадто малий розмір буфера за високих швидкостей передавання приведе до втрати пакетів. На цьому етапі починають з’являтися проблеми щодо вибору оптимальних відносно мінімальних затримок та втрат пакетів розмірів мережевих буферів [1].

Буферизація відбувається на кількох рівнях. Для детального аналізу потрібно вивчити та дослідити процеси на кожному з них. Відповідно кожен рівень буферизації буде певним чином впливати на затримки та втрати пакетів. Перший з цих рівнів – це буферизація даних на мережевому адаптері обслуговуючого пристрою. Роль обслуговуючого пристрою в даному випадку

може відводитись як кінцевому обладнанню користувача, так і маршрутизаторам та комутаторам будь-якого рівня. Перш за все потрібно описати характер вхідного трафіку для відповідного рівня.

Аналіз характеристик мультимедійного трафіку. Основними критеріями, які слід врахувати під час аналізу мультимедійного трафіку, в нашому випадку саме він буде формувати вхідний потік, що надходить на перший рівень обслуговування, є інтенсивність надходження пакетів, розподіл імовірності надходження пакетів та наявність сплесків в потоці даних протягом часу спостереження. Оскільки дослідження буде проводитись на мультимедійному трафіку, то слід зауважити, що такий тип трафіку ставить найбільш критичні вимоги до параметрів мережі передачі даних. При передачі відеоданих втрата одного чи кількох пакетів незадовільно впливає на якість сприйняття послуг кінцевим користувачем, а якщо втрати тривають більше секунди, то якість зображення суттєво погіршується. Наступними важливими параметрами є значення затримки та джитера. Для забезпечення значень цих параметрів в допустимих межах потрібно правильно організувати черги на всіх рівнях обслуговуючих пристроїв. Також не слід забувати про взаємозв'язок пропускної здатності мережі, часу затримки та розміру буфера даних.

Для обґрунтування необхідності впровадження буферизації даних, QoS та правильного підбору математичної моделі, за допомогою якої можна буде описати роботу обслуговуючого пристрою на першому рівні буферизації, було знято статистику трафіку в існуючій корпоративній мережі передачі даних. Інтенсивність надходження пакетів наведено на рис. 1.

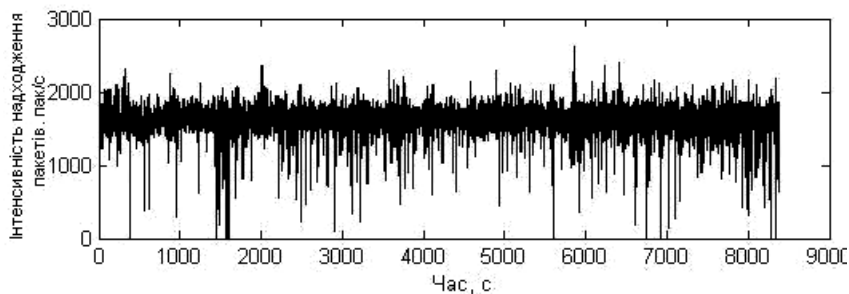


Рис. 1. Інтенсивність надходження Ethernet кадрів на мережевий адаптер обслуговуючого пристрою

Для цього трафіку проведено імовірнісно-статистичний аналіз та проведений підбір аналітичного розподілу імовірностей. Густину розподілу імовірностей надходження пакетів наведено на рис. 2.

