

УДК 621.391

ТРУБЧАНІНОВА К.А., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ),  
ПОЛЯКОВА К.В., магістр (УкрДАЗТ)

## Дослідження пропускної здатності мережі доступу в залежності від типу абонента

Проведений аналіз числа пакетів, що поступають у мережу від трьох груп абонентів в обраному районі, що користуються різними телекомунікаційними послугами, а також досліджено вплив розміру пакета на необхідну пропускну здатність.

**Ключові слова:** продуктивність вузла доступу, коефіцієнт використання, інтенсивність обслуговування пакетів, пропускну здатність.

### Постановка проблеми та аналіз літератури

Стрімкий розвиток технологій у сфері телекомунікацій та популяризація технології Інтернет призводить до збільшення числа користувачів нових телекомунікаційних послуг. В наш час перед операторами, що надають такі послуги, стоїть проблема оновлення старого обладнання, тобто заміна на більш перспективне.

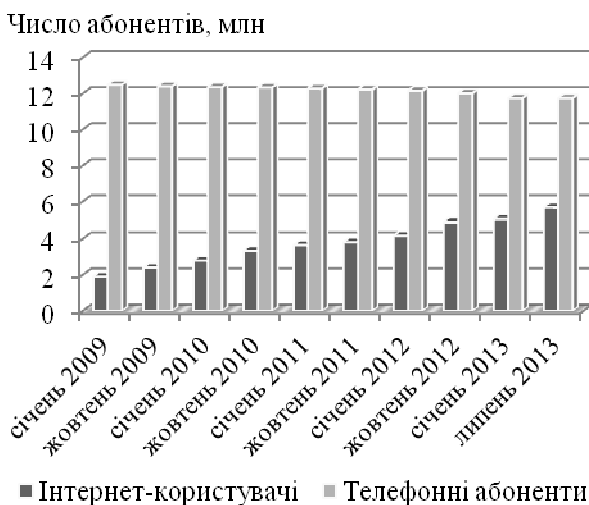


Рис. 1. Статистика зміни числа користувачів фіксованого телефонного зв'язку та Інтернету

За даними Державної служби статистики України [1, 2] за останні п'ять років кількість Інтернет-користувачів збільшилась у 3 рази. Число абонентів фіксованого телефонного зв'язку напроти постійно знижується, основними причинами чого є підвищення в останні два роки тарифів на послуги, а також доступність та поширення мобільного зв'язку. Так з 2009 року 747,1 тис. абонентів відмовилися від послуг фіксованого телефонного зв'язку. Впровадження Triple Play Service (TPS) дозволяє додати послуги передачі відео і різного роду контент-послуг до традиційної передачі голосу і даних. Як правило, вони підтримують не тільки традиційні послуги мереж кабельного телебачення, а й унікальні сервіси, можливі лише в пакетних мережах.

Еволюція і запуск нових інтерактивних послуг призводить до збільшення щомісячного рахунку на одного абонента (ARPU), а отже доходів операторів. Тому, зважаючи на попит на окремі види телекомунікаційних послуг, оператори повинні йти на компроміс між пропускну спроможністю, що забезпечуватиме нормальну роботу програм, та вартістю тієї чи іншої послуги, що в свою чергу веде за собою і проблему вибору обладнання для мережі. Всі ці фактори змушують операторів зв'язку приділяти більше уваги послугам передачі даних і будувати мережі для якісного надання користувачам додаткових послуг.

**Метою роботи** є дослідження числа пакетів, генерованих трьома групами абонентів, що користуються різними телекомунікаційними послугами, та необхідної пропускної здатності в залежності від розміру пакета в обраному районі.

### Основна частина

Розрахуємо продуктивність вузла доступу, враховуючи структуру навантаження, що надходить від трьох груп абонентів, які користуються різними видами послуг (телефонія, телефонія та Інтернет, triple

play). Визначимо та порівняємо число IP-пакетів, генерованих кожною групою користувачів у ГНН.

Для дослідження було обрано невеликий район, що складається з 10 будинків та має 2082 абоненти.

Розрахунок числа пакетів від першої групи абонентів, що використовують тільки телефонію. Обираємо тип використовуваного кодека - G.711 (забезпечує найкращу якість мови) з тривалістю дейтаграми  $T_{PDU} = 20\text{мс}$ . При цьому передається

$n_1 = \frac{1}{T_{PDU}}$  кадрів в секунду. Розмір пакетизованих

даних визначається за формулою

$$h = v \cdot T_{PDU}, \quad (1)$$

де  $h$  – розмір пакетизованих даних, байт;  $v$  – швидкість кодування, байт/с;

$T_{PDU}$  – тривалість однієї мовної вибірки (тривалість пакету), с.

