

УДК 621.396.2:621.315.21:611.7.068

Михайло Климаш, Василь Романчук  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра телекомунікації

## РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ЛІНІЙНИХ ТРАКТІВ ТРАНСПОРТНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

© Климаш Михайло, Романчук Василь, 2003

**Розраховано ефективність використання пропускної здатності каналу для різних видів трафіка та мережевих технологій. Запропоновано метод розрахунку трафіка ATM та SDH мереж.**

**The calculation efficiency to use capacity channel for different kinds of traffic and network technologies. Is offered method of calculation traffic in ATM and SDH network.**

### Вступ

З появою нових мережевих технологій з'явилися нові види послуг, які висувають нові вимоги щодо часу затримки, ефективності використання смуги пропускання та якості обслуговування. Використання технології ATM та SDH для передачі IP-трафіка дозволяє провести кількісну оцінку використання пропускної здатності каналу при виборі тієї чи іншої технології, порівняти механізми управління смугою пропускання, адресацію та управління цифровими потоками.

### 1. Аналіз трафіка та пропускної здатності транспортної мережі

Мережі SDH передбачають використання синхронних мультиплексорів із часовим розділенням каналів SyTDMA (Synchronous Time Division Multiplexing) для забезпечення фіксованої смуги пропускання. Це дозволило досягнути гранично низького рівня часових затримок корисного сигналу, що є дуже важливим для трафіка реального часу (передача голосу та відеотрафіка). Недоліком мультиплексорів SyTDMA є те, що вони не дозволяють зміщувати блоки даних в середині віртуальних контейнерів для заповнення “пустот”, що призводить до неефективного використання смуги пропускання транспортної мережі.

Основною перевагою технологій пакетної комутації є можливість об'єднувати різні види трафіка в єдиний цифровий потік з допомогою статистичного мультиплексування, що дозволяє більш ефективно використовувати смугу пропускання. Будь-який статистичний мультиплексор типу StTDM (Statistical Time Division Multiplexing), наприклад ATM-комутатор, здійснює буферизацію вхідного потоку даних для того, щоб сконцентрувати трафік різних користувачів в один вихідний потік. Це дозволяє ефективніше використовувати смугу пропускання. Однак при цьому важко гарантувати величину затримок корисного сигналу та її варіацію в мережі.

Статистичний мультиплексор StTDM може працювати з великою кількістю вхідних каналів при однаковій швидкості вхідного потоку, оскільки вхідні канали передають дані не постійно. Така схема роботи потребує як мінімум адресної інформації блока даних, що призводить до неприпустимих втрат пропускної здатності каналу зв'язку. Для мінімізації втрат смуги пропускання при передачі корисної інформації адресація здійснюється в блоках даних значного розміру, а це, в свою чергу, приводить до затримок і значного збільшення вхідних буферів. Вихідна швидкість передачі даних статистичного мультиплексора менша,

ніж сума вхідних цифрових потоків, тому при перевантаженні відбувається втрата пакетів. Для уникнення цього необхідно точно знати розмір буфера. При цьому існує певна залежність між розміром буфера і швидкістю передачі. В ідеалі потрібно йти до меншої пропускної здатності і мінімального розміру буфера. На практиці зменшення одного з них призводить до збільшення іншого. Крім того, збільшення буфера веде до збільшення затримок корисного сигналу та призводить до росту вартості мережевого обладнання, оскільки високошвидкісні канали потребують використання дорогих мережевих інтерфейсів.

Затримка статистичного мультиплексора StTDM залежить в першу чергу від характеристик трафіка та виду мультиплексора. Для даного випадку (приймаємо випадковий характер щільності трафіка, ймовірносний розподіл якого описується законом Пуассона, і сталий час обслуговування) можна стверджувати, що коефіцієнт завантаження смуги пропускання  $\rho$  ( $0 \leq \rho \leq 1$ ) при однакових швидкостях передачі кожного вхідного каналу визначається виразом [1]:

$$\rho = \lambda \cdot s = a \cdot N \cdot R / F = a / K = \lambda / F, \quad (1.1)$$

де  $\lambda$  – кількість пакетів в одному вхідному каналі за 1 с;  $N$  – кількість вхідних каналів;  $R$  – швидкість передачі даних в кожному вхідному каналі;  $F$  – смуга пропускання мультиплексора на виході;  $K$  – коефіцієнт мультиплексування;  $a$  – час затримки мультиплексора.

