

УДК 621.391

В.Є. Саваневич¹, О.В. Лемешко¹, Д.В. Агєєв¹, Ю.М. Добришкін²¹Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТА ОБМЕЖЕННЯ ТРАФІКУ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Запропоновано комплексну модель маршрутизації та обмеження трафіку в телекомунікаційних мережах військового призначення. Погодженість у розв'язанні окремих задач управління трафіком націлена на забезпечення заданих значень показників якості обслуговування – інтенсивності трафіку, середньої затримки, джитеру та ймовірності втрат пакетів.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, якість обслуговування, багатошляхова маршрутизація, трафік, середня затримка.

Вступ

Актуальність теми роботи. Основним завданням телекомунікаційних мереж (ТКМ) військового призначення завжди було й зостається забезпечення інформаційного обміну між командними пунктами (КП) та пунктами управління (ПУ) різного рівня ієрархії із забезпеченням гарантій щодо якості обслуговування (Quality of Service, QoS).

З часом це завдання все більше ускладнюється, так як мережний трафік стає дедалі різномірнішим, а вимоги щодо якості обслуговування постійно підвищуються.

Крім того, відмінною рисою систем військового призначення, до яких належать і військові системи зв'язку, є наявність постійної вогневої та радіоелектронної протидії засобів противника, що проявляється перш за все в деградації структури ТКМ, зниженні її пропускної здатності та в обмеженні функціональності мережі в цілому [1].

В умовах ведення бойових дій (БД) проведення реструктуризації ТКМ неможливо здійснити в реальному масштабі часу, тому важливою є задача щодо оптимізації процесів управління трафіком, направленої на збалансоване та максимально повне використання доступних мережних ресурсів – каналних, буферних та інформаційних. При цьому обмеженість мережних ресурсів призводить до того, що сама мережа постійно буде функціонувати в умовах близьких до перевантаження, так як зі зростанням інтенсивності ведення БД навантаження на ТКМ буде постійно зростати, а мережний ресурс буде безперервно скорочуватися. У зв'язку з цим, актуальною представляється проблема щодо забезпечення погодженого розв'язання задач забезпечення гарантій якості обслуговування, маршрутизації та обмеження інтенсивності трафіку, що надходить до мережі, яка функціонує в умовах близьких до перевантаження.

Аналіз літератури. Як показав проведений аналіз, в сучасних телекомунікаційних технологіях задачі маршрутизації та обмеження інтенсивності трафіку, що надходить до мережі, розв'язуються за допомогою різних протокольних засобів, об'єднаних однією метою – підвищення якості обслуговування. Однак, як правило, функціонування протоколів маршрутизації (RIP, OSPF, IGRP/EIGRP, IS-IS) практично не пов'язане з результатами роботи засобів обмеження трафіку, що надходить в мережу, до яких варто віднести Traffic Shaping (TS) і Traffic Policing (TP) [2, 3]. Це на практиці призводить до нераціонального використання наявного мережного ресурсу, необгрунтованого обмеження трафіку на границі мережі та погіршення якості обслуговування в ТКМ в цілому. Крім того, при забезпеченні якості обслуговування важливо враховувати мультисервісний характер сучасних ТКМ в тому числі військового призначення, так як на ряду з традиційним мовним трафіком та трафіком даних в мережі циркулює трафік відеоданих (рухомих та нерухомих зображень), дані телеметрії та ін.. Все це ускладнює розв'язання задачі щодо підтримки QoS так як під кожний тип трафіку, який генерує та чи інша аплікація, необхідно забезпечувати необхідні числові значення різномірних показників якості обслуговування (табл. 1).

Сучасні аплікації мультисервісних ТКМ вимагають гарантій одночасно за декількома показниками якості обслуговування, які можна віднести до наступних трьох груп:

- параметри пропускної здатності (мінімальна, середня й максимальна швидкість передачі);
- параметри затримок передачі пакетів (середні й максимальні величини затримок і джитера пакетів);
- параметри надійності передачі (рівень втрат пакетів).

Чисельні значення показників якості обслуговування головним чином визначаються типом аплікації (табл.2). Так, наприклад, для передачі голосового трафіку, найважливішими параметрами QoS є

середня затримка і її варіація (джитер) на певному інтервалі часу, у той час як втрата деякої частини пакетів припустима.

