

УДК 681.325

М.І. Науменко¹, Ю.В. Стасєв²¹ Департамент військової освіти та науки Міністерства оборони України, Київ² Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків**МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ПЕРЕРОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ ЛАНКИ NGN-МЕРЕЖІ**

У статті проведено дослідження пропускної спроможності пучка каналів ланки передачі даних NGN-мережі, проаналізовані характеристики мультисервісного навантаження при модернізації існуючої базової інфокомунікаційної мережі, отримані аналітичні вирази для розрахунків коефіцієнта скупченості об'єднаного навантаження, норми на середні втрати транзакцій та метрики вузлів мережі передачі даних, на основі яких запропонований метод оперативного перерозподілу навантаження ланки NGN-мереж.

Ключові слова: NGN-мережа, інфокомунікаційна мережа, ланка передачі даних, пропускна спроможність, навантаження, пучок каналів, транзакція.

Вступ**Постановка проблеми і аналіз літератури.**

Проблеми інтеграції різних видів зв'язку, включаючи інформаційний, системний і мережевий аспекти, вже протягом ряду років є найактуальнішими в області телекомунікації [1]. Розширення потреб користувачів у нових видах зв'язку із високими швидкостями передачі інформації, що вимагає суттєво великих значень пропускної здатності, призвело до використання систем комутації п'ятого покоління, а це, в свою чергу, поставило питання про можливість модернізації існуючих інфокомунікаційних мереж на базі концепції NGN (Next Generation Network) – побудові мереж зв'язку наступного покоління, які реалізують другий рівень інтеграції і забезпечують користувачів широкосмуговими видами зв'язку: аудіо, відео, передача даних, мультимедіа тощо.

На сьогодні проводяться інтенсивні дослідження у області теорії побудови й експлуатації NGN-мереж [1 – 3]. Серед комплексу проблем, які вирішуються в цій області, однією з основних є проблема оптимальної, з погляду розподілу мережевих ресурсів, побудови вузла комутації (ВК), головним питанням якої є забезпечення раціонального використання мережевих ресурсів і необхідної якості обслуговування користувачів [4 – 6]. Вирішення цієї проблеми вимагає, насамперед, розробки методів розрахунку пропускної здатності мережі, особливо оперативного її перерозподілу під час перевантаження, й оцінки якості обслуговування користувачів. Враховуючи структурну складність NGN-мереж, доцільно спочатку вирішити дану проблему стосовно окремої ланки мережі.

На сьогодні є ряд методик та алгоритмів розрахунку мультисервісного навантаження [7 – 11], але вони не припускають випадку, коли NGN-мережа створюється в умовах безперервного функціонування базової модернізуємої інфокомунікаційної мережі.

Тому метою даної статті є розробка методу перерозподілу пропускної спроможності пучка каналів ланки передачі даних NGN-мережі при безперервному функціонуванні базової мережі, на базі якого запропонувати відповідний алгоритм розрахунку навантаження. Пропонується наступна **послідовність дій**: 1) дослідити пропускну спроможність ланки передачі даних NGN-мережі та проаналізувати характеристики мультисервісного навантаження при модернізації існуючої базової інфокомунікаційної мережі (ІКМ); 2) запроектувати розподіл навантаження для ділянки NGN-мережі; 3) довести метод перерозподілу навантаження ланки NGN-мережі.

1. Аналіз пропускної спроможності ланки передачі даних NGN-мережі

Одним з головних завдань при побудові сучасних NGN-мереж є надання необхідної якості обслуговування (QoS) різним видам трафіка. До технологій, що володіють здатністю забезпечити задане значення QoS, необхідно, в першу чергу, віднести Frame Relay, ATM, а також MPLS. Застосування кожної з них дає можливість внести в архітектуру протоколу механізм утворення віртуальних маршрутів, що дозволяє розглядати процес їх надання для потоків, що надходять, аналізуються на рівні з'єднання, аналогічно процесу, який має місце при занятті маршруту в мережі з комутацією каналів. Це означає, що моделі і методи оцінки показників передачі навантаження, розвинені в теорії телетрафіка, при аналізі класичних систем зв'язку можна перенести на моделі, які з'являються при описі процесу передачі мультимедійного навантаження в сучасних NGN-мережах.