При цьому кількість заявок в одному каналі  $\lambda$  і час обслуговування одного біта  $s$  (величина обернено пропорційна корисній смузі пропускання мультиплексора на виході) визначаються з виразу:

$$\lambda = a \cdot R \cdot N, \quad s = 1 / F. \quad (1.2)$$

Під корисною смугою пропускання мультиплексора розуміють частку вихідного цифрового потоку без службової інформації.

При максимальному завантаженні вихідних ліній визначають коефіцієнт мультиплексування:

$$K = F / (N \cdot R). \quad (1.3)$$

Коефіцієнт завантаження смуги пропускання  $\rho$  визначає ефективність використання магістрального каналу.

З графіків (рис. 1, 2) видно, що при збільшенні коефіцієнта завантаження каналу до 0,8 – 0,9 швидко зростає потреба у буферній пам'яті, збільшуються затримки пакетів і ймовірності їх втрати, втрачені пакети передаються знову, що призводить до більших втрат, погіршення якості обслуговування та деградації мережі.

Ефективність використання смуги пропускання транспортної мережі при передачі різних видів трафіка можна визначити на основі аналізу структури кадру. Для транспортної мережі SDH у віртуальному контейнері рівня STM-1 з 2430 байт кадру при 100 % завантаженні каналу телефонним трафіком 1890 байтів заповнюються корисним навантаженням, а 540 байтів – службовою інформацією. Звідси коефіцієнт використання смуги пропускання в транспортній мережі SDH

$$K_{\text{еф}} = F_{\text{кор}} / F = P_{\text{кор}} / P = 0.78, \quad (1.4)$$

де  $F$  – смуга пропускання мультиплексованого каналу;  $F_{\text{кор}}$  – корисна смуга пропускання мультиплексованого каналу;  $P$  – кількість байтів у кадрі;  $P_{\text{кор}}$  – кількість байт з корисним навантаженням в кадрі.

Отже, у віртуальному контейнері рівня STM-1 при смузі пропускання 155,52 Мбіт/с швидкість передачі чистого телефонного трафіка 121,3 Мбіт/с ( $155,52 \cdot 0,78$ ).

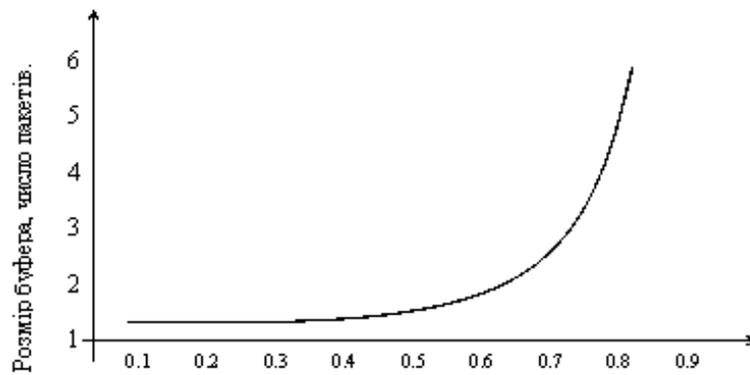


Рис. 1. Залежність розміру буфера мультимплексора StTDM від коефіцієнта завантаження каналу