Визначаючи число пакетів, що поступають від першої групи абонентів, необхідно враховувати середню тривалість розмови, кількість викликів в годину найбільшого навантаження та долю таких абонентів у загальній структурі користувачів.

Число пакетів, генерованих абонентами, що використовують тільки телефонію:

$$N_1 = n_1 \cdot t_1 \cdot f_1 \cdot \pi_1 \cdot N, \quad (2)$$

де  $N_1$  – число пакетів від першої групи користувачів в годину найбільшого навантаження;  $n_1$  – число пакетів, генерованих в секунду одним абонентом при використанні кодека G.711;  $t_1$  – середня тривалість розмови в секундах для першої групи абонентів;  $f_1$  – число викликів в годину найбільшого навантаження для першої групи абонентів;  $\pi_1$  – частка користувачів групи 1 в загальній структурі абонентів;  $N$  – загальна кількість користувачів.

Розрахунок числа пакетів від другої групи абонентів, що використовують телефонію та Інтернет. Параметри телефонного навантаження співпадають з аналогічними параметрами для групи 1, тому число пакетів, що виникають за рахунок використання мовних сервісів, розраховується за формулою

$$N_{2-г} = n_1 \cdot t_2 \cdot f_2 \cdot \pi_2 \cdot N, \quad (3)$$

де  $N_{2-г}$  – число пакетів, генерованих другою групою користувачів в годину найбільшого навантаження при

використанні мовних сервісів;  $n_1$  – число пакетів, генерованих в секунду одним абонентом при використанні кодека G.711;  $t_2$  – середня тривалість розмови в секундах для другої групи абонентів;  $f_2$  – число викликів в годину найбільшого навантаження для другої групи абонентів;  $\pi_2$  – частка користувачів групи 2 в загальній структурі абонентів;  $N$  – загальна кількість користувачів.

Розраховуючи число пакетів у ГНН, що надходять від другої групи абонентів при передачі даних, необхідно задатися розміром пакетів та об'ємом переданих даних. Для спрощення розрахунків оберемо однаковий розмір пакетів як при передачі мови, так і при передачі даних.

$$N_{2-д} = \pi_2 \cdot N \cdot \frac{v_2}{h}, \quad (4)$$

де  $N_{2-д}$  – кількість пакетів, генерованих у годину найбільшого навантаження абонентами другої групи при використанні сервісів передачі даних;  $\pi_2$  – частка користувачів другої групи в загальній структурі абонентів;  $h$  – розмір поля даних пакета;  $N$  – загальна кількість користувачів.

Сумарна кількість пакетів, генерованих другою групою користувачів у мережу в годину найбільшого навантаження, буде дорівнювати

$$N_2 = N_{2-г} + N_{2-д} \quad (5)$$

Розрахунок числа пакетів від третьої групи абонентів (triple play) при передачі мови та даних аналогічний розрахунку двох перших груп, тобто:

$$N_{3-г} = n_1 \cdot t_{3-г} \cdot f_3 \cdot \pi_3 \cdot N, \quad (6)$$

$$N_{3-д} = \pi_3 \cdot N \cdot \frac{v_3}{h}, \quad (7)$$

де  $N_{3-г}$  – число пакетів, генерованих третьою групою користувачів у годину найбільшого навантаження при використанні мовних сервісів;  $n_1$  – число пакетів, генерованих в секунду одним абонентом при використанні кодека G.711;  $t_{3-г}$  – середня тривалість розмови в секундах для третьої групи абонентів;  $f_3$  – число викликів у годину найбільшого навантаження для третьої групи абонентів;  $\pi_3$  – частка користувачів

групи 3 в загальній структурі абонентів;  $V_3$  – об’єм переданих та прийнятих даних;  $h$  – розмір поля даних пакета;  $N$  – загальна кількість користувачів.

Розраховуючи число пакетів, генерованих користувачами відео-послуг, необхідно враховувати розмір пакета. В даному випадку група абонентів використовує послугу IPTV – передача каналів телемовлення здійснюється за допомогою IP протоколу. Швидкість кодування повинна бути 2 Мбіт/с, щоб забезпечити задовільну якість обслуговування.

