

УДК 621.396

Н.В. Рвачова (канд. техн. наук)
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, м. Полтава
кафедра комп'ютерної інженерії
e-mail: rvacheva_n@mail.ru

АЛГОРИТМ МОДЕЛЮВАННЯ ДОСТУПНОЇ ДЛЯ ТРАФІКУ ДАНИХ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ МЕРЕЖІ

Запропоновано алгоритм визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності телекомунікаційної мережі, який засновано на експоненціальному розподілі моментів початку передачі та тривалості передачі потоків мультимедійного трафіку. З використанням програмного середовища MATLAB+Simulink розроблено модель, що імітує процес передачі потоків реального часу та трафіку даних в телекомунікаційній мережі. Адекватність моделі доведено шляхом порівняння результатів аналітичних розрахунків та імітаційних експериментів. Розроблений алгоритм та модель доцільно використовувати для коректного моделювання процесів динамічної зміни пропускної спроможності мережі.

Ключові слова: трафік, пропускна спроможність, передача даних, імітаційна модель.

Обґрунтування актуальності досліджень

Одним із важливих завдань під час моделювання телекомунікаційних мереж є наближення імітованих параметрів процесу передачі інформації до реальних [1]. Телекомунікаційними каналами, які мають фіксовану та відому пропускну спроможність, у різний час може передаватись різна кількість трафіку, тобто значення доступної пропускної спроможності каналу для окремого користувача динамічно змінюється [2].

Під час моделювання телекомунікаційних мереж пропускну спроможність доступну для даного з'єднання, зазвичай, приймають фіксованою або дискретно змінюваною [1,3]. Такий підхід не дозволяє отримувати достовірні результати досліджень та робити коректні висновки. Тому розробка адекватних моделей визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності є актуальним науково-технічним завданням.

Формулювання мети та завдань наукового дослідження

Метою наукового дослідження, суть якого викладено в статті, є забезпечення достовірної оцінки доступної для даного з'єднання пропускної спроможності мережі.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

- 1) створити аналітичну модель процесу передачі потоків мультимедійного трафіку по каналу телекомунікаційної мережі;
- 2) розробити алгоритм визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності мережі;
- 3) розробити імітаційну модель телекомунікаційної мережі з використанням запропонованого алгоритму;
- 4) обґрунтувати адекватність розробленої моделі;
- 5) застосувати розроблену модель для визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності мережі.

Аналітична модель процесу передачі потоків мультимедійного трафіку по каналу телекомунікаційної мережі

Інформаційні повідомлення, що передаються сучасними телекомунікаційними мережами з комутацією пакетів, утворюють мультимедійний трафік та трафік даних [4, 5]. Для якісної передачі мультимедійного трафіку необхідно мінімізувати затримку пакетів та джитер, що вимагає гарантованого виділення пропускної спроможності мережі. Тому, для передачі мультимедійних потоків застосовують резервування ресурсів [6]. Трафік даних має нижчий пріоритет, а пропускна спроможність для такого типу повідомлень виділяється по залишковому принципу. Щоб визначити величину доступної для трафіку даних пропускної спроможності необхідно знати яка частка ресурсів мережі зайнята мультимедійними додатками.

Відомо, що інтенсивність передачі інформації по заданому маршруту не може перевищувати пропускну спроможність найбільш «повільної» ділянки в межах цього маршруту [7]. Доступна для передачі даних пропускна спроможність кожної окремо взятої ділянки (каналу) мережі визначається відомими значеннями її технічних характеристик та величиною завантаженості, яка змінюється у часі випадковим чином. Миттєве значення пропускної спроможності каналу визначається сумарною інтенсивністю потоків, що передаються по ньому в поточний момент часу. Кожному потоку відповідає значення двох випадкових величин: моменту часу початку передачі та тривалості передачі. Для моделювання потоків, що передаються по каналу, необхідно обґрунтувати закони розподілу цих величин.

Аналіз робіт [8,9] дозволяє зробити припущення, що щільність розподілу часового інтервалу між моментами початку передачі потоків реального часу, а також щільність розподілу тривалості їх передачі відповідають експоненціальному закону.

