

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СПРИЙНЯТТЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ АБОНЕНТІВ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ

---

***Анотація.** Проведений аналіз сприйняття якості обслуговування (PQoS) як цільової функції задачі мережевого керування. Запропонована імітаційна модель для визначення значень PQoS. Проведене експериментальне дослідження гіпотези IQX для кодеку мови SPEEX.*

***Ключові слова:** сприйняття якості обслуговування, імітаційна модель, гіпотеза IQX, кодек мови SPEEX.*

***Аннотация.** Проведен анализ восприятия качества обслуживания (PQoS) как целевой функции задачи сетевого управления. Предложена имитационная модель для определения значений PQoS. Проведено экспериментальное исследование гипотезы IQX для кодека речи SPEEX.*

***Ключевые слова:** восприятие качества обслуживания, имитационная модель, гипотеза IQX, кодек речи SPEEX.*

***Abstract.** The growing importance of perceived quality of service (PQoS) as the objective function of network management is analyzed. A simulation model for evaluation of the PQoS parameters is presented. The IQX hypothesis for SPEEX voice codec is experimentally investigated.*

***Key words:** perceived quality of service, simulation model, IQX hypothesis, SPPEX voice codec.*

### 1. Вступ

Однією із найбільш важливих вимог, що пред'являються до інформаційно-комунікаційних мереж, є забезпечення для кожного з користувачів мережі заданого рівня якості обслуговування (QoS, Quality of Service). У рекомендації ІТУ – Т Р.800, QoS визначена як «сукупний ефект характеристик мережевого сервісу, який визначає ступінь задоволеності споживача даного сервісу».

Традиційний підхід до завдання якості обслуговування передбачає визначення для інформаційних потоків у мережі набору граничних значень параметрів, при досягненні яких забезпечується придатне функціонування інформаційного сервісу (послуги). Для мереж із комутацією пакетів найбільш вагомими параметрами QoS є: пропускна спроможність; затримка передавання пакета; варіація затримки передавання пакета (джіттер); процент втрачених пакетів; імовірність бітової помилки [1].

При розробці методів керування QoS складний характер взаємних зв'язків між параметрами мережі, неоднозначність їх впливу на якість обслуговування визначають нетривіальність визначення значень цільової функції оптимізації QoS як функції декількох змінних. Тому в багатьох моделях керування QoS цільова функція задається як функція, залежна від однієї змінної, як правило, від пропускної спроможності [2] або затримки [3]. Для подолання однокритеріальності у ряді робіт [4, 5] цільова функція оптимізації вводиться як комбінація двох і більше критеріїв. Скаляризація багатокритеріальної задачі подібним чином зменшує ступінь довіри до отриманих результатів з огляду на поєднання у цільовій функції показників різної фізичної природи [6].

Істотним системним недоліком вирішення задач підвищення якості обслуговування лише на основі аналізу мережевих параметрів є виключення із аналізу стратегій розподілу ресурсів можливостей програмного забезпечення прикладного рівня. Сучасні методи кодування і декодування інформації дозволяють, наприклад, змінювати вимоги до пропускної спроможності за рахунок кодування зі змінною швидкістю [7], зменшувати вимоги до ймовірності бітової помилки в каналах зв'язку за рахунок завадостійкого стиску [8] і ди-

ференційованого захисту пакетів з мультимедійною інформацією [9], компенсувати вплив втрати пакетів і джиттера за рахунок адаптивного відтворення [7].

Як інтегральний показник при оцінюванні оптимальності QoS керування у мережі, безпосередньо пов'язаний з її основним призначенням – забезпеченням передавання інформації із заданою якістю, що враховує як вплив параметрів мережі, так і вплив прикладного програмного забезпечення, – може бути використане сприйняття користувачем якості інформаційної послуги [10, 11].

## 2. Методи оцінювання сприйняття якості обслуговування

Сприйняття якості обслуговування (PQoS – perceived quality of service) – це оцінка якості інформаційного сервісу з точки зору сприйняття користувачем як споживачем послуг даного сервісу. На рис. 1 наведена узагальнена класифікація методів та алгоритмів оцінювання PQoS.

