

УДК 621.391; 621.394/.396

**Торошанко Я. І.,** к.т.н.; **Грушевська В. П.,** доц.  
(Державний університет телекомунікацій. +380 (50) 555 51 14. toroshanko@ukr.net)

## ОЦІНЮВАННЯ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

**Торошанко Я. І., Грушевська В. П. Оцінювання часових характеристик телекомунікаційної мережі.**

На основі деталізованих часових діаграм передачі даних приводяться аналітичні вирази для визначення основних часових параметрів пакетної мережі. Даються рекомендації щодо розрахунків продуктивності обчислювальних засобів вузла зв'язку, величини черг на обробку та обслуговування пакетів та інших параметрів, які визначають якість і ефективність використання каналів зв'язку. Проаналізовані причини виникнення перенавантаження вузлів зв'язку, пауз у передачі даних через мережу, пропонуються шляхи усунення вказаних явищ. Матеріали статті можуть бути використані розробниками та адміністраторами мереж, а також у навчальному процесі.

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, часові параметри мережі, затримка інформації, перенавантаження, ширина вікна, обслуговування пакетів, черга

**Торошанко Я. И., Грушевская В. П. Оценювание временных характеристик телекоммуникационной сети.** На основе детализированных временных диаграмм передачи данных приводятся аналитические выражения для определения основных временных параметров пакетной сети. Даются рекомендации относительно расчетов производительности вычислительных средств узла связи, величины очередей, на обработку и обслуживание пакетов и других параметров, которые определяют качество и эффективность использования каналов связи. Проанализированы причины возникновения перегрузки узлов связи, пауз в передаче данных через сеть, предлагаются пути устранения указанных явлений. Материалы статьи могут быть использованы разработчиками и администраторами сетей, а также в учебном процессе.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, временные параметры сети, задержка информации, перегрузка, ширина окна, обслуживание пакетов, очередь

**Toroshanko Ya. I., Hrushevskaya V. P. Evaluation of the telecommunication network timing characteristics.**

On the basis of detailed data transmission timing diagrams the analytical expressions for the basic packet network timing parameters are given. The recommendations regarding calculation of capacity of the communication node computing facilities, queues size for the packet processing and service as well as other parameters that specify the quality and efficiency of usage of the communication channels are provided. The causes of occurrence of the communication node overload and pauses in the data transmission over a network were analyzed; and the ways of elimination of such situations were proposed. The article matters can be used by the network developers and administrators as well as for the tutorial purposes.

**Keywords:** telecommunication network, network timing parameters, information delay, overload, window width, packet processing, queues.

**Вступ. Постановка задачі дослідження.** Розвиток сучасних технологій передачі даних направлений на забезпечення можливості обміну інформацією різного роду, підвищення достовірності і швидкості передачі інформації, ефективного використання пропускної здатності каналів зв'язку. Враховуючи складність цих технологій процес проектування телекомунікаційних мереж представляє собою трудомістку і тривалу роботу. Однією із найважливіших задач під час проектування є забезпечення максимально продуктивного використання каналів зв'язку та заданих потрібних часових параметрів мережі, основним з яких є, перш за все, мінімальний час доставки інформації користувачу. Тому попереднє (первинне) розрахункове визначення основних часових параметрів сприяє суттєвому зменшенню термінів проектування, фінансових і матеріальних витрат, що обумовлює актуальність поставленої задачі – розробленні відповідних рекомендацій і аналітичних виразів для попередньої оцінки вказаних параметрів.

**Показники ефективності телекомунікаційних систем.** Питанням дослідження загальних питань побудови систем передачі даних постійно приділяється велика увага. Дана тематика охоплює широке коло задач і стосується практично всіх областей діяльності людства. Як наслідок, існує дуже велика кількість публікацій по цій тематиці, в яких розкриті різні способи і методи передачі даних, дається їх класифікація [1-5]. В більшості випадків в них розглядаються концептуальні питання побудови мереж, їх

топологій, використання різних технологій та протоколів. Питання дослідження конкретних часових характеристик, які в основному визначають якість і ефективність мережі, розглядаються в контексті тієї чи іншої області використання. Не приводяться аналітичні вирази для визначення загальних параметрів мереж, в яких використовуються різні методи і способи передачі даних. Ці питання розглядаються в загальних рисах і часто носять описовий характер.