Таблиця 1

Якісна характеристика QoS-вимог різних типів аплікацій

Тип аплікації	Надійність	Середня затримка	Джитер	Швидкість передачі
Електронна пошта	високі	низькі	низькі	низькі
Передача файлів	високі	низькі	низькі	середні
Web доступ	високі	середні	низькі	середні
Аудіо за вимогою	низькі	низькі	високі	середні
Відео за вимогою	низькі	низькі	високі	високі
Телефонія	низькі	високі	високі	низькі
Відеоконференція	низькі	високі	високі	високі

Таблиця 2

Визначення QoS-класів відповідно до рекомендації I.356

	CTD	CDV	CLR ₀₊₁	CLR ₀	CER	CMR	SECBR
Клас 1 (stringent class)	400 мс	3 мс	3×10^{-7}	–	4×10^{-6}	1 у день	10^{-4}
Клас 2 (tolerant class)	Не визначено	Не визначено	10^{-5}	–	4×10^{-6}	1 у день	10^{-4}
Клас 3 (bi-level class)	Не визначено	Не визначено	Не визначено	10^{-5}	4×10^{-6}	1 у день	10^{-4}
Клас 4 (U class)	Не визначено	Не визначено	Не визначено	Не визначено	Не визначено	Не визначено	Не визначено
Клас 5 (stringent bi-level class)	400 мс	3 мс	–	3×10^{-7}	4×10^{-6}	1 у день	10^{-4}

CTD (Cell Transfer Delay) – затримка передачі пакетів; CDV (Peak-to-peak Cell Delay Variation) – варіація затримок пакетів; CLR (Cell Loss Ratio) – коефіцієнт втрати пакетів; CER (Cell Error Ratio) – коефіцієнт помилок пакетів; CMR (Cell Misinsertion Rate) – коефіцієнт неправильної вставки пакетів; SECBR (Severely Errored Cell Block Ratio) - коефіцієнт блоків пакетів з великою кількістю помилок.

Як показав проведений аналіз, низька погодженість у роботі засобів управління трафіком, яка викликана неадекватністю закладених у них математичних моделей і евристичних схем, як правило, негативно впливає як на загальну продуктивність ТКМ, так і на окремі показники якості обслуговування. Ще один істотний недолік існуючих технологічних рішень в області управління трафіком полягає в тому, що вони не мають можливості забезпечити гарантовану якість обслуговування інформаційного трафіку одночасно за швидкісними, часовими показниками QoS та показниками надійності. Для усунення вищевикладених недоліків раніше запропонована модель управління трафіком [4], у рамках якої погоджено розв'язуються задачі обмеження інтенсивності трафіку й маршрутизації з попередньо розрахованими шляхами. У роботах [5-8] дана модель була вдосконалена, що дозволило пого-

джено й одночасно розв'язувати задачі маршрутизації й превентивного обмеження інтенсивності трафіку, що надходить до мережі, на основі як абсолютних, так і відносних пріоритетів. Однак, у запропонованих моделях управління трафіком гарантії QoS надавалися лише за одним показником – середній швидкості передачі пакетів.

Формулювання мети статті. З метою покращення якості обслуговування на підставі погодження в розв'язанні окремих задач щодо управління трафіком далі буде запропонована комплексна математична модель маршрутизації та обмеження трафіку в ТКМ з підтримкою QoS одночасно за декількома показниками. Дана модель може бути покладена в основу відповідних технологічних рішень – протоколів і механізмів управління трафіком і маршрутизації.

Основний матеріал

Комплексна математична модель маршрутизації та обмеження трафіку в ТКМ військового призначення з підтримкою QoS. Нехай структура мережі описується за допомогою графа $G = (M, E)$, де M – множина вузлів, а E – множина трактів передачі в мережі. Для кожної дуги $(i, j) \in E$ характерна її пропускна здатність φ_{ij} , а кожному трафіку з множини K вказується ряд параметрів: r^k , s_k і d_k – інтенсивність k -го трафіку, вузол-джерело й вузол-одержувач відповідно. Керуючою змінною служить величина x_{ij}^k , яка характеризує інтенсивність k -го трафіку, що протікає в тракті $(i, j) \in E$. Крім цього, вводиться також величина α^k , яка моделює інтенсивність k -го трафіку, що отримав відмову в обслуговуванні мережею. Тоді вектор шуканих параметрів зручно представити у формі:

$$X = \begin{bmatrix} x_{ij}^k \\ \dots \\ \alpha^k \end{bmatrix}, \quad (i, j) \in E, \quad k \in K. \quad (1)$$