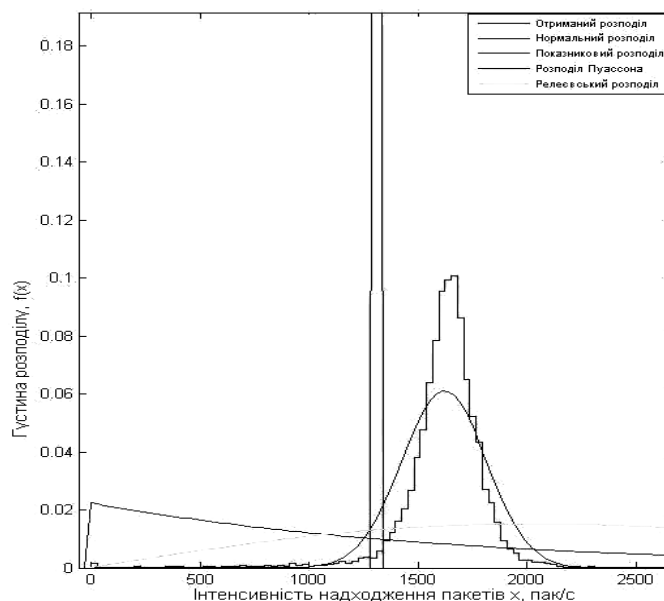


Рис. 2. Густина розподілу імовірностей надходження пакетів

Гістограму розподілу інтенсивностей надходження пакетів та функцію розподілу імовірностей надходження пакетів наведено на рис. 3 та 4 відповідно.

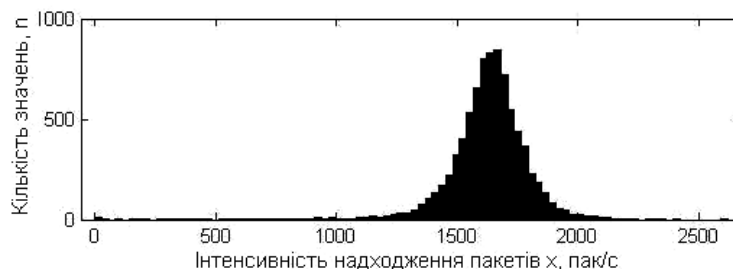


Рис. 3. Гістограма розподілу інтенсивностей надходження пакетів

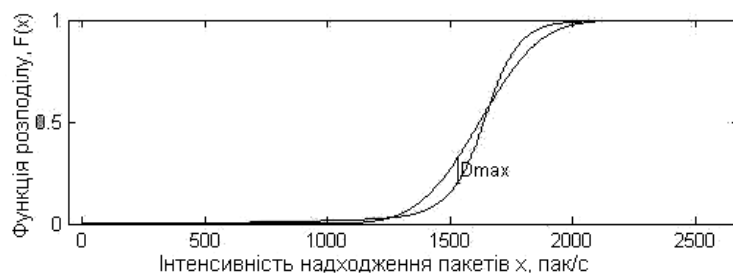


Рис. 4. Функція розподілу імовірностей надходження пакетів

На рис. 4 показано дві функції розподілу, а саме для отриманого розподілу та нормального розподілу. D_{\max} – максимальна різниця, якої досягають за інтенсивності надходження пакетів $x=1578$ пак/с.

Для досліджуваного трафіку розраховано значення параметра Херста [2]. Параметр Херста дорівнює $H=0.67$. Таке значення цього параметра свідчить про те, що досліджуваний трафік володіє властивістю самоподібності, а отже, точно апроксимацію такого випадкового процесу аналітичними розподілами імовірностей здійснити неможливо. Самоподібний процес істотно не змінює вигляду при розгляді в різних масштабах за шкалою часу, але не відбувається швидкого “згладжування” процесу при усереднюванні за шкалою часу – процес зберігає схильність до сплесків. Такий ефект самоподібності трафіку негативно впливає на продуктивність мереж передавання даних, зважаючи на значно більшу потребу в буферній пам’яті телекомунікаційних систем.

Це припущення було перевірене на основі проведеного підбору аналітичного закону розподілу за двома критеріями [3]:

- критерій Колмогорова;
- критерій Колмогорова–Смірнова.

У результаті аналізу було встановлено, що найближчим для досліджуваного трафіку виявився нормальний розподіл.