Транспортна мережа забезпечує інформаційний обмін між абонентами шляхом встановлення з'єднань, що проходять через вузли і лінії зв'язку. Головна вимога, що пред'являється до транспортної мережі, є виконання її основної функції – інформаційного обміну та забезпечення користувачам потенційної можливості доступу до всіх ресурсів та послуг. Всі інші вимоги пов'язані з якістю виконання цього основного завдання і полягають в наступному: продуктивність, надійність, сумісність, керованість, захищеність, розширюваність і масштабованість [6-8].

Для забезпечення вказаних вимог та оцінювання якості і ефективності систем передачі даних (СПД) використовують такі показники: *приведені* витрати на створення і експлуатацію системи; *час проектування* та розгортання мережі; *характеристики* надійності структури СПД; *часові* параметри функціонування мережі (час реакції мережі на запит, час передачі повідомлення, час продуктивного використання каналів, час перебування інформації в системі при її пересилці між вузлами); *прогнозованість* та захист від перенавантаження; *завантаженість* мережі.

Хоча всі ці вимоги і показники важливі, часто поняття «якість обслуговування» (Quality of Service, QoS) телекомунікаційної мережі трактується більш вузько — в нього включаються тільки дві найважливіші характеристики мережі — продуктивність, яка визначається часовими параметрами, і надійність [8, 9].

**Аналіз часових характеристик мережі з комутацією пакетів.** Принципи побудови транспортних телекомунікаційних мереж з використанням методу комутації пакетів загальновідомі і описані в багатьох публікаціях, серед яких можна виділити [1, 2, 5, 8]. Основною перевагою методу комутації пакетів є можливість передавати дані лініями зв'язку з будь-якою пропускною спроможністю, тоді як для методу комутації каналів всі з'єднувальні лінії, з яких формується канал, повинні мати однакову пропускну здатність.

Для аналізу часових параметрів мереж з комутацією пакетів розглянемо часову діаграму передачі інформації від вузла зв'язку *A* (відправник) до вузла *C* (отримувач) через один транзитний вузол зв'язку *B* (Рис. 1). На рисунку прийняті такі позначення:

*T1A, T1B* – час видачі даних із вузлів *A* і *B* в канал;

*T2B, T2C* – час прийому даних на вузли *B* і *C* із каналу;

*T3AB, T3BC* – час розповсюдження сигналів в передавальному середовищі між вузлами *A* і *B* та *B* і *C*, відповідно;

*T4A, T4B, T4C* – час затримки пакетів на вузлах *A, B, C*;

*Індексні цифри* вказують на порядковий номер або модифікацію відповідного параметра. Очевидно, *T2B=T1A, T2C=T1B*.

У початковому стані в момент часу  $t_0$  (початок сеансу обміну) на вузлі-відправнику *A* знаходяться пакети, які необхідно передати до вузла-отримувача *C*, а також адреса першого транзитного вузла (в нашому випадку вузла *C*). Кожен пакет містить в собі заголовок і дані, які на рисунку розділені штриховою лінією. В заголовку міститься певна управляюча інформація, адреса вузла-отримувача, номер пакета та контрольна інформація, за допомогою якої здійснюється виявлення помилок передачі [2, 6, 8].

На Рис. 1, як приклад, показана передача 4-х пакетів. В інтервали часу *T1A<sub>1</sub>, T1A<sub>2</sub>, T1A<sub>3</sub>, T1A<sub>4</sub>* – здійснюється видача сформованих пакетів в канал, який з'єднує вузли *A* і *B*. Через проміжок часу *T3AB* починається прийом цих пакетів на вузлі *B* (інтервали часу *T2B<sub>1</sub>, T2B<sub>2</sub>, T2B<sub>3</sub>, T2B<sub>4</sub>*).