Розмірність вектора X визначається добутком кількості трактів передачі й числа трафіків користувачів в мережі. З метою недопущення втрат пакетів на мережних вузлах і в мережі в цілому в ході обчислення вектора X необхідно забезпечити виконання умови збереження потоку:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = 0 \quad \text{при } k \in K, \quad i \neq s_k, d_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = r^k - \alpha^k \quad \text{при } k \in K, \quad i = s_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = \alpha^k - r^k \quad \text{при } k \in K, \quad i = d_k, \end{cases} \quad (2)$$

а також умов запобігання перевантаженню трактів передачі ТКМ:

$$\sum_{k \in K} x_{ij}^k \leq \varphi_{ij}, \quad (i, j) \in E. \quad (3)$$

У загальному випадку, відповідно до фізики розв'язуваної задачі (1) – (3) на координати α^k вектора X накладаються наступні обмеження:

$$0 \leq \alpha^k \leq r^k \quad (4)$$

$$\text{або } \alpha^k \in \{0, r^k\}, \quad (5)$$

якщо відповідно до угоди про рівень сервісу (SLA) допускається (4) або не допускається (5) часткове обмеження швидкості доступу в мережу.

У ході розрахунку вектора (1) у роботах [7, 8] мінімізувалась змішана вартісна функція:

$$\min_X \left[\frac{1}{2} X^t H X + C^t X \right], \quad (6)$$

яка характеризує відносні витрати на управління трафіком на етапі доступу до мережі й усередині ТКМ, а координати діагональної матриці H й вектора C можна представити наступним чином:

$$C = \begin{bmatrix} c_{ij}^k \\ \dots \\ c^k \end{bmatrix}, \quad (i, j) \in E, \quad k \in K; \quad (7)$$

$$H = \begin{bmatrix} \mu c_{12}^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu c_{13}^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu c_{ij}^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu c^k \end{bmatrix}, \quad (8)$$

координати яких, у свою чергу, визначають величину удільного штрафу за завантаженість трактів передачі ТКМ (c_{ij}^k) і за обмеження в обслуговуванні трафіків користувачів (c^k); μ – коефіцієнт, який визначає у скільки разів координати діагональної матриці H більші (менші) за координати вектора C .

За результатами досліджень запропонованої моделі (1) – (8) у роботах [7, 8] був зроблений висновок, що як пріоритет у використанні тим чи іншим трафіком каналних ресурсів ТКМ (c_{ij}^k), так і пріоритет при можливому обмеженні в обслуговуванні трафіків користувачів (c^k), залежить не тільки від підбору координат вектора вагових коефіцієнтів (3), а й від вигляду цільової функції. Так, якщо коефіцієнт μ в діагональній матриці H дорівнює нулю, то цільова функція приймає лінійний вигляд і при цьому реалізується комплексне розв'язання задач маршрутизації й превентивного обмеження навантаження на границі мережі, засноване на абсолютних пріоритетах, що не дає ніяких гарантій для трафіків більш низьких пріоритетів. У випадку, якщо $\mu \cong c_{ij}^k$, то організується більш справедливе управління на основі відносних пріоритетів, тобто відмови в обслуговуванні стосуються всіх трафіків, при цьому в меншій мірі високопріоритетного, а в більшій низькопріоритетного. Крім того, був зроблений висновок, що якщо $\mu \gg c_{ij}^k$, то цільова функція приймає квадратичний вигляд і це приводить до того, що при використанні запропонованої моделі (1)-(10) не забезпечується превентивне обмеження інтенсивності трафіку, що надходить до мережі, у

зв'язку із чим використовувати квадратичну цільову функцію в описаних умовах оптимізації управління трафіком недоцільно.

Важливо відзначити, що комплексний характер запропонованої моделі управління трафіком, який полягає в погодженому розрахунку управляючих змінних, що відповідають як за маршрутизацію, так і за превентивне обмеження трафіку, орієнтований на забезпечення функцій QoS за одним показником якості – середній швидкості доступу.