Процес передачі потоків мультимедійного трафіку по каналу телекомунікаційної мережі можна описати використовуючи теорію масового обслуговування та теорію графів [9,10].

На рис. 1 представлено граф, який описує процес передачі потоків мультимедійного трафіку по каналу мережі.

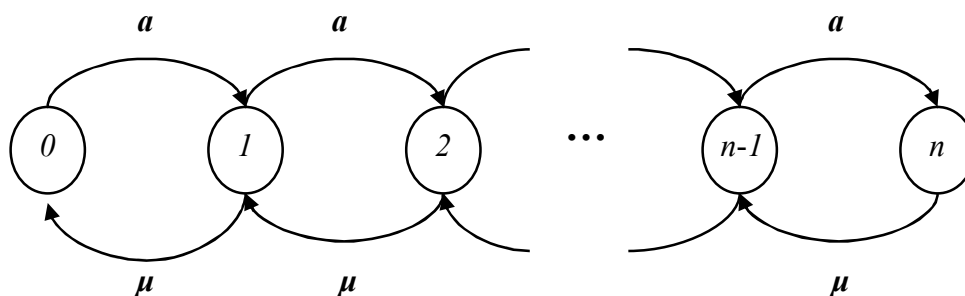


Рисунок 1 – Граф, який описує процес передачі потоків мультимедійного трафіку по каналу мережі

Вершини цього графу $0, 1, 2, \dots, n-1, n$ – відповідають кількості потоків мультимедійного трафіку, що передаються по каналу мережі.

У відповідності до формул Ерланга можна визначити імовірність знаходження процесу, що моделюється в тому чи іншому стані:

$$p_0 = \frac{\left(\frac{a}{\mu}\right)^0}{\sum_{i=0}^0 \left(\frac{a}{\mu}\right)^i}; \quad p_1 = \frac{\left(\frac{a}{\mu}\right)^1}{\sum_{i=0}^1 \left(\frac{a}{\mu}\right)^i}; \quad \dots; \quad p_n = \frac{\left(\frac{a}{\mu}\right)^n}{\sum_{i=0}^n \left(\frac{a}{\mu}\right)^i}. \quad (1)$$

де a – параметр, який визначається вимогами абонентів на передачу потоків трафіку даних (інтенсивність надходження заявок на передачу потоку від відправника).

$$a = \frac{1}{\tau}, \quad (2)$$

де τ – математичне очікування інтервалу часу між сусідніми заявками;

де μ – параметр, який визначається вимогами абонентів на тривалість передачі потоку трафіку даних.

Відповідно математичне очікування та дисперсія кількості потоків трафіку, що передаються по каналу зв'язку:

$$M_x = \sum_{x=0}^n x \cdot p_x; \quad (3)$$

$$D_x = \sum_{x=0}^n (x - M)^2 \cdot p_x. \quad (4)$$

де n – кількість потоків реального часу, що передаються мережею.

Алгоритм визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності мережі

Аналіз процесів, що відбуваються в телекомунікаційних мережах, дозволив розробити алгоритм визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності мережі. Він передбачає виконання таких етапів:

1. Введення вихідних даних.

2. Для кожного каналу j , який належить сукупності каналів того фізичного з'єднання, по якому здійснюється передача даних від відправника до адресату виконується:

2.1. Формування потоку заявок на передачу потоків трафіку даних. Інтервал часу між генерацією сусідніх заявок задається у вигляді випадкової величини, розподіленої за експоненціальним законом із щільністю розподілу:

$$f(t) = ae^{-at} \quad (5)$$

2.2. Прийняття рішення про надання згенерованій заявці ij частини пропускної спроможності каналу, яка вимагається $C_{ij} = \lambda_{ij}$,

де λ_{ij} – інтенсивність, з якою необхідно передавати потік ij трафіку даних.

Якщо в момент надходження заявки ij значення пропускної спроможності каналу, яка не використовується j більше ніж λ_{ij} , то здійснюється передача потоку ij трафіку даних по каналу j .