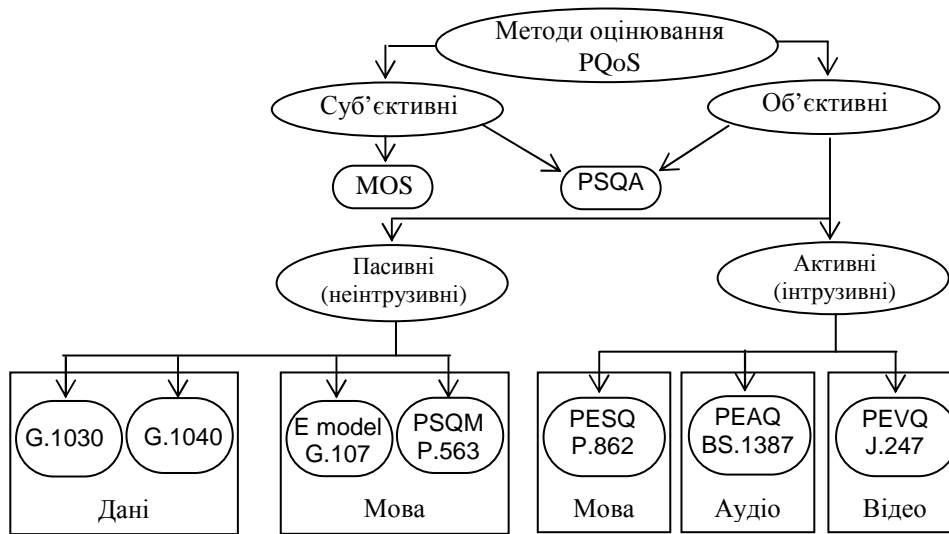


Рис. 1. Класифікація методів оцінювання сприйняття якості обслуговування

Суб'єктивні методи дозволяють отримати найбільш адекватну оцінку сприйняття якості, оскільки прямо відображають погляд користувачів. Численні вітчизняні та міжнародні стандарти визначають особливості організації та проведення суб'єктивного оцінювання як окремих показників (розбірливість, впізнавання), так і інтегральної якості послуги [12]. Результатом застосування суб'єктивних методів є усереднений погляд групи осіб – експертів на якість наданої інформаційної послуги. У рекомендації ІТУ-Т Р.830 для оцінювання сприйняття якості обслуговування встановлюється п'ятибальна шкала (табл. 1) MOS (Mean Opinion Score – середнє значення експертних оцінок).

Таблиця 1. Шкала MOS

Оцінка MOS	Категорія якості	Задоволеність користувачів
5	Найкраща (Excellent)	Задоволені у найвищій мірі
4	Висока (Good)	Задоволені
3	Середня (Fair)	Деякі не задоволені
2	Низька (Poor)	Багато не задоволених
1	Погана (Bad)	Майже всі не задоволені

Галузь застосування суб'єктивних тестів обмежується тривалістю процедури тестування (особливо, якщо досліджується якість, залежна від великої кількості показників), а також неможливістю автоматизації та проведення у реальному часі.

Об'єктивні методи оцінювання якості дозволяють виключити людину із процедури оцінювання. Отже, легко автоматизуються. Об'єктивні методи поділяються на активні (інтрузивні) та пасивні (неінтрузивні). В активних методах оцінювання якості здійснюється шляхом порівняння еталонної послідовності (оригіналу) із послідовністю, яка була викривлена під час передавання по мережі.

Протягом останніх років були розроблені та пройшли міжнародну верифікацію методи об'єктивного оцінювання PQoS для:

- служб передавання мови, рекомендації ITU-T G.107, P.563 (PSQM – Perceptual Speech Quality Measurement), P.862 (PESQ – Perceptual Evaluation of Speech Quality);
- служб передавання відео, рекомендація ITU-T J.247 PEVQ (Perceptual Evaluation of Video Quality);
- служб трансляції аудіо, рекомендація ITU-T BS.1387 (PEAQ – Perceptual Evaluation of Audio Quality);
- служб передавання даних, рекомендації ITU-T G.1030, G.1040.

Особливе положення у класифікації методів оцінювання якості сприйняття займає метод PSQA (Pseudo-Subjective Quality Assessment) [13], який дозволяє здійснювати об'єктивне оцінювання із використанням нейронної мережі, навчання якої проведено із використанням суб'єктивних оцінок.

Наявність об'єктивних методів оцінювання PQoS дозволяє автоматизувати процедуру визначення PQoS як величини, залежної від широкого спектру показників мережі. Для кожної з функціонуючих у мережі інформаційних служб можуть бути визначені значення багатовимірного масиву значень PQoS –  $\{q_i\}$ , залежні від виділених ресурсів, параметрів мережі, з урахуванням функціональності прикладного програмного забезпечення (кінцевого абонентського обладнання), яке реалізує дану послугу:

$$\{q_i\} = F(\{R_i\}, \{p\}, \{E_i\}),$$

де  $q_i$  – значення PQoS за шкалою MOS для інформаційної служби  $i$ ,  $i \in 1, \dots, m$ ;

$m$  – кількість інформаційних служб, які функціонують у мережі;

$\{R_i\}$  – множина значень ресурсів мережі, виділених інформаційній службі  $i$ ;

$\{p\}$  – множина показників, які характеризують мережу;

$\{E_i\}$  – множина факторів, що відображають вплив на PQoS особливостей реалізації прикладного програмного забезпечення  $i$  (або) кінцевого абонентського обладнання.