Однак, однією з вимог до розроблювальних технологічних рішень, є необхідність забезпечити гарантовані значення показників якості обслуговування в рамках єдиної мережі одночасно за декількома різнотипними показниками. У зв'язку із цим запропоноване вдосконалення моделей управління трафіком, заснованих як на абсолютних, так і на відносних пріоритетах, за рахунок введення додаткової (третьої) групи обмежень, пов'язаних з доданням процесам управління функцій забезпечення гарантій якості обслуговування.

Забезпечення заданих значень показників якості обслуговування в сучасних мультисервісних ТКМ є досить складним завданням через необхідність обліку досить великої кількості факторів – структури мережі, числа трафіків, що обслуговуються, і їх характеристик, показників QoS та ін. Одержати в аналітичному вигляді шукані умови-обмеження щодо підтримки гарантій якості обслуговування одночасно за декількома показниками вдалося, як показано в роботах [9, 10], за рахунок тензорного узагальнення математичних моделей ТКМ. Тензорне узагальнення ґрунтується на геометричному представленні структури мережі з адекватним введенням понять простору, систем координат і геометричних об'єктів – тензорів, координати яких при зміні систем координат змінюються за лінійним законом.

У ході тензорного опису встановлено, що вихідні дані й результати розв'язання найважливіших мережних задач (маршрутизації, управління трафіком, підтримки QoS) можуть бути представлені у вигляді інваріантів, ко- і контраваріантних координат тензорів – моделей ТКМ. Наприклад, адитивна метрика (середня затримка, джитер) носить у рамках тензорних моделей коваріантний характер, а метрика «вузького місця» (швидкість передачі) може представлятися у вигляді контраваріантних координат того ж тензора – моделі ТКМ. Завдяки тензорному узагальненню, яке засноване на використанні класичного тензорного числення й тензорного аналізу мереж, запропонованого Г. Кроном [11], вдалося отримати наступні умови забезпечення гарантій якості обслуговування за декількома показниками QoS:

$$\Gamma_{\text{ВИМ}} \leq \left(E_{\pi\eta}^{(4,1)} - E_{\pi\eta}^{(4,2)} \left[E_{\pi\eta}^{(4,4)} \right]^{-1} E_{\pi\eta}^{(4,3)} \right) \tau_{\text{ВИМ}} ; \quad (9)$$

$$P_{\text{ВИМ}} \leq \left(X_{\pi\eta}^{(4,1)} - \left[X_{\pi\eta}^{(4,2)} \right] \left[X_{\pi\eta}^{(4,4)} \right]^{-1} \left[X_{\pi\eta}^{(4,3)} \right] \right) \Gamma_{\text{ВИМ}} , \quad (10)$$

де $E_{\pi\eta}$ й $X_{\pi\eta}$ – проєкції метричних тензорів E і X в системах координат, отриманих у ході представлення структури ТКМ у вигляді множини базисних контурів (π) і вузлових пар (η); $\Gamma_{\text{ВИМ}}$ – вимоги щодо середньої інтенсивності трафіку, що надходить у мережу; $\tau_{\text{ВИМ}}$ і $P_{\text{ВИМ}}$ – вимоги щодо значень середньої затримки й імовірності доставки пакетів. Координати метричних тензорів E і X повністю визначаються обраною для опису мережних вузлів-маршрутизаторів і трактів передачі моделлю обслуговування пакетів.

Отримані умови (9) і (10), разом з виразами (2)-(5), можуть виступати як обмеження при розв'язанні оптимізаційної задачі щодо мінімізації цільової функції (6). Результат її розв'язання визначає оптимальні значення маршрутних змінних і змінних, які відповідають за превентивне обмеження трафіку на границі мережі. Причому відмови в обслуговуванні, пов'язані із превентивним (завчасним) обмеженням швидкості доступу в ТКМ, будуть наступати лише у випадку невиконання умов-обмежень (2)-(5) і (9), (10).

Аналіз результатів запропонованої моделі управління трафіком. Рішення комплексної задачі маршрутизації й превентивного обмеження інтенсивності трафіку, що надходить у мережу, із забезпеченням QoS продемонструємо для більшої наочності для однопродуктового випадку, тобто для випадку обслуговування одного трафіку, що не знижує загальності отриманих результатів. Нехай структура ТКМ і пропускні здатності її трактів передачі представлені на рис. 1, де пропускні здатності каналів зазначені в розривах трактів передачі. Тоді загальне число вузлів-маршрутизаторів мережі дорівнює шести ($m = 6$), а число трактів передачі – восьми ($n = 8$). Нехай перший вузол – вузол-відправник, а шостий – вузол-одержувач пакетів. Відповідно до приведених на рис. 1 вихідних даних пропускна здатність напрямку зв'язку від першого вузла до шостого дорівнює 155 1/с.