Математичне моделювання досліджуваного трафіку. Для опису властивостей досліджуваного трафіку потрібно підібрати математичну модель, яка дасть змогу визначити параметри оцінки якості обслуговування, а саме імовірність втрати пакетів, середнє значення затримки пакетів, середню довжину черги. Дослідження вхідного трафіку показали, що закон розподілу інтенсивностей надходження пакетів найближчий до нормального закону розподілу. Для розрахунку параметрів оцінки якості обслуговування було проведено аналітичне моделювання. Для нормального закону розподілу не існує чітко визначеної математичної моделі, яка дасть змогу вирішити це завдання. Для підвищення ступеня адекватності результатів моделювання потрібно представити граф санів, скласти для нього систему диференціальних рівнянь та розв’язати її. Ця задача є досить складною і вирішуватиметься в подальших дослідженнях. У цій роботі буде проведено спрощене математичне моделювання. Для представлення математичної моделі буде використано систему масового обслуговування класу М/М/1.

Мультимедійний трафік приходить на мережеві інтерфейси всіх пристроїв, які беруть участь у процесі передавання даних, тому можна вважати, що кількість обслуговуючих пристроїв саме на

канальному рівні (рівень мережевої карти) дорівнюватиме кількості мережевих інтерфейсів. Розмір буфера буде скінченний і налаштовуватиметься за параметрами мережевого інтерфейсу. Найпридатнішою є система класу M/M/1/N. Саме для цієї системи будемо проводити розрахунок [4].

Диференційно-різницеві рівняння як для $n = 0$, так і для $0 < n < N$ мають такий вигляд:

$$p_N(t+h) \approx p_N(t)(1-mh) + p_{N-1}(t)(lh)(1-mh), n = N. \quad (1)$$

Отже, рівняння для стаціонарного процесу будуть записані наступним чином:

$$\begin{aligned} -rp_0 + p_1 &= 0, n = 0, \\ -(1+r)p_n + p_{n+1} + rp_{n-1} &= 0, 0 < n < N, \\ -p_N + rp_{N-1} &= 0, n = N. \end{aligned} \quad (2)$$

Розв'язок наведеної вище системи рівнянь (2) для моделі M/M/1/N має вигляд:

$$p_n = \begin{cases} \left(\frac{1-r}{1-r^{N+1}} \right) r^n, & r \neq 1, \\ 1/(N+1), & r = 1, n = 0, 1, 2, \dots, N. \end{cases} \quad (3)$$

p_n – це імовірність того, що в даний момент часу в системі знаходиться n пакетів; $\rho = \lambda/\mu$ – величина, яка визначає продуктивність системи обслуговування; λ – інтенсивність надходження пакетів на обслуговуючий пристрій; μ – інтенсивність обслуговування пакетів, які надійшли на обслуговування. Для досліджуваного типу систем це значення залежатиме від параметрів мережевого адаптера і визначатиметься його характеристиками.

Інтенсивність обслуговування m буде вираховуватись так:

$$m = \frac{Tr}{Fl}, \quad (4)$$

де Tr (Transmit rate) – швидкість передачі даних мережевим інтерфейсом, біт/с; Fl (Frame length) – розмір кадру каналного рівня, біт. Максимальне значення довжини пакета 1518 байтів.

Для мережевих карт, які використовуються в сучасному мережевому обладнанні, а це, як правило, 1Gb Ethernet Controller, $m = 1000 \cdot 1024 \cdot 1024 / 1518 \cdot 8 = 86345$ (пак/с).

Значення $m = 86345$ пак/с – це максимально можлива інтенсивність обслуговування мережевої карти. Графік, на якому проводились дослідження, являв собою трансляцію чотирьох телеканалів у форматі MPEG2 [5]. Бітрейт одного такого потоку становить в середньому 5 Мбіт/с за умови використання CBR кодування. Отже, сумарний бітрейт від чотирьох трансляцій становитиме 20 Мбіт/с, тому за максимально можливою інтенсивністю обслуговування вважатимемо таку, за якої не буде втрат пакетів, тобто таку, яка зможе обслужити потік заданої інтенсивності. Отже, за формулою (4), значення інтенсивності обслуговування m дорівнює:

$$m = 20 \cdot 1024 \cdot 1024 / 1518 \cdot 8 = 1727 \text{ (пак/с)}.$$

Варто зауважити, що задане значення може змінюватись, оскільки розмір кадру Ethernet може змінюватись в межах від 64 до 1500 байтів.