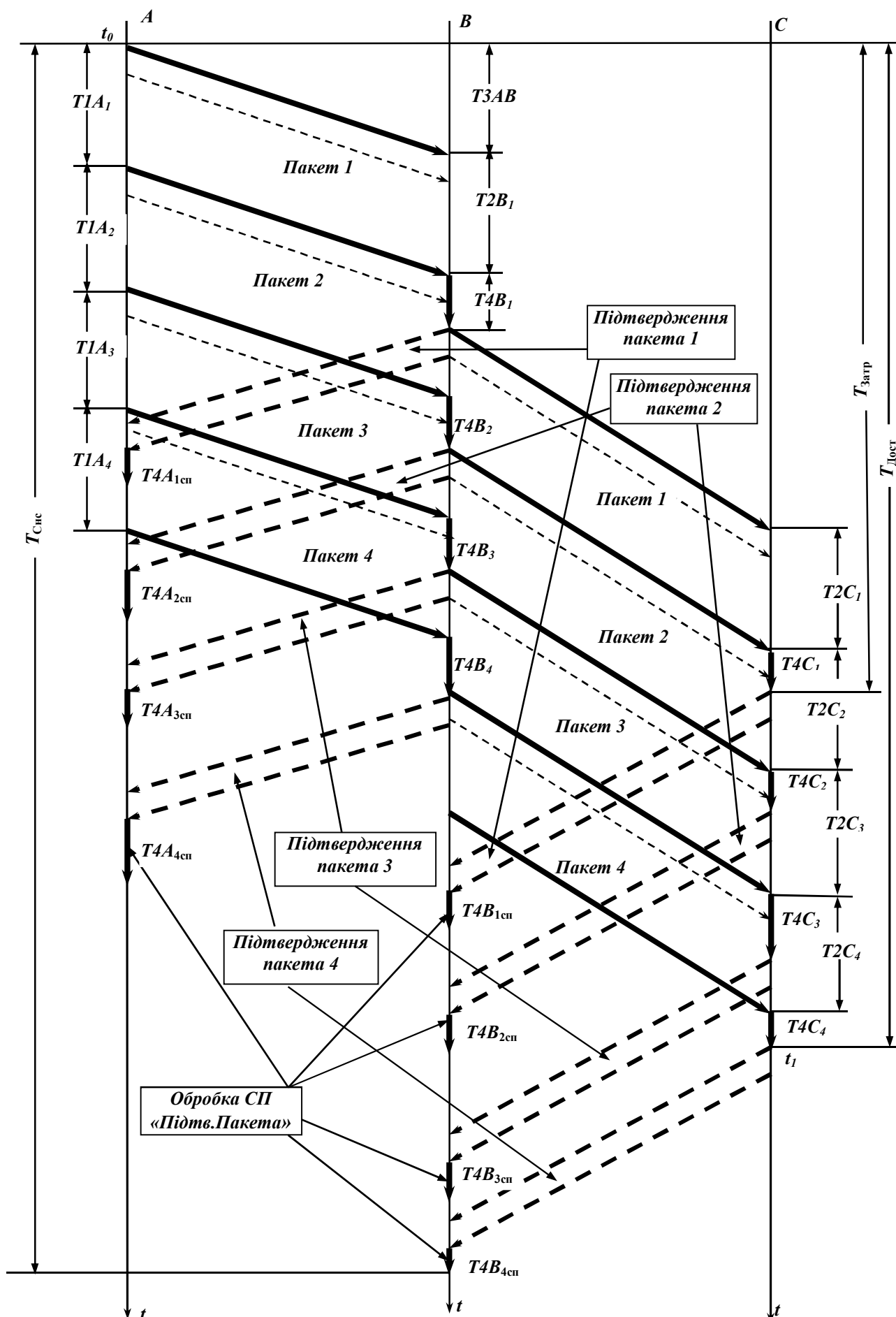


Рис. 1. Часова діаграма передачі інформації в мережі з комутацією пакетів

Прийняті на транзитному вузлі  $B$  (в загальному випадку і на всіх подальших транзитних вузлах) пакети запам'ятовуються і ставляться в чергу на обробку, після чого оброблені пакети передаються в іншу чергу – чергу на видачу пакету в канал між вузлами  $B$  і  $C$ . Інтервал часу, на протязі якого пакет обробляється і знаходиться у вказаних чергах на вузлі  $B$  позначений як  $T4B_i$  (індекс  $i$  вказує на номер пакета). Обробка прийнятого пакета полягає в наступному: *контроль* відсутності помилок в пакеті; *вибір* на основі аналізу адреси вузла-отримувача подальшого маршруту передачі (задача маршрутизації); *модифікація* заголовка пакету (при необхідності); *постановка* пакета в чергу для подальшого транспортування, *формування* для передачі на вузол-передавач  $A$  службового повідомлення «*Підтвердження пакета*» (позитивна квитанція); *постановка* цього службового повідомлення в чергу на передачу до вузла  $A$ .

Зауважимо, в нашому випадку ми розглядаємо випадок, коли під час передачі пакету спотворення в каналі не було. Якщо на вузлі-отримувачу буде виявлена помилка в пакеті, на вузол-передавач відправляється негативна квитанція згідно використовуваному протоколу квитування [2, 7, 8]. Після прийому і обробки позитивної квитанції відповідний пакет на вузлі зв'язку  $A$  може бути знищений.

Таким же чином здійснюється обробка прийнятих пакетів наступними вузлами зв'язку, через які транспортуються пакети.

Для користувача з точки зору якості обслуговування найважливіше значення мають такі часові параметри як час затримки інформації в мережі –  $T_{затр}$ ; час доставки інформації до отримувача –  $T_{дост}$ , а також деякі інші параметри, які в значній мірі визначають вказані вище користувацькі часові характеристики мережі. Вони носять більше експлуатаційний характер і визначаються використовуваними