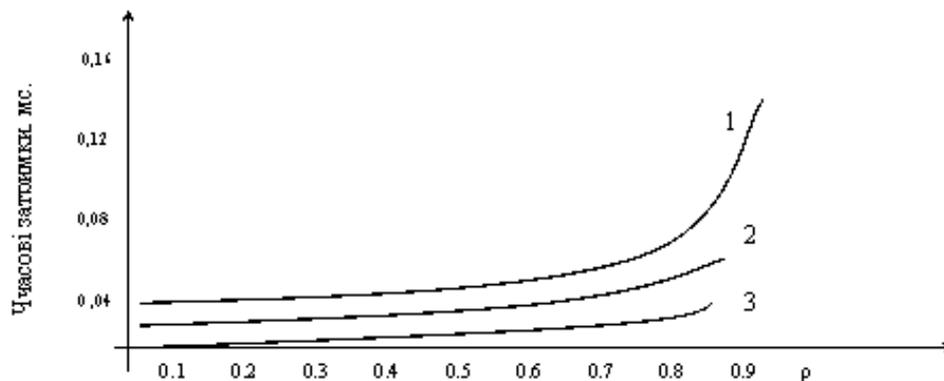


Рис. 2. Залежність часу затримки мультимплексора StTDM від коефіцієнта завантаження каналу для різних швидкостей передачі:  
1 – 34 Мбіт/с; 2 – 155 Мбіт/с, 3 – 622 Мбіт/с

Технічний підхід до вибору мережевої технології та апаратури для мультисервісних мереж вимагає аналізу співвідношення голосового трафіка та трафіка передачі даних. Для цього використовуємо залежність (рис. 3), розраховану для мережі зі швидкістю передачі 622 Мбіт/с. Нульова точка на осі абсцис відповідає 100 %-му завантаженню каналу трафіком реального часу (голосовий трафік), відповідно трафік передачі даних – нульовий.

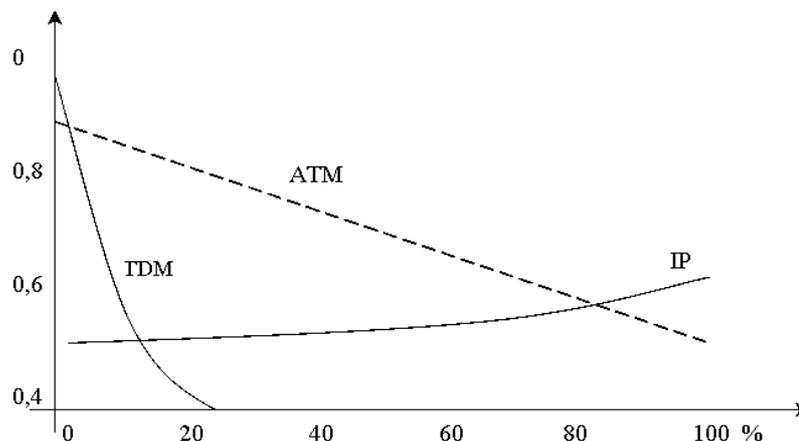


Рис. 3. Залежність коефіцієнта використання смуги пропускання від відношення трафіка даних і трафіка реального часу (в %) для мережевих технологій

Кінцева точка на осі абсцис відповідає нульовому завантаженню каналу трафіком реального часу, а весь трафік – передача даних.

Наприклад, в мережі SDH (з TDM) для передачі 50 %-го трафіка реального часу і 50 %-го трафіка передачі даних з швидкістю 622 Мбіт/с і високою якістю обслуговування потрібна пропускна здатність 2,62 Гбіт/с. Отже, в транспортній мережі SDH рівня STM-4 зі швидкістю передачі 622 Мбіт/с для даного співвідношення можна передавати корисну інформацію зі швидкістю 147 Мбіт/с. При використанні технології IP або АТМ максимальна швидкість передачі становить 322,4 і 402,5 Мбіт/с [1].

## 2. Метод розрахунку лінійних цифрових трактів

Залежно від очікуваного виду трафіка можна прогнозувати реальне завантаження мережі. Даний метод дозволяє оптимізувати мережу на рівні завантаження реальним трафіком і планувати вибір обладнання мережі з врахуванням економічної ефективності.

На основі оцінки пропускної здатності мережі і аналізу трафіка в цифрових мережах можна планувати її реальне завантаження. Це в свою чергу дозволяє оптимально вибрати технологію та архітектуру мережі. Аналіз розподілу навантаження у вузлах мережі дозволяє оптимізувати транспортну мережу та коректувати пропускну здатність між вузлами мережі.