З урахуванням наведеної вище формули (3) для p_n , вираз для середнього числа пакетів, що знаходяться в системі обслуговування, набуде вигляду:

$$L_s = \begin{cases} \frac{r \cdot [1 - (N+1) \cdot r^N + N \cdot r^{N+1}]}{(1-r) \cdot (1-r^{N+1})}, & r \neq 1 \\ \frac{N}{2}, & r = 1 \end{cases} \quad (5)$$

L_s – це середнє число пакетів, що знаходяться в системі.

Варто зазначити, що значення параметра $\rho = \lambda/\mu$ не обов'язково має бути меншим за одиницю. Це легко побачити інтуїтивно, оскільки число пакетів, що допускаються в обслуговуючу систему,

контролюється шляхом введення обмеження на довжину черги, а не співвідношенням між інтенсивностями вхідного і вихідного потоків.

Знаючи середнє число пакетів L_s , які знаходяться в системі обслуговування, можна знайти середню тривалість перебування пакета в системі:

$$T_s = \frac{L_s}{I \cdot (1 - p_N)}, \quad (6)$$

де T_s – середня тривалість перебування пакета в системі.

Із отриманих значень середнього числа пакетів, що знаходяться в системі, та середньої тривалості перебування пакета в системі можна знайти ще дві величини, а саме:

- середнє число пакетів, які знаходяться в черзі на обслуговування L_o

$$L_o = L_s - \frac{I \cdot (1 - p_N)}{m} \quad (7)$$

- середня тривалість перебування пакета в черзі на обслуговування T_o

$$T_o = \frac{L_o}{I \cdot (1 - p_N)} \quad (8)$$

Аналіз результатів досліджень. Для кращого розуміння результатів досліджень графічно подамо імовірності перебування в системі заданого числа пакетів p_n (розраховується за формулою (3)) для різних значень n (на рис. 5).

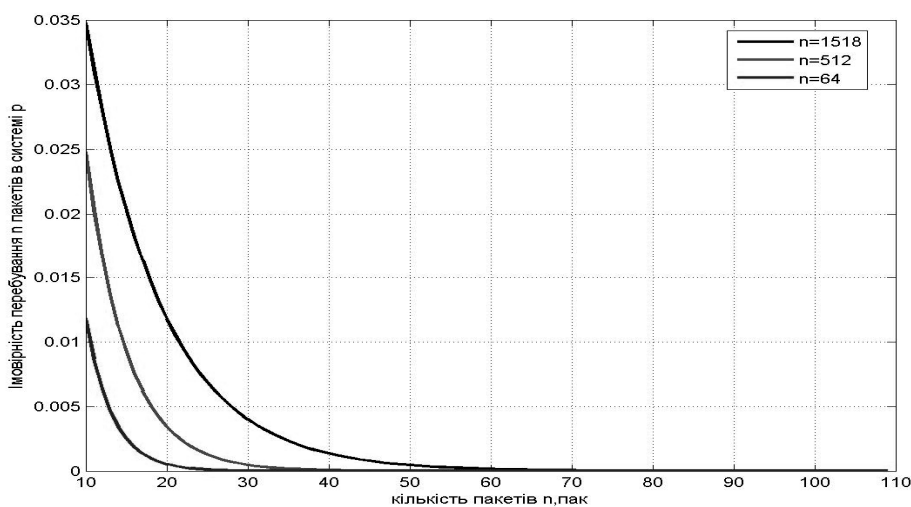


Рис. 5. Імовірність перебування в системі p_n заданого числа пакетів n , для трьох різних значень довжини пакета

На рис. 6 наведено залежність довжини черги, а саме середньої кількості пакетів, які перебувають в системі, від завантаженості обслуговуючого пристрою. Оскільки інтенсивність обслуговування m є постійною величиною і визначається параметрами обслуговуючого пристрою, то можна стверджувати, що довжина черги залежатиме саме від інтенсивності надходження пакетів з мережі.