протоколами, адміністрацією мережі тощо. До цих параметрів відносяться час *сеансу обміну* інформацією –  $T_{сис}$ ; час *непродуктивного* зайняття каналів (інформаційна надлишковість); *ширина* вікна; величина черг [1, 3, 8]. Розглянемо детальніше та приведемо аналітичні вирази для визначення цих параметрів.

**Час затримки інформації в мережі** – найбільш важливий параметр для систем реального часу (трансляція різних заходів, банківські розрахункові системи, супутникові системи зв'язку, інші системи, працюючі в режимі on-line тощо). Як видно із Рис. 1 цей параметр слід

Для визначення в загальному вигляді аналітичних виразів часових параметрів будемо вважати, що передача здійснюється через  $k$  вузлів зв'язку, включаючи вузли передавача і отримувача. Всі вузли пронумеровані в порядку проходження маршруту і мають номери  $i=1, 2, \dots, k$  (для вузла-передавача  $i=1$ , для вузла-отримувача  $i=k$ ). Тоді згідно Рис. 1 час затримки інформації в мережі можна визначити наступним чином:

$$T_{затр} = \sum_{i=1}^{k-1} T3(i, i+1) + \sum_{i=2}^k (T2.i + T4.i), \quad (1)$$

де  $T3(i, i+1)$  – час розповсюдження сигналів в передавальному середовищі між вузлами з номерами  $i$  та  $i+1$ ;  $T4.i$  – час обробки пакету на  $i$ -му вузлі, який визначається, в основному, величиною черги пакетів на обробку (черги на обробку та видачу пакетів обумовлені тим, що на вузлі одночасно обслуговуються декілька сеансів обміну між іншими адресатами).

Час прийому пакету на вузлі  $i$  в (1) визначається як

$$T2.i = (N_d + N_{сн}) \times \frac{1}{f_{i,i+1}}, \quad (2)$$

де  $N_d$  – об'єм в бітах корисних даних (інформація користувача) в пакеті;  $N_{сн}$  – об'єм в бітах заголовку пакету (надлишкова інформація),  $f_{i,i+1}$  – швидкість передачі інформації в каналі між вузлами з номерами  $i$  та  $i+1$ . Ще раз зауважимо, що в мережах з комутацією пакетів можуть використовуватись канали з різною швидкістю передачі інформації.