Розглянемо повнодоступний пучок місткістю V каналів, на які поступають потоки транзакцій від джерел n різних категорій. Кожна транзакція i -ї категорії ($i = 1, n$) вимагає для свого обслуговування m_i каналів ($m_i \geq 1$), які одночасно займаються при

встановленні з'єднання і також одночасно звільняються після завершення сеансу зв'язку. Нехай транзакції і-ї категорії утворюють простий потік з інтенсивністю λ_i , а середня тривалість обслуговування окремого виклику є h_i . Потоки транзакцій різних категорій вважаються статистично незалежними, а поточний стан системи однозначно характеризується вектором $X = (x_1, \dots, x_n)$, де x_i – число обслуговуваних транзакцій і-ої категорії. При цьому загальна кількість зайнятих каналів дорівнює $Z_x = \sum_{i=1}^n m_i x_i$.

Множина Ω станів системи утворюється сукупністю векторів X , компоненти яких задовольняють умовам $x_i \geq 0$ при $i = \overline{1, n}$ і $Z_x \leq V$.

Для стану $X \in \Omega$ ймовірність p_x виражається співвідношенням

$$p_x = p_0 \prod_{i=1}^n \frac{y_i^{x_i}}{x_i!}, \quad (1)$$

де $y_i = \lambda_i h_i$, а ймовірність p_0 обчислюється за такою формулою:

$$p_0 = \left[\sum_{x \in \Omega} \prod_{i=1}^n \frac{y_i^{x_i}}{x_i!} \right]^{-1}, \quad (2)$$

яка витікає з умови нормування ймовірностей

$$\sum_{x \in \Omega} p_x = 1.$$

Транзакція k -ої категорії ($k = \overline{1, n}$) буде втрачена, якщо у момент її надходження стан системи задовольняє умові

$$Z_x > V - m_k, \quad (3)$$

тобто кількість вільних каналів в пучку менше, ніж потрібно для обслуговування транзакції. Отже, індивідуальна ймовірність втрат для транзакцій k -ої категорії є

$$\pi_k = \sum_{x \in \Omega_k^*} p_x,$$

де Ω_k^* – підмножина тих станів $X \in \Omega$, для яких виконана нерівність (3). Тоді, вважаючи на (1) і (2), остаточно одержуємо:

$$\pi_k = \sum_{x \in \Omega_k^*} \prod_{i=1}^n \frac{y_i^{x_i}}{x_i!} / \sum_{x \in \Omega} \prod_{i=1}^n \frac{y_i^{x_i}}{x_i!}.$$

У кожному стані X втрачаються транзакції тих категорій, для яких виконується умова (3). Вони утворюють множину, що дозволяє визначити загальне втрачене навантаження:

$$Y_{\text{пот}} = \sum_{x \in \Omega} \sum_{j \in J_x^*} y_j m_j p_x.$$

Сумарне навантаження, що надходить, є

$$Y_{\text{пост}} = \sum_{j=1}^n y_j m_j, \text{ і це дає можливість обчислити}$$

загальну ймовірність втрат по навантаженню:

$$\pi_n = Y_{\text{пот}} / Y_{\text{пост}} =$$

$$= \sum_{x \in \Omega} \left(\sum_{j \in J_x^*} y_j m_j \right) \prod_{i=1}^n \frac{y_i^{x_i}}{x_i!} / \left(\sum_{j=1}^n y_j m_j \right) \sum_{x \in \Omega} \prod_{i=1}^n \frac{y_i^{x_i}}{x_i!}. \quad (4)$$

Аналогічним чином розраховується ймовірність втрат за транзакціями:

$$\pi_\tau = \sum_{x \in \Omega} \left(\sum_{j \in J_x^*} y_j \right) \prod_{i=1}^n \frac{y_i^{x_i}}{x_i!} / \left(\sum_{j=1}^n y_j \right) \sum_{x \in \Omega} \prod_{i=1}^n \frac{y_i^{x_i}}{x_i!}. \quad (5)$$

У розрахунках найчастіше використовують середнє значення інтенсивності обслушеного навантаження, що обчислюється як математичне сподівання випадкової величини $i(t)$:

$$M[i(t)] = \sum_{i=1}^V i \cdot p_j,$$

де p_j – ймовірність того, що в довільний момент часу в пучку з V сполучних пристроїв зайнято рівно j пристроїв, $j = \overline{0, V}$.