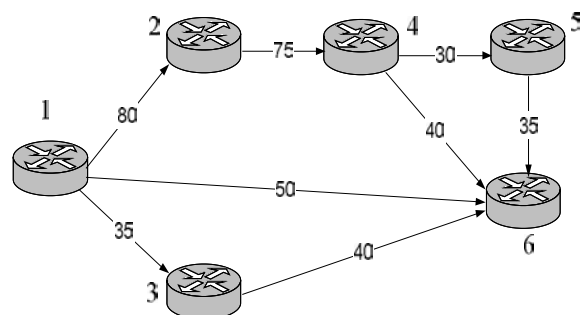


Рис. 1. Структура ТКМ, що підлягала аналізу

Тоді для випадку, коли інтенсивність трафіку, що надходить у мережу, дорівнює 100 1/с, встановлено, що мінімальна середня затримка, при якій забезпечується обслуговування без відмов у доступі, становить:

– $\tau_{\text{трб}} = 0,13$ с, при прийнятті до розгляду моделі обслуговування пакетів на вузлах мережі типу М/М/1 (рис. 2, а);

– $\tau_{\text{трб}} = 0,099$ с, при прийнятті до розгляду моделі обслуговування пакетів на вузлах мережі типу М/Д/1 (рис. 2, б).

У результаті розрахунків у ході маршрутизації трафіку від вузла 1 до вузла 6 використовується чотири шляхи:

- шлях №1: вузол 1 – вузол 6;
- шлях №2: вузол 1 – вузол 3 – вузол 6;
- шлях №3: вузол 1 – вузол 2 – вузол 4 – вузол 6;
- шлях №4: вузол 1 – вузол 2 – вузол 4 – вузол 5 – вузол 6.

шлях №4: вузол 1 – вузол 2 – вузол 4 – вузол 5 – вузол 6.

Середня затримка уздовж кожного з яких буде становити залежно від моделі обслуговування пакетів на вузлах ТКМ 0,13 с (М/М/1) або 0,099 с (М/Д/1).

При цьому в розривах трактів передачі вказуються (зверху в низ) їхні пропускні здатності (1/с), інтенсивності трафіку (1/с) та середні затримки (с).

Таким чином, з ростом вимог до якості обслуговування при прийнятті до розгляду моделі М/М/1 відмови в доступі наступають раніше, ніж при використанні моделі М/Д/1. Це пов'язано з тим, що час обслуговування в моделі М/Д/1 має не експонентний розподіл (модель М/М/1), а детермінований (однаковий) для всіх пакетів.