Тривалість передачі потоку задається у вигляді випадкової величини, розподіленої за експоненціальним законом із щільністю розподілу:

$$g(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad (6)$$

Параметр μ пов'язаний із математичним очікуванням тривалості передачі потоку трафіку даних T співвідношенням:

$$\mu = \frac{1}{T}. \quad (7)$$

Якщо у момент надходження заявки ij значення пропускної спроможності каналу, яка не використовується j менше ніж λ_{ij} , то дана заявка на передачу мультимедійного трафіку отримує відмову.

2.3. Додавання значень інтенсивності потоків трафіку, що передаються по каналу j у визначені моменти часу t_k , тобто визначення значень $\lambda_{j\Sigma}(t_k)$.

2.4. В момент часу t_k визначається доступна для трафіку даних пропускна спроможність каналу j :

$$C_{доцм.j}(t_k) = C_j - \lambda_{j\Sigma}(t_k), \tag{8}$$

де C_j – пропускна спроможність каналу j ;

$C_{доцм.j}(t_k)$ – доступна для трафіку даних пропускна спроможність каналу j в момент часу t_k .

3. Визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності всього шляху (фізичного з'єднання) в момент часу t_k :

$$C_{доцм}(t_k) = \min\{C_{доцм.j}(t_k)\}. \tag{9}$$

Розробка імітаційної моделі

Імітаційну модель визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності телекомунікаційної мережі створено у програмному середовищі MATLAB + Simulink [11,12]. Структурну схему розробленої моделі представлено на рис. 2.