Іншою важливою характеристикою випадкового процесу, що описує функціонування пучка сполучних пристроїв при обслуговуванні транзакцій NGN-мереж, є дисперсія навантаження, яке вже обслуговано:

$$D[i(t)] = \sum_{i=1}^V (i - M[i(t)])^2 \cdot p_j.$$

Скупченість навантаження z вимірюється відношенням дисперсії навантаження D до її математичного сподівання Y :

$$z = D / Y.$$

Якщо на пучок сполучних пристроїв поступають відразу декілька (n) потоків транзакцій, то математичні сподівання Y_i цих навантажень підсумовуються. Для статистично незалежних потоків також підсумовуються і дисперсії D_i відповідних навантажень. Таким чином, математичне сподівання Y і дисперсія D сумарного навантаження розраховуються по формулах:

$$Y_\Sigma = \sum_{i=1}^n Y_i; \quad D_\Sigma = \sum_{i=1}^n D_i.$$

Коефіцієнт скупченості об'єднаного навантаження визначається таким виразом:

$$z_\Sigma = \frac{D_\Sigma}{Y_\Sigma} = \sum_{i=1}^n D_i / \sum_{i=1}^n Y_i. \quad (6)$$

Розглянемо окремий випадок, коли для обслуговування кожного виклику, що надійшов, потрібне однакове число (v) вільних каналів. Тоді у будь-який момент часу обслуговуване навантаження на канали буде в v раз більше обслуговуваного навантаження по транзакціях: $i(t) = v \cdot j(t)$. Якщо потік транзакцій простий і характеризується параметром λ , то навантаження, що поступає за транзакціями, буде пуасонівським, а його математичне сподівання Y_B і дисперсію D_B можна обчислити як

$$Y_B = D_B = \lambda \cdot h,$$

де h – середній час обслуговування однієї транзакції.

У теоретичному нескінченному пучку каналів, як i в реальному пучку, число зайнятих каналів буде в v раз більше числа обслуговуваних транзакцій. Звідси витікають вирази, що дозволяють визначити інтенсивність навантаження, що надходить на канали та його дисперсію:

$$Y_k = v \cdot Y_B = v \cdot \lambda \cdot h; \quad D_k = v^2 \cdot D_B = v^2 \cdot \lambda \cdot h. \quad (7)$$

З приведених формул видно, що дане навантаження є скупченим. Це обумовлено неординарністю потоку занять каналів. При цьому коефіцієнт скупченості z_k є рівним кількості каналів, які потрібні для обслуговування однієї транзакції:

$$z_k = D_k / Y_k = v. \quad (8)$$

Під час надходження транзакцій від джерел різних категорій NGN-мережі формули (7) будуть справедливими для математичного сподівання і дисперсії навантаження на канали, яка створюється транзакціями i -ї категорії ($i = \overline{1, n}$):

$$Y_i = v_i \cdot \lambda_i \cdot h_i; \quad D_i = v_i^2 \cdot \lambda_i \cdot h_i,$$

тому коефіцієнт скупченості об'єднаного навантаження на канали

$$z_k = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\sum_{i=1}^n Y_i} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 \cdot \lambda_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n v_i \cdot \lambda_i \cdot h_i}. \quad (9)$$

Звідси витікає, що для розрахунку ймовірності втрати транзакції в модифікованій системі S' (потік зайняття каналів обслуговування робимо ординарним за рахунок об'єднання каналів) можна скористатися першою формулою Ерланга:

$$\pi' = E(v, Y_B) = \frac{Y_B^v}{v!} \left/ \sum_{k=1}^v \frac{Y_B^k}{k!} \right.$$

З погляду статистичних характеристик процесу обслуговування транзакцій, системи S (аналізуєма система) і S' повністю еквівалентні і, зокрема, очевидно, що $\pi = \pi'$. Звідси з урахуванням співвідношень (8) і (9) слідує, що

$$\pi = E\left(\frac{V}{z_k}, \frac{Y_k}{z_k}\right). \quad (10)$$

Також відзначимо, що застосування формули (10) припускає наявність процедури обчислень за першою формулою Ерланга при нецілих значеннях числа ліній x .