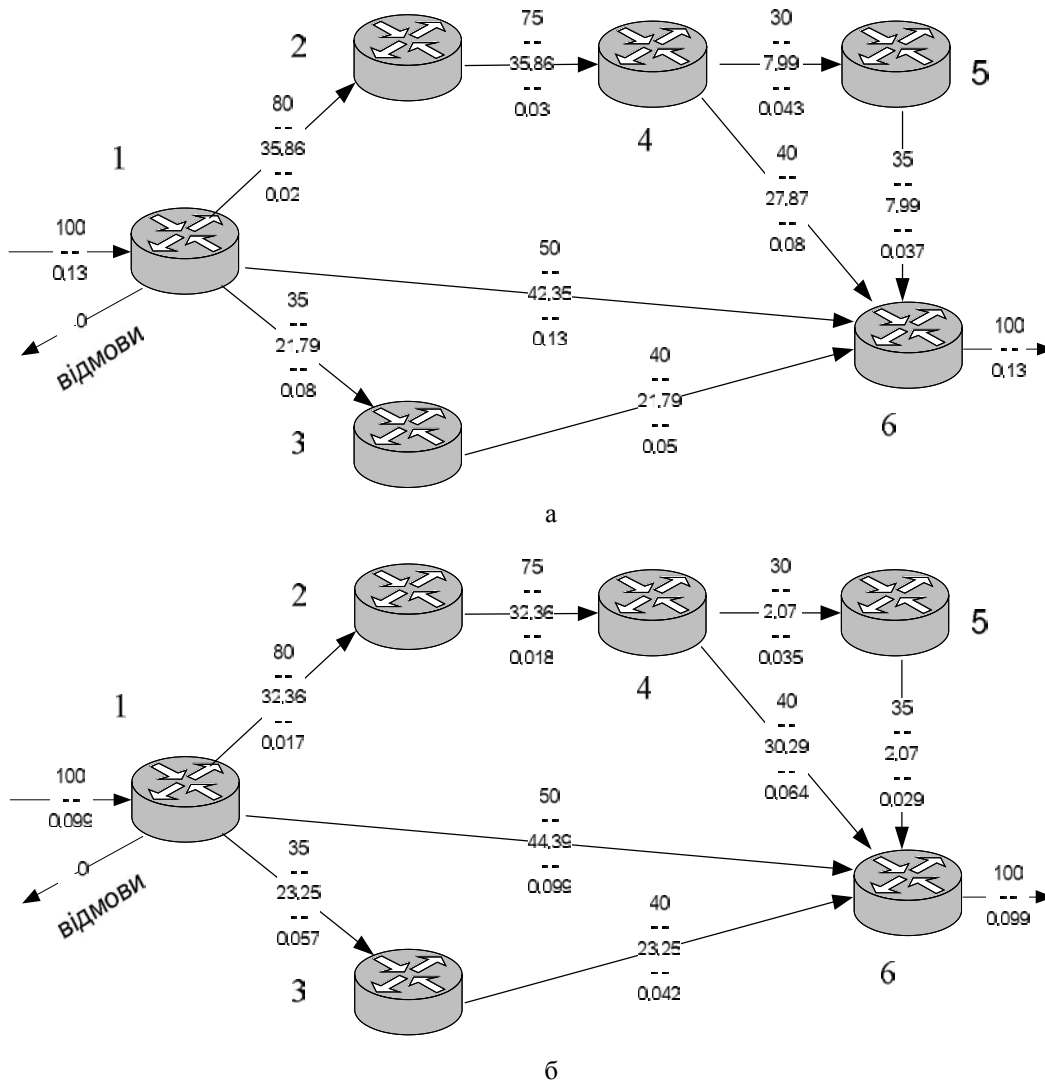


Рис. 2. Приклад управління трафіком із забезпеченням заданих значень показників QoS без відмов в обслуговуванні: а – для моделі М/М/1 при $\tau_{\text{трб}} = 0,13$ с ; б – для моделі М/Д/1 при $\tau_{\text{трб}} = 0,099$ с

Важливо відзначити, що з ростом вимог щодо затримки спостерігалися відмови в обслуговуванні мережею при вільних каналних ресурсах. Наприклад, для мережі (рис. 1) при інтенсивності вхідного

трафіку 100 1/с та значенні середньої затримки в 0,1 с в умовах прийняття моделі обслуговування пакетів на вузлах мережі типу М/М/1 інтенсивність відмов становила 18,59 1/с (рис. 3).

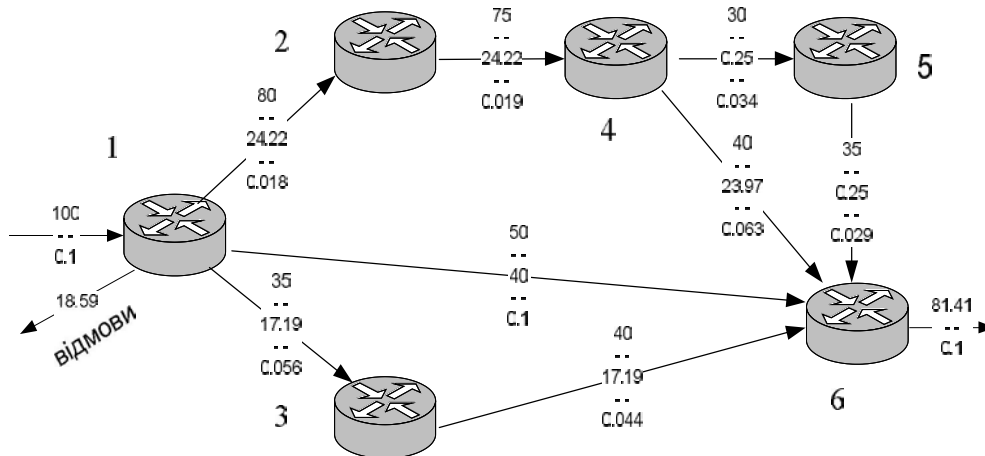


Рис. 3. Приклад управління трафіком із забезпеченням заданих значень показників QoS з відмовами в обслуговуванні (М/М/1) при $\tau_{\text{трб}} = 0,1\text{с}$

У загальному випадку, як показано на рис.4, характер відмов залежно від зміни необхідної середньої затримки для різних інтенсивностей трафіку, що надходив до мережі, носив нелінійний характер.