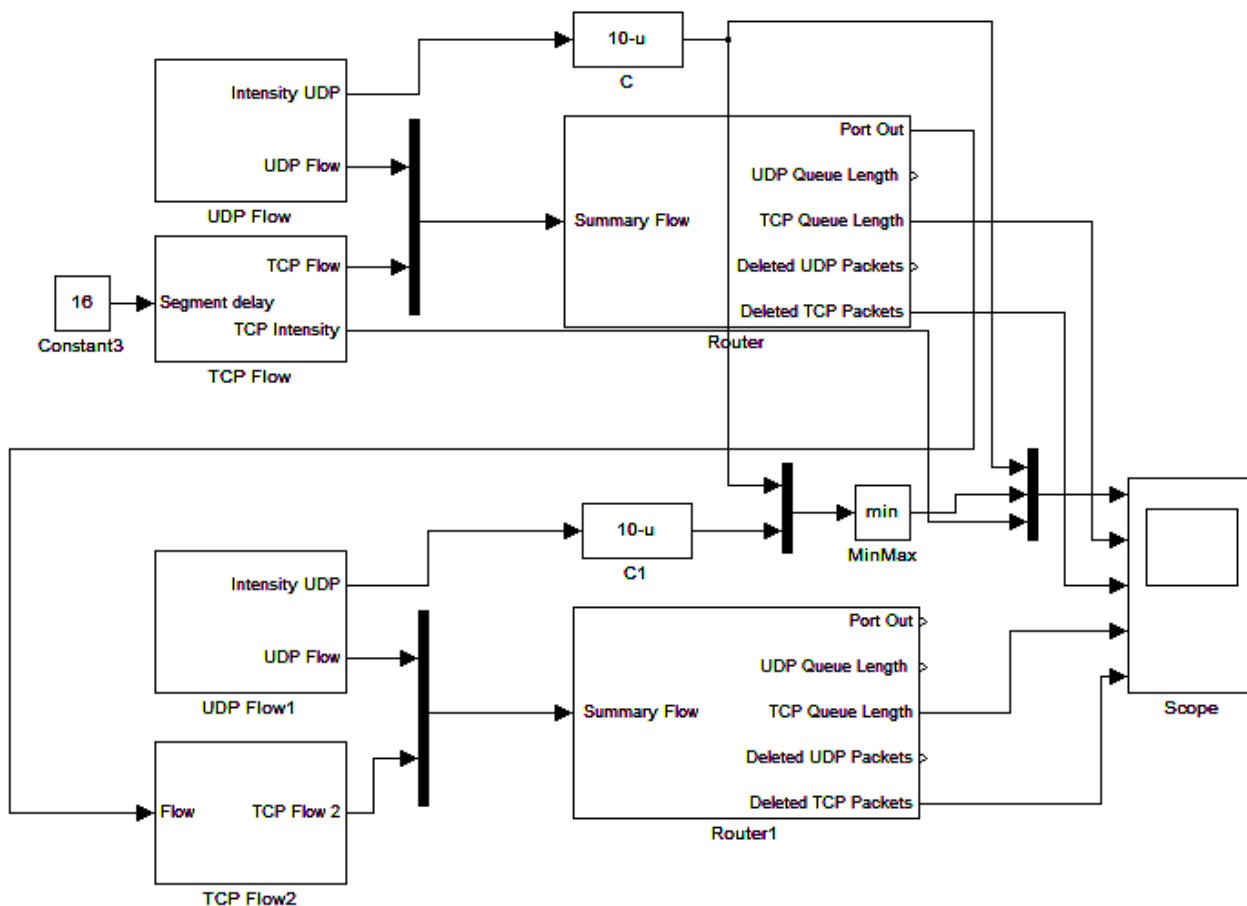


Рисунок 2 – Імітаційна модель визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності телекомунікаційної мережі

Елементи моделі імітують:

UDP Flow та UDP Flow 1 – формування потоку сегментів, що відповідають трафіку UDP; *TCP Flow* – формування потоку сегментів TCP-трафіку, що надходять у мережу; *Router* та *Router 1* – проміжний вузол та приймач, які виконують функції приймання сегментів, їх буферизації та передавання вузлу-відправнику у відповідності до алгоритму обслуговування черг; *TCP Flow 2* – потік сегментів TCP-трафіку, який надходить від елементу *Router*; *C* та *C1* – значення пропускної спроможності каналу між відправником та *Router* і між *Router* та *Router1*, відповідно; *MinMax* – призначений для визначення загальної пропускної спроможності каналу між відправником та отримувачем повідомлення; *Scope* – віртуальний реєстратор, призначений для спостереження за кількістю даних, що буферизовано в проміжному вузлі (канал №1) та у приймачі (канал №3), кількістю втрачених пакетів TCP-трафіку у проміжному вузлі (канал №2) та у приймачі (канал №4) внаслідок надлишкової інтенсивності відправлення пакетів відправником та зміни величини конкуруючого потоку.

Зазначені вище елементи моделі побудовані з використанням стандартних блоків бібліотеки Simulink Library Browser [11,12].

Обґрунтування адекватності моделі

Для перевірки коректності функціонування моделі з використанням різних початкових даних, проведено серію імітаційних експериментів. Результати одно з них графічно відображено на фрагментах осцилограм віртуального реєстратора *Scope* (рис.3).