Як одним з можливих варіантів, можна скористатися такою інтерполяційною формулою:

$$E(x, Y) \approx B^{1-h} B_1^h \left(\frac{B_1^2}{B \cdot B_2} \right)^{h(1-h)/2},$$

де

$$B = E(N, Y), \quad B_1 = E(N+1, Y), \\ B_2 = E(N+2, Y), \quad N = [x], \quad h = x - N.$$

2. Проектування навантаження для ділянки NGN-мережі

Коли відома кількість каналів V на деякій ділянці МСМ, завдання проектування навантаження полягає у визначенні допустимого числа N_i потоків навантаження для кожної категорії користувачів, за умови, що дотримуються встановлені вимоги до якості обслуговування транзакцій (норма ймовірності втрат ϵp_i). З математичної точки зору сформульоване завдання є невизначеним, оскільки є n невдомих змінних (N_i при $i = \overline{1, n}$) і каналні ресурси можуть в різних пропорціях поділятися між відповідними потоками навантаження різних категорій. Для виключення цієї невизначеності задамо профіль навантаження – $k_1 : k_2 : \dots : k_n$, тобто

$$\frac{N_1}{k_1} = \frac{N_2}{k_2} = \dots = \frac{N_n}{k_n} = x = \text{const}. \quad (11)$$

В результаті потрібно визначити єдину невідому величину x , через яку виражаються всі i -ті змінні:

$$N_i = x \cdot k_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (12)$$

Для розрахунку навантаження для ділянки NGN-мережі використаємо описаний у підрозділі 1 метод, а також процедуру умовного розділення пропускної спроможності пучка.

2.1. Розрахунок коефіцієнта скупченості об'єднаного навантаження. Обчислимо коефіцієнт скупченості навантаження, що надходить. Для кожної категорії джерел навантаження ($i = \overline{1, n}$) інтенсивність λ_i сумарного потоку транзакцій визначимо за формулою $\lambda_i = N_i \alpha_i$, де α_i – інтенсивність індивідуального потоку транзакцій i -ї категорії. Підставляючи цю рівність в (9), та враховуючи (12), отримуємо, що

$$z_k = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 k_i \alpha_i h_i}{\sum_{i=1}^n v_i k_i \alpha_i h_i}. \quad (13)$$

Таким чином, коефіцієнт скупченості не залежить від кількісного складу потоків навантаження різних класів, а визначається тільки профілем навантаження, за допомогою якого задається відносна вага кожної категорії.

2.2. Розрахунок норми на середні втрати транзакцій. У NGN-мережі рівень якості обслуговування транзакцій нормується окремо для кожного виду послуг, що надаються, тому вимоги до втрат транзакцій на ділянці NGN-мережі записуються у вигляді сукупності нерівностей $\pi_i \leq p_i$, де $i = \overline{1, n}$. Отже, при $i = \overline{1, n}$ повинні виконуватися нерівності

$$\frac{m_i}{z_k} \pi \leq p_i \quad (14)$$

У нерівностях (14) є єдина невідома величина $\pi \leq z_k \frac{p_i}{m_i}$, тобто $\pi = z_k \min_i \frac{p_i}{m_i}$, що можна прийняти за норму для середніх (загальних) втрат транзакцій.

2.3. Розрахунок метрик вузлів NGN-мережі.

Для визначення невідомої величини x у виразі (12) необхідно заздалегідь розрахувати метрики вузлів мережі передачі даних NGN-мережі. Коефіцієнт завантаження m -го вузла є тією частиною пропускної спроможності вузла, яка у даний момент часу безпосередньо зайнята передачею пакетів, тобто

$$k_{B_m} = t_{B_m} \cdot \frac{P_{B_m}}{l_p}, \quad (15)$$

де t_{B_m} – час передачі пакету даних через m -й вузол; l_p – об'єм пакету даних, переданого мережею; P_{B_m} – номінальна пропускна спроможність m -го вузла.

Середня затримка пакету у вузлі має вигляд [5]:

$$T_p = \sum_{m=1}^M \frac{l_p}{P_{ec_m} \cdot k_{B_m}} / t, \quad (16)$$

де M – число вузлів мережі; P_{ec_m} – середня ефективна пропускна спроможність вузла m .