На основі первинного аналізу навантаження у вузлах мережі з врахуванням майбутнього розвитку мережі задамо сумарний вихідний трафік від абонентів у вузлах мережі в ерлангах у вигляді матриці вихідного трафіка ( $S = S_{ij}$ ) для  $N$  вузлів мережі ( $i = j = 1, \dots, N$ ):

$$S_{ij} := \begin{pmatrix} S_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{NN} \end{pmatrix} \quad (1.5)$$

Для розрахунку вихідного трафіка ( $S_{ij}$ ) для вузла мережі [1] задамо норму навантаження мережі по трактах для різних категорій абонентів. Наприклад, для абонентів КТЧ, підключених до АТС, норма завантаження каналів (в ерлангах) становить 0,05 Е, для користувачів послуг ISDN – 0,25 Е.

$$Y = N_{КТЧ} \cdot 0.05 + N_{ASDN} \cdot 0.25 + Y_d, \quad (1.6)$$

де  $N_{КТЧ}$  – кількість абонентів КТЧ, підключених до АТС з нормою навантаження 0,05;  $N_{ISDN}$  – кількість абонентів ISDN з нормою навантаження – 0,25;  $Y_d$  – навантаження від інших послуг.

$$S = \begin{pmatrix} 683 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 542 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 577 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 592 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 612 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 647 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 540 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 562 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 592 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 709 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 564 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 659 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 456 \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

У діагональних елементах матриці  $S$  задано вихідний трафік відповідних станцій.

Розподілена матриця трафіка  $\mathbf{D}$  (1.8) задає первинне розподілення потоків між  $N$  вузлами мережі і дозволяє за формулою (2.0) розрахувати матрицю трафіка  $\mathbf{T}$ , елементи якої  $T_{ij}$  визначають первинне розподілення трафіка між вузлами транспортної мережі. При цьому діагональні елементи матриці трафіка  $T_{ij} = T_{ii}$  ( $i = j$ ) визначають сумарний об'єм вхідного та вихідного трафіка у вузлі мережі.

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 1 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 6 & 0 & 0 & 14 & 0 & 0 & 0 & 6 & 22 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 1 & 0 & 0 & 14 & 0 & 0 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 14 & 0 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 4 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 14 & 14 & 0 & 4 & 1 & 0 & 6 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 14 & 0 & 0 & 1 & 12 & 12 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 6 & 12 & 1 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 6 & 0 & 0 & 8 & 8 & 0 & 8 & 12 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 14 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 22 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1.8)$$

Наступним етапом буде нормування матриці розподіленого трафіка  $\mathbf{D}$  (сума всіх елементів у кожному стовпці матриці має дорівнювати 1).

$$D_c = \begin{pmatrix} 0.0760 & 0.4615 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1395 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4615 & 0.0760 & 0 & 0 & 0.2680 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0204 & 0.2680 & 0 & 0 & 0.2295 & 0 & 0 & 0 & 0.8571 & 0.9565 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1224 & 0.0344 & 0 & 0 & 0.2295 & 0 & 0 & 0.1860 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4615 & 0 & 0 & 0.0340 & 0 & 0 & 0.3589 & 0 & 0.1860 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1111 & 0.0650 & 0 & 0.1379 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2857 & 0.4827 & 0 & 0.4444 & 0.0160 & 0 & 0.2068 & 0.1860 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4827 & 0 & 0 & 0.0256 & 0.4137 & 0.2790 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4444 & 0.0980 & 0.3076 & 0.0344 & 0 & 0 & 0 & 0.8571 \\ 0.4615 & 0 & 0 & 0.2758 & 0.2758 & 0 & 0.1311 & 0.3076 & 0 & 0.0230 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1224 & 0 & 0 & 0 & 0.2295 & 0 & 0 & 0 & 0.1428 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4489 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0232 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2068 & 0 & 0 & 0 & 0.1428 \end{pmatrix} \quad (1.9)$$

Узгоджену матрицю трафіка  $\mathbf{T}_c$  можна визначити за допомогою формули (2.0).

$$T_c = S \cdot D_c \quad (2.0)$$

Кожний елемент узгодженої матриці трафіка  $\mathbf{T}_c$  визначає трафік між усіма вузлами транспортної мережі в ерлангах.