На рис. 7 показано залежності тривалості перебування пакета в системі від завантаженості обслуговуючого пристрою для трьох значень довжини пакета. Береться мінімальне значення довжини пакета $n=64$ Байти, максимальне $n=1518$ Байтів, та проміжне $n=512$ Байти.

Рис. 7 відображає залежність тривалості перебування пакета в системі від завантаженості обслуговуючого пристрою. Завантаженість обслуговуючого пристрою, як вже було сказано вище, визначатиметься інтенсивністю вхідного потоку λ .

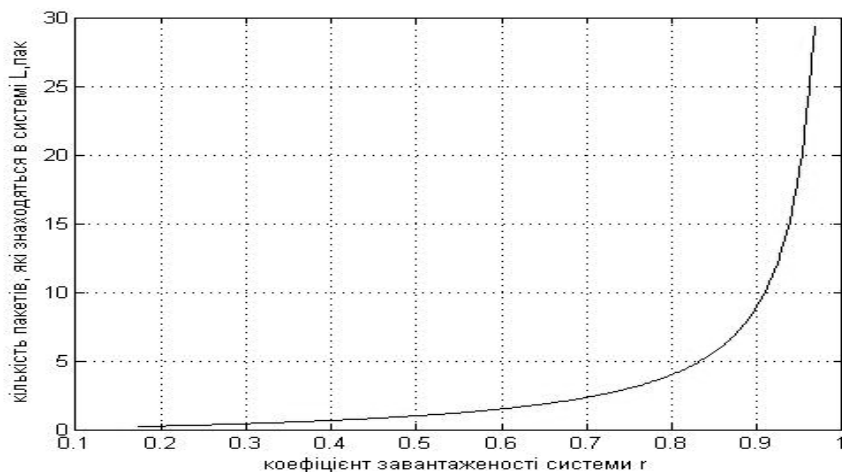


Рис. 6. Середня довжина черги залежно від завантаженості системи обслуговування

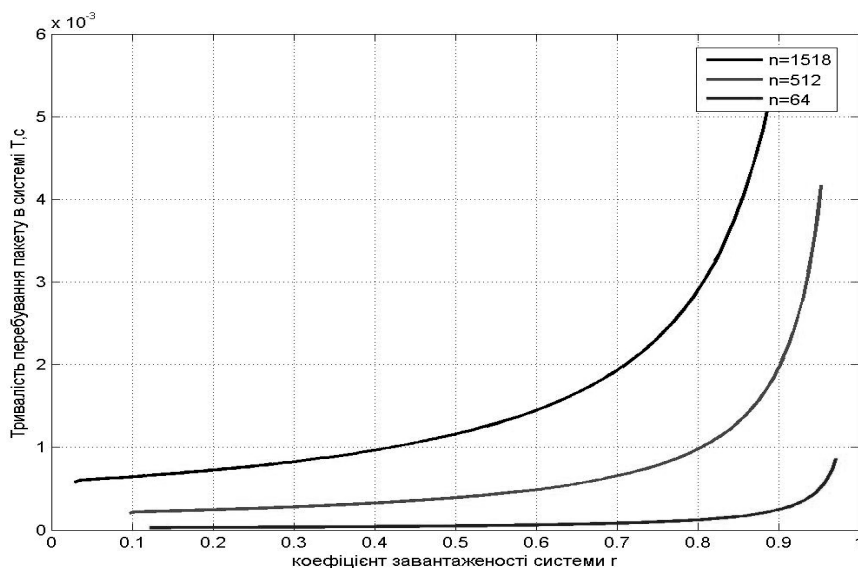


Рис. 7. Середня тривалість перебування пакета в системі залежно від завантаженості обслуговуючого пристрою