Під часом збіжності будемо розуміти інтервал часу від моменту початку розповсюдження довільним вузлом службової інформації (всієї або частини таблиці маршрутизації) до моменту отримання цієї інформації самим видаленим по відношенню до вузла-джерела, тобто

$$T_{зб} = \sum_{m=1}^M \max(T_{gq_m}) / t, \quad (17)$$

де T_{gq} – діагональна матриця мінімальних затримок передачі пакету від вузла g у вузол q ($g, q = \overline{1, M}$).

Вважаючи на те, що ймовірність помилки в пакеті даних можна визначити як $P_p = 1 - (1 - P_{bit})^p$, де P_{bit} – ймовірність спотворення одного біта передачі даних, а також враховуючи вирази (15) – (17), пропонуємо узагальнений вираз для розрахунку метрик вузлів МПД МСМ у вигляді:

$$\mathfrak{Z}_m = \frac{K_n \left((P_{ec_m} - V_{k_m} / T_p) / P_{B_m} \right) \cdot t}{T_{зб} (1 - P_p) (V_{k_m} / l_p)}, \quad (18)$$

де K_n – коефіцієнт нормування; V_{k_m} – об'єм корисної інформації, яка передана через вузол m за час t .

3. Метод перерозподілу навантаження пучка каналів ланки NGN-мережі

Для знаходження невідомої величини x (вираз (12)), запропонуємо наступний метод.

При найпростішому випадку ($n = 2$) позначимо через $F(N_1, N_2)$ середню ймовірність втрат для даного пучка як функцію від числа індивідуальних потоків навантаження з невідомими змінними N_1 і N_2 , такими, що:

$$N_1/k_1 = N_2/k_2;$$

$$F(N_1, N_2) = p,$$

тобто на декартовій площині координатними осями N_1 і N_2 (передбачається, що в загальному випадку кількість потоків навантаження може приймати і нецілі значення) задано деяку криву.

Точки перетину цієї кривої з осями координат визначаються з рівнянь $F(N_1^*, 0) = p$, які відповідають випадкам, коли пучок обслуговує транзакції тільки однієї категорії. Замінімо цю криву на лінію, що проходить через точки $(N_1^*, 0)$ і $(0, N_2^*)$, яка задається рівнянням

$$\frac{N_1}{N_1^*} + \frac{N_2}{N_2^*} = 1. \quad (19)$$

Наближеним рішенням поставленої задачі будуть координати точки перетину двох прямих, а для отримання результату в аналітичному вигляді необхідно розв'язати елементарну систему лінійних рівнянь

$$\begin{cases} N_1/k_1 = N_2/k_2; \\ N_1/N_1^* + N_2/N_2^* = 1, \end{cases} \quad (20)$$

з якої слідує, що

$$N_i = k_i / (\beta_1 + \beta_2), \quad (21)$$

де $\beta_i = k_i / N_i^*$, $i = 1, 2$.

У загальному, випадку, коли $n > 2$, аналогічно викладеному вище, при кожному $i = \overline{1, n}$ можна розглядати уявну ситуацію, коли сумарний потік складається тільки з транзакцій i -ї категорії.

Навантаження, що в цьому випадку надходить, дорівнює

$$Y_k = N_i \alpha_i v_i h_i$$

і має коефіцієнт скупченості $z_k = v_i$.

Отже, за формулою (10) можна визначити ймовірність втрати транзакції:

$$\pi = E \left(\frac{V}{v_i}, \frac{Y_k}{v_i} \right) = E \left(\frac{V}{v_i}, N_i \alpha_i h_i \right).$$

Найбільше значення, при якому виконується ця рівність,

$$E \left(\frac{V}{v_i}, N_i \alpha_i h_i \right) = p \quad (22)$$

і, відповідно, дотримуються задані вимоги до якості обслуговування транзакцій, позначається як N_i^* і повністю характеризує пропускну спроможність даного пучка каналів щодо навантаження i -ї категорії.

Якщо у рівнянні (22) число V/v_i не є цілим, то необхідно провести інтерполяцію.

При сумісному обслуговуванні транзакцій декількох категорій припускати, що середня ймовірність втрат залишиться в нормі, якщо допустимо кількість потоків навантаження кожної категорії

узяти пропорційною відповідній величині N_i^* , тобто $N_i = \beta_i N_i^*$, де β_i є часткою пропускної спроможності пучка, яка при її умовному розподілі відводиться навантаженню i -ї категорії.