Визначаємо кількість пакетів, що виникають при трансляції одного каналу, враховуючи розмір корисного навантаження ( $h$ ) та необхідну швидкість передачі ( $v$ ),

$$n_3 = \frac{v}{h} \quad (8)$$

Тоді число пакетів від третьої групи абонентів, що користуються відео-послугами, в годину найбільшого навантаження розраховується за такою формулою

$$N_{3\_B} = K_{tv} \cdot n_3 \cdot t_{3\_B} \cdot 60 \quad (9)$$

де  $N_{3\_B}$  – число пакетів, генерованих третьою групою користувачів у ГНН при використанні відео-послуг;  $n_3$  – число пакетів, генерованих у секунду одним абонентом при перегляді відео, стисненого по стандарту MPEG2;  $K_{tv}$  – число каналів мовлення, що транслюються у мультисервісній мережі;  $t_{3\_B}$  – середній час перегляду каналів у ГНН, с.

На підставі формул (6), (7) та (9) отримаємо загальну формулу для визначення числа пакетів, генерованих третьою групою користувачів у ГНН,

$$N_3 = N_{3\_T} + N_{3\_I} + N_{3\_B} \quad (10)$$

Даний мультисервісний вузол доступу повинен обробити таку кількість пакетів:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 + N_3 = n_1 \cdot t_1 \cdot f_1 \cdot \pi_1 \cdot N + (n_1 \cdot t_2 \cdot f_2 \cdot \pi_2 \cdot N + \pi_2 \cdot N \cdot \frac{V_2}{h}) + (n_1 \cdot t_3 \cdot f_3 \cdot \pi_3 \cdot N + \pi_3 \cdot N \cdot \frac{V_3}{h} + K_{tv} \cdot n_3 \cdot t_{3\_B} \cdot 60) \quad (11)$$

Для спрощення розрахунків приймаємо:  $t_1 = t_2 = t_3 = t$  – середня тривалість розмови в

секундах;  $f_1 = f_2 = f_3 = f$  – число викликів у ГНН; а також враховуємо, що  $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1$ . Тоді формула (11) має вигляд

$$N_{\Sigma} = N \cdot \left( n_1 \cdot t \cdot f + \frac{\pi_2 \cdot V_2 + \pi_3 \cdot V_3}{h} \right) + K_{tv} \cdot n_3 \cdot t_{3\_B} \cdot 60 \quad (12)$$

Даний показник дозволяє оцінити вимоги до продуктивності маршрутизатора, що агрегує трафік мультисервісної мережі доступу.

Залежність числа пакетів від розміру корисного навантаження приведена на рисунку 1. Графік побудований за умов, що середня тривалість розмови  $t = 120$  с; число викликів у ГНН  $f = 5$ ; об’єм переданих даних у ГНН для другої групи складає 10 Мбайт, а для третьої – 100 Мбайт; загальна кількість абонентів  $N=2082$ ; частка користувачів групи 1 складає 25%, групи 2 – 70% та групи 3 – 5%; час перегляду відео в ГНН  $t_{3\_B}=60$  хв; кількість каналів мовлення  $K_{tv} = 40$ .

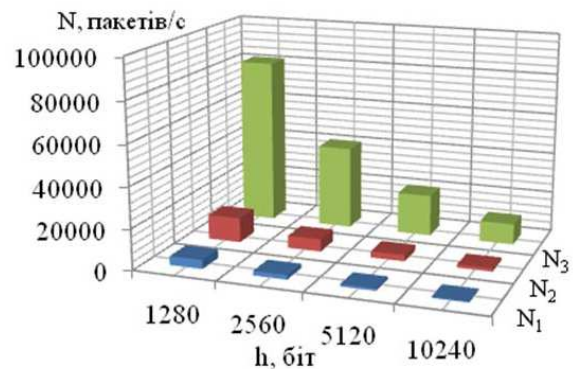


Рис. 2. Залежність числа пакетів від розміру корисного навантаження

Аналізуючи рисунок 2, можна зробити ряд висновків. По-перше, при збільшенні розміру корисного навантаження кількість пакетів, генерованих абонентами у мережу, зменшується. По-друге, найменше число пакетів генерують до мережі користувачі першої групи. А найбільшу кількість пакетів генерують до мережі абоненти третьої групи, що використовують 3 види послуг – телефонію, Інтернет та відео-послуги (IPTV).

Смуга пропускання залежить від завантаженості мережі пакетами, що містять дані, голос, графіку і т.д. Це означає, що затримки при проходженні пакетів можуть бути різними.