Висновки. У роботі розглянуто основні принципи буферизації даних, проведено аналіз мультимедійного трафіку корпоративної телекомунікаційної мережі передачі даних. Опираючись на результати проведених досліджень мультимедійного трафіку мережі зв'язку, можна стверджувати, що досліджуваний трафік є самоподібним з параметром Херста рівним 0,67. Для такого типу трафіку, використання буферизації є необхідним, з метою забезпечення задовільної якості послуг. Найближчим для досліджуваного трафіку виявився нормальний розподіл. Для визначення параметрів мультимедійного трафіку підібрано наближену математичну модель, яка дасть змогу визначити параметри оцінки якості обслуговування. Для підвищення ступеня адекватності результатів досліджень у подальших дослідженнях буде проведено детальніше аналітичне моделювання. Представлено залежності числа пакетів в буфері від завантаженості системи, а також середній час перебування пакетів різного розміру в буферній пам'яті залежно від завантаженості обслуговуючого пристрою. Проведений аналіз результатів дослідження показав, що із зростанням коефіцієнта завантаженості системи відповідно зростатиме середня довжина черги та тривалість перебування пакету в системі.

1. Jim Gettys *The criminal mastermind: bufferbloat* [Електронний ресурс]/ 2010. Режим доступу до статті: <https://gettys.wordpress.com/2010/12/03/introducing-the-criminal-mastermind-bufferbloat/>.
2. Тимченко О. В, Кирик М.І, Плєсканка Н.М. Аналіз проходження мультимедійного трафіку в

мережі доставки контенту. *Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць*. – Львів: Українська Академія Друкарства, № 25. – 2011. – С. 109–115. 3. Кобзарь А. И. *Прикладная математическая статистика*. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с. 4. Клейнрок Л. *Теория массового обслуживания*. Пер. с англ./Пер. И. И. Грушко; ред. В. И. Нейман. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с. 5. Кирик М.І, Плесканка Н.М. Дослідження впливу параметрів кодеку х264 на якість відеосигналу // *Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”*. – 2011. – № 705. – С.161–166.

UDK 004.7: 62-519: 621.391

S. Rajba

University of Bielsko-Biala, Poland,
Department of Electrical Engineering and Automatic

A WIRELESS SENSOR NETWORK WITH A RANDOM CONTROL

© Rajba S., 2012

Наведено метод випадкового керування передаванням у безпроводній сенсорній мережі. Інноваційність роботи полягає в концепції безпроводної сенсорної мережі (БСМ) з випадковою в часі односторонньою передачею, використовуючи одну радіочастоту. Застосовуючи середнє значення за час спостереження надходження пуассонівського потоку PASTA (Poisson Arrival See Time Averages) для моделювання БСМ, проаналізовано виникнення колізії під час передавання для керування нею.

Ключові слова: безпроводна сенсорна мережа (БСМ), середнє значення за час спостереження надходження пуассонівського потоку (система PASTA), ймовірність колізії, випадкове керування.

This work presents a method for random control transmission in Wireless Sensor Network (WSN) Innovativeness of this work lies in the concept of WSN with random times of one-way transmission using one single radio frequency. Using Poisson Arrivals See Time Averages (PASTA) for modeling WSN, the probability of transmission collision occurrence has been analyzed for transmitting control.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN), Poisson Arrivals See Time Averages (PASTA system), probability of collision, random control.

Problem formulation. The goal of this work is to define and to analyze test the assumptions for the accomplishment of a wireless sensor network (WSN) as a collective network (many-to-one) with random transmitting time control of nodes to WSN receiving base (sink). It should be emphasized that we analyze the concept of WSN network with random time control of one-way transmission using one single radio frequency. Using PASTA system (Poisson Arrivals See Time Averages) for modeling WSN network, probability of transmission collision occurrence has been analyzed [1]. The advantage of this solution is its simplicity in terms of the system and the equipment (hardware) which brings a number of further advantages related with the use of this network (a very high reliability, complete independence of information sources, easy re-configuration and mobility of the network, economy of sensor-sender power sources).

Evaluation of recent publications in the explored issue. The concept of aggregate wireless network [2, 3], is the transmission of information from many nodes (sources equipped with radio communication system) to one base station (sink). Task of the base station to accept information from different nodes and process for the user. The radio is a new issue, because it requires a completely different