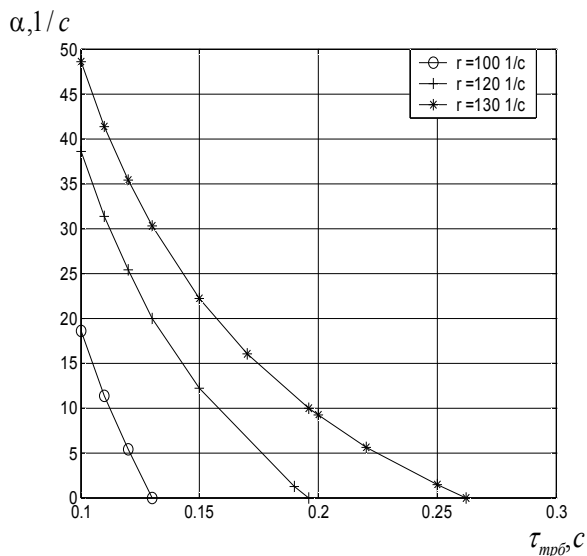


Рис. 4. Залежність відмов в обслуговуванні (α) від необхідної середньої затримки ($\tau_{\text{вим}}$) і інтенсивності трафіку (γ), що надходить до мережі, для моделі М/М/1

Таким чином, на підставі отриманих результатів (рис. 4) розв'язання задачі щодо управління трафіком з гарантіями на якість обслуговування в рамках запропонованої математичної моделі (1)-(10) встановлено, що для представлених вихідних даних

(рис.1), забезпечити обслуговування без відмови в доступі на границі мережі, можливо:

- у випадку якщо при інтенсивності вхідного трафіку $\gamma = 100$ 1/с необхідна затримка не менша за 0,13 с ($\tau_{\text{вим}} \leq 0,13$ с);
- у випадку якщо при інтенсивності вхідного трафіку $\gamma = 120$ 1/с необхідна затримка не менша за 0,19 с ($\tau_{\text{вим}} \leq 0,19$ с);
- у випадку якщо при інтенсивності вхідного трафіку $\gamma = 130$ 1/с необхідна затримка не менша за 0,26 с ($\tau_{\text{вим}} \leq 0,26$ с).

З підвищенням вимог щодо якості обслуговування забезпечити задані значення середньої затримки можна лише відмовивши певній частині трафіку в доступі. Наприклад, якщо $\tau_{\text{вим}} = 0,11$ с, то при $\gamma = 100$ 1/с – інтенсивність відмов буде складати 11,38 1/с (рис. 4). При збільшенні інтенсивності трафіку ще на 20 1/с ($\gamma = 120$ 1/с), то при тій же затримці ($\tau_{\text{вим}} = 0,11$ с), інтенсивність відмов також збільшується на 20 1/с і складе 31,38 1/с (рис. 4).

Висновки

Таким чином, у статті запропонована комплексна математична модель маршрутизації та обмеження трафіку в ТКМ військового призначення з підтримкою QoS. Використання моделі завдяки структурі шуканого вектора (1) орієнтує на одержання погодженого розв'язання задач багатошляхової маршрутизації й превентивного обмеження трафіку, що надходить у мережу. Основу моделі складають

традиційні умови збереження потоку (2), а також умови запобігання перевантаженню каналних ресурсів ТКМ (3). Новизна моделі полягає у введенні додаткових, у загальному випадку, нелінійних умов обмежень на якість обслуговування одночасно за декількома різнорідними показниками QoS (9), (10). Виконання цих умов дозволяє надати процесу обмеження інтенсивності трафіку, що надходить до мережі, превентивний і диференційований характер, у тому числі й у зв'язку з використанням змішаної цільової функції (6). Відповідно до особливостей моделі відмови спостерігаються при неможливості задоволення вимог за часовими показниками QoS і показникам надійності, а першочергове обмеження стосується низькопріоритетного трафіка відповідно до значень вагових коефіцієнтів (7), (8).