Тоді

$$\sum_{i=1}^n \beta_i = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N_i^*} = 1,$$

тобто

$$x \cdot \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{N_i^*} = 1$$

і остаточно

$$x = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{N_i^*}. \quad (24)$$

Висновки

Для перерозподілу навантаження ланки NGN-мережі необхідно визначити прийнятну кількість індивідуальних потоків мультисервісного навантаження, які обслуговуються повнодоступним пучком каналів при відомій місткості пучка і заданих вимогах до якості обслуговування транзакцій. Для цього пропонується виконання наступної послідовності дій:

- 1) обчислити коефіцієнт скупченості навантаження, що надходить;
- 2) знайти норму на середні втрати транзакцій;
- 3) знайти метрики розглядаємих вузлів;
- 4) визначити пропускну спроможність пучка каналів щодо навантаження i -ї категорії;
- 5) розрахувати коефіцієнт, через який встановлюється взаємозв'язок між профілем мультисервісного навантаження і чисельністю відповідної групи потоків;
- 6) обчислити допустиме число індивідуальних потоків навантаження i -ї категорії.

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ЗВЕНА NGN-СЕТИ

Н.И. Науменко, Ю.В. Стасев

В статье проведено исследование пропускной способности пучка каналов звена передачи данных NGN-сети, проанализированы характеристики мультисервисной нагрузки при модернизации существующей базовой инфокоммуникационной сети, получены аналитические выражения для расчетов коэффициента скупченности объединенной нагрузки, нормы на средние потери транзакций и метрики узлов сети передачи данных, на основе которых предложен метод оперативного перераспределения нагрузки звена NGN-сети.

Ключевые слова: NGN-сеть, инфокоммуникационная сеть, звено передачи данных, пропускная способность, нагрузка, пучок каналов, транзакция.

METHOD OF THE OPERATIVE REDISTRIBUTION LOADING OF NGN-NET

N.I. Naumenko, Yu.V. Stasev

Research of carrying capacity of bunch ductings net of communication of data a NGN is conducted in the article, descriptions of the multiservice loading are analysed during modernization of existent backbone infocommunication network, analytical expressions are found for the calculations of coefficient of congestion of the incorporated loading, norms on the middle losses of transactions and birth-certificate of knots of network of transmission information which the method of operative redistribution of loading of link of NGN-net is offered on the basis of.

Keywords: NGN-link, infocommunication network, link of communication of data, carrying capacity, loading, bunch of ductings, transaction.

Напрямок подальших досліджень є модифікація запропонованого методу для випадку, коли сумарний потік транзакцій NGN-мережі буде мати розподіл, який суттєво відхиляється від нормального та описується негаусовим стохастичним процесом.

Список літератури

1. Бакланов И.Г. NGN – принципы построения и организации / И.Г. Бакланов. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 399 с.
2. Семенов Ю.В. Проектирование сетей связи следующего поколения / Ю.В. Семенов. – СПб.: Наука и техника, 2005. – 240 с.
3. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2001. – 672 с.
4. Бэкман Д. Системы обмена сообщениями на новом витке развития / Д. Бэкман // Сети и системы связи. – 1999. – № 2. – С. 50-60.
5. Зайченко Ю.П. Комп'ютерні мережі / Ю.П. Зайченко. – К.: Слово, 2003. – 283 с.
6. Королёв А.В. Управление сетевыми ресурсами / А.В. Королёв, Г.А. Кучук, А.А. Пашичев. – Х.: ХВУ, 2004. – 224 с.
7. Кучук Г.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Пашичев. – М. Физматлит, 2006. – 226 с.
8. Кучук Г.А. Метод дослідження фрактального мережного трафіка / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 5 (45), – С. 74-84.
9. Кучук Г.А. Моделирование трафика мультисервисной розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук, І.Г. Кіріллов, А.А. Пашичев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 9 (58). – С. 50-59.
10. Кучук Г.А. Моделирование трафика изолированного пульсирующего источника / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 1. – С. 168-173.
11. Еришов В.А. Метод расчета пропускной способности звена Ш-ЦСИС с технологией АТМ при мультисервисном обслуживании / В.А. Еришов, В.В. Ковалев // Электросвязь. – 2000. – № 3. – С. 20-23.

Надійшла до редколегії 17.08.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.І. Карпенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.