Враховуючи (2) із виразу (1) отримуємо аналітичний вираз для оцінки затримки інформації в мережі в залежності від об'єму пакету, швидкості передачі інформації в каналі та часу обробки пакетів на вузлах зв'язку:

$$T_{\text{Затр}} = \sum_{i=1}^{k-1} T3(i, i+1) + \sum_{i=2}^k \left[ (N_{\text{д}} + N_{\text{сп}}) \times \frac{1}{f_{i,i+1}} + T4.i \right]. \quad (3)$$

**Час доставки інформації** визначається як проміжок часу від початку видачі першого пакета із вузла-відправника (момент часу  $t_0$ ) до прийому і обробки останнього пакету на вузлі-отримувачі (момент часу  $t_1$ ). Як видно із Рис. 1, цей час складається із часу затримки першого пакету та часу прийому решти пакетів:

$$T_{\text{Дост}} = \sum_{i=1}^{k-1} T3(i, i+1) + \sum_{i=2}^k \left[ (N_{\text{д}} + N_{\text{сп}}) \times \frac{1}{f_{i,i+1}} + T4.i \right] + \sum_{i=2}^n (N_{\text{д}} + N_{\text{сп}}) \times \frac{1}{f_{k-1,k}}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість пакетів, які передаються в даному сеансі; останній доданок у виразі (4) представляє собою час прийому 2-го, 3-го, ...,  $n$ -го пакетів на вузлі-отримувачі.

Згідно Рис. 1 **час сеансу** представляє собою час доставки плюс час передачі і обробки останньої квитанції (підтвердження вузлом-отримувачем прийому останнього пакету)

**Ефективність використання каналів зв'язку** визначається двома основними факторами: *мінімальним часом* утримання каналів без передачі інформації та коефіцієнтом ефективності  $k_{\text{еф}}$  – співвідношенням між кількістю корисної інформації (інформації користувача) та сумарною кількістю переданої інформації. Якщо всі пакети мають однаковий об'єм і враховуючи, що на кожен пакет використовується додаткова інформація заголовка та квитанції (підтвердження пакету), коефіцієнт ефективності визначається виразом:

$$k_{\text{еф}} = \frac{N_{\text{д}}}{N_{\text{д}} + N_{\text{зг}} + N_{\text{сп}}}, \quad (5)$$

де  $N_{\text{сп}}$  – об'єм службового повідомлення.

Якщо пакети мають різний об'єм, вираз (5) запишеться у вигляді відповідної суми:

$$k_{\text{еф}} = \sum_{i=1}^n \frac{N_{\text{д},i}}{N_{\text{д},i} + N_{\text{зг},i} + N_{\text{сп},i}}. \quad (6)$$

**Ширина вікна.** Іншим параметром, який впливає на забезпечення ефективності використання пропускної спроможності каналу, а саме мінімального часу зайняття каналу без його використання, є “ширина вікна”. Поняття “ширина вікна” полягає в наступному.

Якщо вузол-відправник після видачі пакету буде очікувати підтвердження його прийому (однопакетний протокол квитування), це призведе до простою каналу (зайняття каналу без використання). Для усунення цього недоліку використовується “багатопакетний протокол квитування”, за яким допускається передача послідовності пакетів до прийому квитанції підтвердження першого із них. На Рис. 1 на вузлі А це будуть пакети 2, 3 і 4, – підтвердження 1-го пакету приходить під час видачі 4-го пакету. Максимально допустиме число пакетів, які можуть бути передані до отримання квитанції, називається “**шириною вікна**”.

Іншими словами: “ширина вікна” – це максимальне число непідтверджених пакетів, які можуть бути видані в мережу. Механізм відслідковування “ширини вікна” базується на використанні відповідного лічильника: під час видачі пакету до лічильника добавляється «1», після отримання квитанції – «1» віднімається. Після досягнення на лічильнику допустимої величини “ширини вікна” видача пакетів в мережу припиняється.