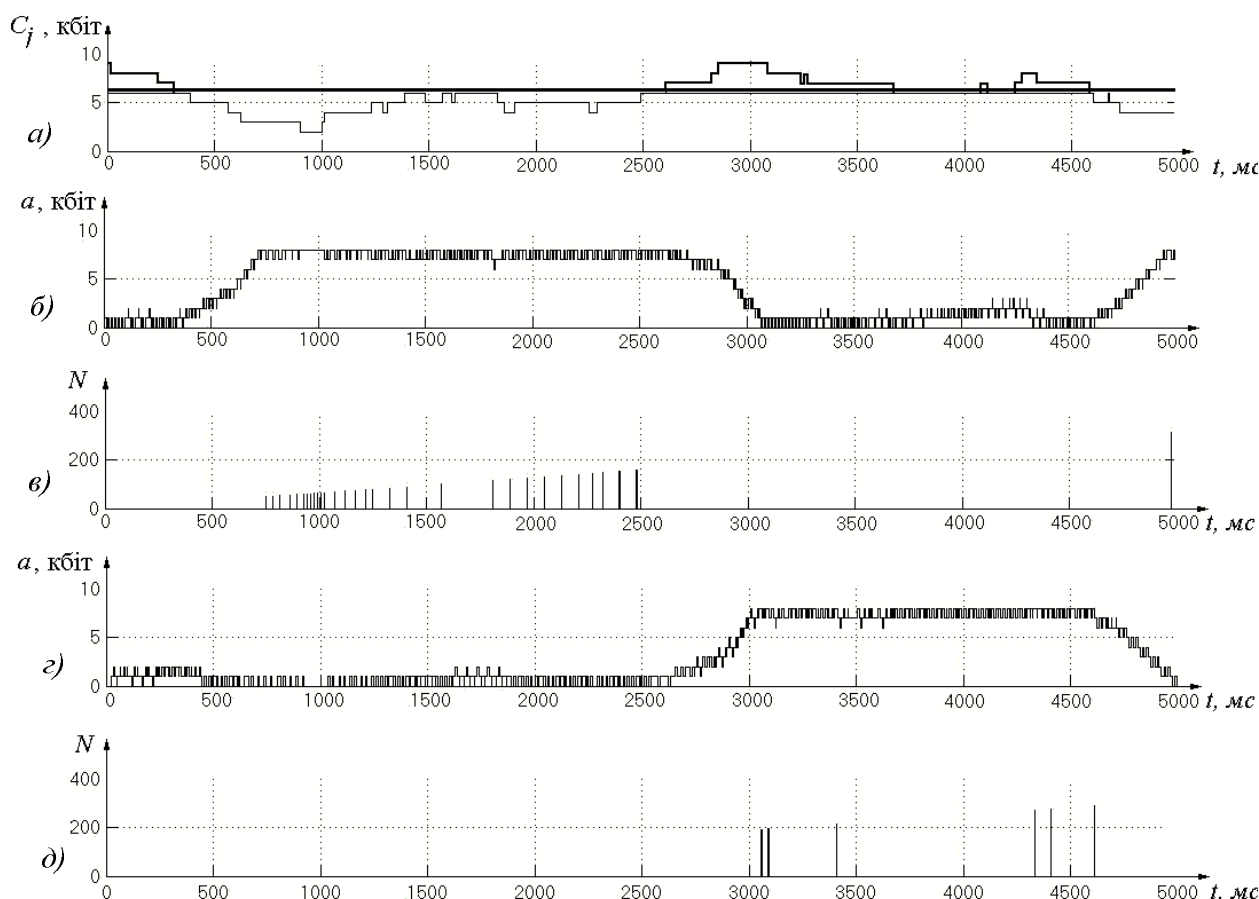


Рисунок 3 – Осцилограми віртуального реєстратора *Scope*

На представлених осцилограмах можна відстежити процеси, які відбуваються із потоками трафіку у маршрутизаторах. На осцилограмі *a* спостерігається зміна доступної пропускної спроможності для трафіку даних в залежності від зміни інтенсивності передачі

конкуруючого потоку UDP-трафіку (інтенсивність трафіку TCP та UDP-потоків, які конкурують між собою). Рис. 3б відтворює кількість даних, які накопичуються у буферах проміжного вузла та обслуговуються у порядку черги. Відповідно, в залежності від значення доступної пропускної спроможності з'єднання (рис. 3а) визначається кількість та номери сегментів, які отримають відмову в обслуговуванні на проміжному вузлі (рис. 3в). Осцилограма z відображує кількість даних, які накопичуються у буферних пристроях кінцевого маршрутизатора, на осцилограмі δ показані сегменти, втрачені під час перевищення допустимого значення пропускної спроможності мережі.

Згідно із вихідними даними пропускна спроможність фізичного каналу дорівнює 10 кбіт. У момент часу $t=1000$ мс інтенсивність конкуруючого потоку дорівнює 4 кбіт/с, якщо додати інтенсивність TCP-трафіку, то очевидно, що загальне значення перевищить можливості мережі, крім того, буфери маршрутизатора вже заповнені, тому відбувається втрата сегмента (відмова в обслуговуванні).

Отже, зазначені вище результати спостережень підтверджують коректність функціонування та адекватність пропонованої моделі в цілому.

Висновки

В процесі досліджень розроблено алгоритм визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності мережі, який заснований на використанні аналітичної моделі процесу передачі потоків мультимедійного трафіку та відомостях про технології обслуговування інформаційних потоків в сучасних телекомунікаційних мережах. Запропонований алгоритм дозволяє визначити миттєве значення досліджуваної величини.

Використовуючи алгоритм визначення доступної для трафіку даних пропускної спроможності мережі створено імітаційну модель телекомунікаційної мережі. Серія імітаційних експериментів показала адекватність функціонування моделі. Результати досліджень є підтвердженням того, що запропонований у статті алгоритм може бути застосований для коректного моделювання поточних значень доступної для трафіку даних пропускної спроможності телекомунікаційної мережі.