$$T_c = \begin{pmatrix} 51.9080 & 315.2045 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 95.2785 & 0 & 0 & 0 \\ 250.1330 & 41.1920 & 0 & 0 & 145.2560 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11.7708 & 154.6360 & 0 & 0 & 132.4215 & 0 & 0 & 0 & 494.5467 & 551.9005 & 0 \\ 0 & 0 & 72.4608 & 20.3648 & 0 & 0 & 135.8640 & 0 & 0 & 110.1120 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 282.4380 & 0 & 0 & 20.8080 & 0 & 0 & 219.6468 & 0 & 113.8320 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 71.8817 & 42.0550 & 0 & 89.2213 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 154.2780 & 260.6580 & 0 & 239.9760 & 8.6400 & 0 & 111.6720 & 100.4400 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 271.2774 & 0 & 0 & 14.3872 & 232.4994 & 156.7980 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 263.0848 & 58.0160 & 182.0992 & 20.3648 & 0 & 0 & 0 & 507.4032 \\ 327.2035 & 0 & 0 & 195.5422 & 195.5422 & 0 & 92.9499 & 218.0884 & 0 & 16.3070 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 69.0336 & 0 & 0 & 0 & 129.4380 & 0 & 0 & 0 & 80.5392 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 295.8251 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15.2888 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 94.3008 & 0 & 0 & 0 & 65.1168 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

На основі узгодженої матриці розподілення трафіка розраховують нормовану (на число цифрових потоків E1) матрицю розподілу трафіка між вузлами мережі. Нормована матриця дозволяє розрахувати навантаження між вузлами мережі у вигляді цифрових потоків  $N_{ik}E1$ , де  $i = 1, 2, 3, \dots, k$  – номер тракта,  $i$  визначити ємність магістралі мережі в цифрових потоках рівня STM-N ( $N=1, 4, \dots$ ).

Матрицю розподілу трафіка між вузлами мережі будують у вигляді матриці, обмеженої потоками E1. Наприклад, для мережі дана матриця буде мати вигляд:

$$T_e = \begin{pmatrix} 25 & 157 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 47 & 0 & 0 & 0 \\ 125 & 20 & 0 & 0 & 72 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 77 & 0 & 0 & 66 & 0 & 0 & 0 & 247 & 275 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 36 & 10 & 0 & 0 & 67 & 0 & 0 & 55 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 141 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 109 & 0 & 56 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 35 & 21 & 0 & 44 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 77 & 130 & 0 & 119 & 4 & 0 & 55 & 50 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 135 & 0 & 0 & 7 & 116 & 78 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 131 & 29 & 91 & 10 & 0 & 0 & 0 & 253 & 0 \\ 163 & 0 & 0 & 97 & 97 & 0 & 46 & 109 & 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 34 & 0 & 0 & 0 & 64 & 0 & 0 & 0 & 40 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 147 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 47 & 0 & 0 & 0 & 32 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

### Висновки

Отже, механізм статистичного мультиплексування при передачі даних доцільно використовувати для магістральних цифрових лінійних трактів при їхньому завантаженні не більше ніж на 80 – 90 % від максимальної пропускну здатності, в іншому випадку різко зростає потреба у буферній пам'яті.

Запропонований метод розрахунку транспортної мережі дозволяє розрахувати трафік між вузлами мережі при зміні навантаження на один чи більше вузлів або при корекції топології мережі. Аналіз матриці розподілення трафіка ( $T_e$ ) дозволяє визначити доцільність оптимізації топології мережі. Оптимізація топології базується на дослідженні матриці розподілення трафіка ( $T_e$ ), корекції топології та розподілу трафіка між вузлами мережі так, щоб досягти приблизно однакового завантаження лінійних трактів, виражену числом цифрових потоків E1.

1. Шмалько А.В. *Цифровые сети связи: основы планирования та построения*. – Эко-Трендз, 2001. 2. Вербовецкий А.А. *Основы проектирования цифровых оптоэлектронных систем связи*. – М.: Радио и связь. – 2000. – 160 с. 3. Бакланов И.Г. *Технологии измерений в первичной сети*. – Ч. 1. Системы E1, PDH, SDH. – Эко-Трендз, 2000. – 142 с. 4. Громов Д.А., Пшеничников А.П. *Параметры трафика Интернет в г. Москве // Документальная электро-связь*. – 2000. – № 2.