Механізм відслідковування “ширини вікна” здійснюється на випадок, коли квитанції внаслідок тих чи інших причин не можуть бути доставлені на вузол-відправник.

Величина “ширини вікна” встановлюється для кожного каналу адміністрацією мережі виходячи із аналізу часових діаграм для конкретних каналів і протоколів передачі.

Аналітично “ширину вікна” можна визначити через кількість пакетів, які можуть бути видані за проміжок часу очікування квитанції  $T_{\text{оч.кв.}}$ :

$$T_{\text{оч.кв.}} \geq T2.(i, i+1) + T4.(i+1) + T3.(i+1), i + T4.i \quad (7)$$

“Ширина вікна” може також задаватись не через кількість пакетів, а безпосередньо як часовий параметр – тайм-аут, проміжок часу, який відводиться для отримання квитанції на відправлений у мережу пакет. Якщо підтвердження за цей проміжок часу не прийшло, робиться висновок, що квитанція втрачена. В цьому випадку дещо ускладнюється механізм відслідковування “ширини вікна”.

Слід також зауважити, що *перенавантаження* і, як наслідок, блокування функціонування мережі виникають через недотримання основних часових параметрів під час процесу інформаційного обміну [8]. Перенавантаження виникають на вузлах зв'язку, коли кількість пакетів, які поступають на вузол, перевищує можливості обчислювальних засобів вузла. Контролювати виникнення перенавантаження можна відслідковуючи величину черги на обробку прийнятих пакетів та черги на видачу пакетів в кожен із каналів, підключених до вузла. Величини цих черг, а також інформація про стан каналів зв'язку дають можливість значно знизити ризики виникнення перенавантажень і блокувань мережі.

**Висновки.** Отримані в роботі аналітичні вирази дають можливість отримати первинні кількісні оцінки часових характеристик пакетної мережі, яка аналізується чи проектується. Приведена детальна часова діаграма сеансу передачі, яка дозволяє оцінити якість надання основних послуг з точки зору часових вимог до мережі.

Вирази (3)...(4) дають можливість здійснювати вибір об'єму пакета із врахуванням впливу розміру пакету на ефективність використання каналів зв'язку та на час затримки інформації в мережі, що особливо важливо для систем реального часу.

Матеріали статті можуть бути використані фахівцями, розробниками та адміністраторами мереж, а також у навчальному процесі.

### Література

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум ; пер. с англ. под – [4-е изд.]. – Санкт-Петербург : «Питер», 2003. – 992 с.
2. Протоколы и методы управления в сетях передачи данных : пер. с англ. / под ред. Ф. Ф. Куо. – Москва : Радио и связь, 1985. – 480 с.
3. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – [3-е изд.]. – Санкт-Петербург : «Питер», 2006. – 958 с.
4. Крук Б. И. Телекоммуникационные системы и сети : Учебное пособие : Т.1 – Современные технологии / Б. И. Крук, В. Н. Попантонолуло, В. П. Шувалов ; под ред. профессора В. П. Шувалова. – [3-е изд.]. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2003. – 647 с.
5. Мардер Н. С. Современные телекоммуникации / Н. С. Мардер. – Москва : ИРИАС, 2006. – 384 с.
6. Стеклов В. К. Телекоммуникаційні мережі / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман. – Київ : Техніка, 2001. – 392 с.
7. Абилов А. В. Сети связи и системы коммутации : учебное пособие для вузов / А. В. Абилов. – Москва : Радио и связь, 2004. – 288 с.
8. Мельников Д. А. Информационные процессы в компьютерных сетях. Протоколы, стандарты, интерфейсы, модели / Д. А. Мельников. – Москва : КУДИЦ-ОБРАЗ, 1999. – 256 с.
9. Стеклов В. К. Нові інформаційні технології. Транспортні мережі телекомунікацій / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман. – Київ : Техніка, 2004. – 488 с.