Практичне використання запропонованої моделі передбачає постійний моніторинг динаміки стану ТКМ, а саме структури мережі, пропускних здатностей трактів передачі, характеристик трафіку та значень показників QoS. При цьому реалізація багатопотокової стратегії маршрутизації дозволяють ефективно та збалансовано використовувати наявні мережні ресурси, а обмеження інтенсивності буде перш за все стосуватися низькопріоритетного трафіку, який є джерелом перевантаження. Причому для прийнятого в мережу трафіку будуть забезпечені гарантії щодо якості обслуговування.

Список літератури

1. Малярчук М. Єдина Цифрова мережа зв'язку: вчора - мрії, сьогодні - реальність / М. Малярчук // *Військо України*. – 2008. – № 8. – С. 16-18.
2. Вегенія Ш. *Качество обслуживания в сетях IP: пер. с англ.* / Ш. Вегенія. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
3. Остерлох Х. *Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка* / Х. Остерлох – СПб.: ВНУ. – СПб., 2002. – 512 с.

4. Бертсекас Д. *Сети передачи данных: пер. с англ.* / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. – М.: Мир, 1989. – 544 с.

5. Лемешко А.В. *Адаптивное ограничение интенсивности трафика на приграничных узлах мультисервисной сети связи* / А.В. Лемешко, К.С. Васюта, Ю.Н. Добрышкин // *Радиотехника: всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* – 2007. – № 151. – С. 5-10.

6. Лемешко А.В. *Исследование модели управления трафиком с анализом областей превентивного ограничения его интенсивности на границе сети* / А.В. Лемешко, Ю.Н. Добрышкин, С.А. Щербинин // *Моделирование та інформаційні технології*. – 2008. – Вип. 49. – С. 64-72.

7. Добрышкин Ю.Н. *Анализ модели адаптивного ограничения интенсивности трафика в мультисервисной сети с учетом приоритетов* / Ю.Н. Добрышкин // *Радиотехника: всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* – 2008. – № 155. – С. 169-172.

8. Добрышкин Ю.Н. *Модель управления трафиком с его превентивным ограничением на основе абсолютных и относительных приоритетов* / Ю.Н. Добрышкин // *Радиотехника: всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* – 2009. – № 156. – С. 13-19.

9. Лемешко А.В. *Вероятностно-временная модель QoS маршрутизации с предвычислением путей в условиях неидеальной надежности элементов телекоммуникационной сети* / А.В. Лемешко // *Радиотехника: всеукр. межведомств. науч.-техн. сб.* – 2005. – № 142. – С. 11-20.

10. Лемешко А.В. *Тензорная модель многопутевой маршрутизации агрегированных потоков с резервированием сетевых ресурсов, представленная в пространстве с кривизной* / А.В. Лемешко // *Праці УНДІРТ*. – 2004. – Вип. № 4 (40). – С. 12-18.

11. Крон Г. *Тензорный анализ сетей: пер. с англ.* / Г. Крон. – М.: Сов. радио, 1978. – 719 с.

Надійшла до редколегії 15.06.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Поповський, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ МАРШРУТИЗАЦИИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ТРАФИКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.Е. Саваневич, А.В. Лемешко, Д.В. Агеев, Ю.Н. Добрышкин

Предложена комплексная модель маршрутизации и ограничения трафика в телекоммуникационных сетях военного назначения. Согласованность в решении отдельных задач управления трафиком нацелена на обеспечение заданных значений показателей качества обслуживания – интенсивности трафика, средней задержки, джиттера и вероятности потерь пакетов.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, качество обслуживания, многопутевая маршрутизация, трафик, средняя задержка.

THE COMPLEX MODEL OF ROUTING AND LIMITATION OF TRAFFIC IN THE TELECOMMUNICATION NETWORKS OF THE MILITARY SETTING

V.E. Savanevich, A.V. Lemeshko, D.V. Ageev, Yu.N. Dobryshkin

The complex model of routing and limitation of traffic is offered in the telecommunication networks of the military setting. Co-ordination in the decision of separate tasks of management a traffic is aimed at providing of set values of indexes of quality of service – intensity of traffic, middle delay, jitter and probabilities of losses of packages.

Keywords: telecommunication network, quality of service, multiground routing, traffic, middle delay.