Список використаної літератури

1. Польщиков К.О. Управление интенсивностью передаваемых данных в информационных сетях, что осуществляется на транспортном уровне модели OSI: методы, проблемы та шляхи удосконалення / К.О. Польщиков, Н.В. Рвачова, В.В. Шкіцькій // Інформаційні інфраструктури та технології. – 2009. – Вип. 1. – С. 55 – 58.
2. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
3. Alekseev I.V. ARTCP: Efficient Algorithm for Transport Protocol for Packet Switched Networks / I.V. Alekseev, V.A. Sokolov // Proc. Of PaCT'2001. – Springer-Verlag. - 2001. – Vol. 2127. – P. 159 – 174.
4. Куроуз Дж. Компьютерные сети. Многоуровневая архитектура Интернета / Дж. Куроуз, К. Росс; [пер. с англ. В. Шрага]. - 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 765 с.
5. Столингс В. Современные компьютерные сети / В. Столингс; [пер. с англ. А. Леонтьев]. - 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
6. Вегенша Ш. Качество обслуживания в сетях IP / Ш. Вегенша; [пер. с англ. А.А. Борисенко, А.В. Журавлева]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
7. Теория сетей связи / [В.Н. Рогинский, А.Д. Харкевич, М.А. Шнепс и др.]; под ред. В.Н. Рогинского. – М.: Радио и связь, 1981. – 192 с.
8. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / [В.В. Поповський, С.О.Сабурова, В.Ф.Олійник та ін.]; за ред. В.В. Поповського. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», – 2006. – 564 с.

9. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
10. Вентцель Е.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учебное пособие для вузов / Е.А. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2002. – 383 с.
11. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения: полное руководство пользователя / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – 768 с.
12. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.

Надійшла до редакції:
25.04.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

Н.В. Рвачёва

Полтавский национальный технический университет

Алгоритм моделирования доступной для трафика данных пропускной способности сети. Предложен алгоритм определения доступной для трафика данных пропускной способности телекоммуникационной сети, который основан на экспоненциальном распределении моментов начала передачи и длительности передачи потоков мультимедийного трафика. С использованием программной среды MATLAB+Simulink разработана модель, имитирующая процесс передачи потоков реального времени и трафика данных в телекоммуникационной сети. Адекватность модели доказана путем сравнения результатов аналитических расчётов и имитационных экспериментов. Разработанный алгоритм и модель могут быть применены для корректного моделирования процессов динамического изменения пропускной способности сети.
Ключевые слова: трафик, пропускная способность, передача данных, имитационная модель.

N.V. Rvachova

Poltava National Technical University

Algorithm of Modeling Telecommunication Network Bandwidth Available for Data Traffic. One of the important tasks in telecommunication networks modeling is approximation of simulated parameters of information transmission to real values. During simulation we should take into account different types of traffic, which come from different users in different time intervals. Therefore, for each user the value of the available network bandwidth will be dynamically changing. The paper provides an algorithm of modeling telecommunications network bandwidth, available for data traffic, which takes into account real-time traffic and data traffic. It is assumed that the instantaneous value of channel bandwidth is determined by the total intensity of the streams transmitted through this channel at a given moment of time. This algorithm is based on exponential distribution of the moments of transmission start and duration of transmission of multimedia traffic streams. It allows determining the instantaneous value of network resources available for the user. The developed algorithm was applied to develop a model simulating the process of transmitting real-time streams and data traffic in a telecommunication network. The simulation was performed using MATLAB software environment. The elements of the model were constructed using standard blocks of Simulink Library Browser. To verify the correctness of model functioning we conducted a series of experiments with different input data. Oscillograms, obtained during measurements, correspond to the processes occurring in real networks. Experimental results were compared with previous analytical calculations. The comparison of the results of analytical calculations and of simulation experiments confirmed the adequacy of the algorithm and the model. The proposed algorithm can be used for correct modeling of the current values of telecommunications network bandwidth available for data traffic. The further research will be focused on creating more complex models of packet-switched networks.
Keywords: traffic, bandwidth, data transmission, simulation model.