Вимоги до смуги пропускання визначаються гарантіями якості обслуговування, що надаються оператором користувачеві. Параметри QoS описані в рекомендації ITU Y.1541 [3]: затримка поширення з кінця в кінець при передачі мови не повинна перевищувати 100 мс, а ймовірність перевищення затримки порогу в 50 мс не повинна перевищувати 0.001, тобто:

$$\bar{t}_p \leq 100 \text{ мс}$$

$$p\{t_p > 50 \text{ мс}\} \leq 0.001.$$

Під затримкою з кінця в кінець розуміють суму затримок у різних мережних пристроях і мережних каналах, через які проходить мультимедійний трафік. Наскрізна затримка складається з наступних складових:

$$t_p = t_{\text{пакет}} + t_{\text{ад}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{ад}} + t_{\text{буф}} \quad (13)$$

де  $t_p$  – час передачі пакету з кінця в кінець;

$t_{\text{пакет}}$  – час пакетізації (залежить від типу трафіку і кодека);

$t_{\text{ад}}$  – час затримки при транспортуванні в мережі доступу;

$t_{\text{тр}}$  – час затримки при поширенні в транзитній мережі;

$t_{\text{буф}}$  – час затримки в приймальному буфері.

Припустимо, що затримка мережі доступу не повинна перевищувати 5 мс. Час обробки заголовка IP-пакета близько до постійного. Розподіл інтервалів між надходженнями пакетів відповідає експоненціальному закону. Тому для опису процесу, що відбувається на агрегуючому маршрутизаторі, можна скористатися моделлю M/G/1.

Середній час виклику в системі для даної моделі визначається за формулою Поллачека-Хінчіна [4]

$$\bar{t}_{\text{ад}} = \frac{\tau \cdot (1 + C_B^2)}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot \tau)} \quad (14)$$

де  $\tau$  – середня тривалість обслуговування одного пакету;

$C_B^2$  – квадрат коефіцієнта варіації;

$\lambda$  – параметр потоку,  $\lambda = N_{\Sigma}$ , сек;

$\bar{t}_{\text{ад}}$  – середній час затримки пакету в мережі доступу.

Існує залежність максимальної величини для середньої тривалості обслуговування одного пакету від середнього часу затримки в мережі доступу.

$$\tau = \frac{1}{\lambda + \frac{1 + C_B^2}{2\bar{t}_{\text{ад}}}} \quad (15)$$

Для побудови залежності максимальної величини для середньої тривалості обслуговування одного пакету від середнього часу затримки в мережі доступу задаємо наступні величини:  $C_B^2 \approx 0.2$ ;  $\bar{t} = 0.005$  с.

Інтенсивність обслуговування пакетів (максимальна інтенсивність просування пакетів на вихід маршрутизатора/комутатора) обернено пропорційна середньому часу затримки пакету в мережі доступу

$$\beta = \frac{1}{\tau} \quad (16)$$

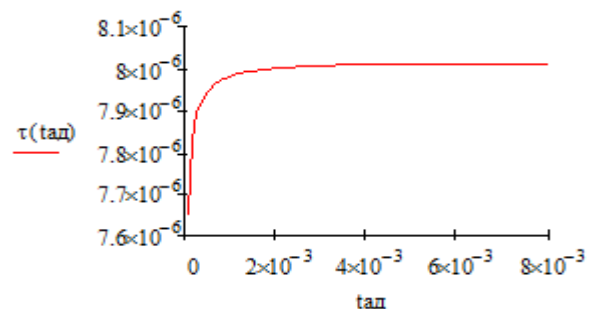


Рис. 3. Залежність максимальної величини для середньої тривалості обслуговування одного пакету від середнього часу затримки в мережі доступу

При розрахунках слід враховувати, що середня тривалість обслуговування одного пакету  $\tau$  обирається як мінімальний час серед двох значень. Перше – отримане в результаті розрахунку з формули (15). Друге – величина, яка визначається при умові, що коефіцієнт використання  $\rho$  не перевищує значення 0,5.

Коефіцієнт використання визначається за наступною формулою:

$$\rho = \lambda \cdot \tau \quad (17)$$

Обираємо середнє значення затримки 5 мс, тоді

$$\rho = \lambda \cdot \tau(0.005) \quad (18)$$

Враховуючи, що при великому використанні навіть маленькі флуктуації можуть привести до нестабільної роботи системи, визначаються параметри системи при використанні на 50%.

$$\tau = \frac{\rho}{\lambda}. \quad (19)$$

Далі знову визначаються інтенсивність обслуговування по формулі (16) та затримка в мережі доступу по формулі (14).

Необхідна пропускна здатність

$$\varphi_1 = \beta \cdot h_1. \quad (20)$$



Рис. 4. Залежність необхідної пропускної здатності від середнього розміру пакета

Із рисунка 4 слідує, що збільшення розміру пакету даних, що передається по маршруту, веде за собою значне збільшення необхідної пропускної здатності. Для передачі інформації з розміром пакета 160 байт необхідна система передач не нижче STM-4, пропускна здатність для пакетів розміром 320 байт та 640 байт буде забезпечуватися системою передач не нижче STM-16, а пропускна здатність при розмірі пакета 1280 байт потребує систему передач не нижче STM-64.

Якщо припустити, що в структурному складі абонентів відсутні групи користувачів, які використовують відео, тобто  $\pi_2 \approx \pi_2 + \pi_3$ . При цьому в наведеному вище аналізі слід опустити розрахунок числа пакетів, що виникають при використанні сервісів високошвидкісної передачі даних і відеопослуг.

Тоді число генеруючих пакетів, що виникають у ЧНН, дорівнюватиме

$$N = N_{tel} + N_{int} = N \cdot (n \cdot t \cdot f + \frac{\pi_2 \cdot V_2}{h}). \quad (21)$$

де  $N_{tel}$  – число пакетів телефонії, що генерується всіма користувачами в годину найбільшого навантаження;

$N_{int}$  – число пакетів Інтернету, що генерується другою групою користувачів у годину найбільшого навантаження;

$\pi_2$  – частка користувачів групи 2 в загальній структурі абонентів;

$n$  – число пакетів, що генеруються за секунду одним абонентом при використанні кодека;

$t$  – середня тривалість розмови в секундах;

$f$  – число викликів у годину найбільшого навантаження;

$N$  – загальне число користувачів.

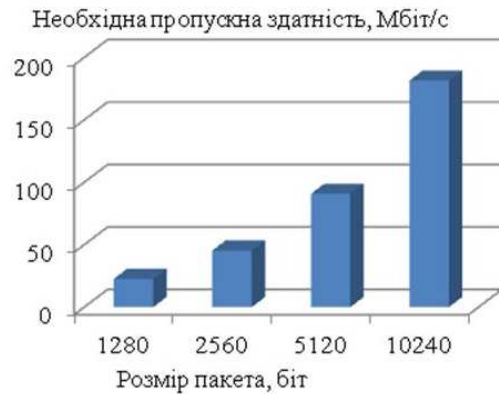


Рис. 5. Залежність необхідної пропускної здатності від середнього розміру пакета при відсутності групи абонентів, які використовують відео

Аналіз рисунка 5 показує, що при відсутності групи абонентів, які використовують відео, необхідна пропускна здатність в середньому зменшується у 14 разів. Також з рисунку 5 слідує, що для забезпечення передачі інформації по мережі з розміром пакета 1280 байт необхідно використовувати систему передачі не нижче STM-4, тоді як для інших трьох розглянутих значень розмірів пакета буде достатньо STM-1.

### Висновок

Провівши аналітичний аналіз числа пакетів, що генерують три різні групи користувачів, та необхідної при цьому пропускної здатності, зробимо наступні висновки:

при плануванні мережі доступу необхідно враховувати «розшарування» абонентської бази;

у мережі доступу основне навантаження створюється користувачами послуг «triple play»

services». Кількість цих користувачів невелика, проте вони приносять оператору значний дохід;

при затребуваності мультимедійних послуг навіть невеликою групою абонентів вимоги до смуги пропускання радикально збільшуються.

#### Література

1. Електронний архів абонентів зв'язку [www.ukrstat.gov.ua/](http://www.ukrstat.gov.ua/)
2. Електронний архів засобів телефонного зв'язку [www.ukrstat.gov.ua/](http://www.ukrstat.gov.ua/)
3. ITU-T Y.1541. Network Performance objectives for IP-based services [Текст]. Amendment 3, 2008.
4. Казиева Г.С. IP-телефонія и відеосв'язь [Текст] / Г.С. Казиева, Е.В. Ползик. - А.: Радіотехніка, електроніка и телекомунікації, 2010. - 31с.

**Трубчанинова К.А., Полякова К.В. Исследование пропускной способности сети доступа в зависимости от типа абонента.** Проведен анализ числа пакетов, поступающих в сеть от трех групп абонентов в выбранном районе, которые пользуются различными телекоммуникационными услугами, а также исследовано влияние размера пакета на требуемую пропускную способность.

**Ключевые слова:** продуктивность узла доступа, коэффициент использования, интенсивность обслуживания пакетов, пропускная способность.

---

**Trubchaninova K., Polyakova K. The research of access network transmission capacity depending on the type of subscriber.** The analysis of the number of packets entering the network from three user groups in the selected area using different telecommunication services has been conducted and the effect of a package size on the required transmission capacity has been studied.

**Key words:** the productivity of access node, coefficient of use, intensity of package service rate, transmission capacity.

Рецензент д.т.н., професор Альошин Г.В.  
(УкрДАЗТ)

*Поступила 01.10.2013г.*