### 3. Імітаційна модель для визначення сприйняття якості обслуговування абонентів IP-телефонії

Для експериментального визначення PQoS абонентів IP-телефонії пропонується імітаційна модель, схема якої наведена на рис. 2.

Основними елементами моделі є.

1. Імітатор глобальної мережі WANem [14], вільне програмне забезпечення, яке дозволяє імітувати TCP/IP мережі. Імітатор глобальної мережі WANem дозволяє імітувати такі характеристики мережі:

- затримка розповсюдження сигналу;
- втрата пакетів;
- пошкодження пакета;

- відключення;
- зміна порядку слідування пакетів;
- джиттер.

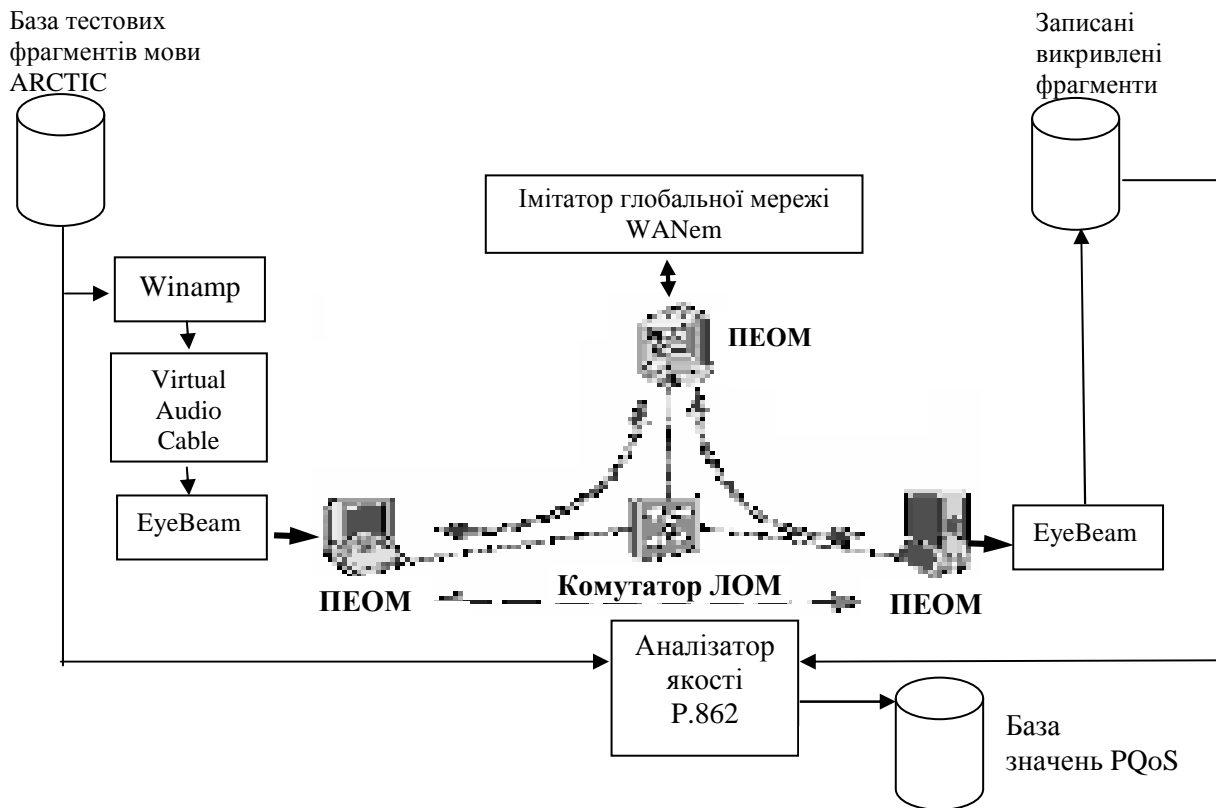


Рис. 2. Імітаційна модель для визначення сприйняття якості обслуговування абонентів IP-телефонії

2. Програмні клієнти IP-телефонії, вільне програмне забезпечення EyeBeam дозволяють обирати для кодування мовних сигналів кодеки AMR, G.711, G. 723, G.726, GSM, iLBC, SPEEX, які використовуються для передавання/прийому мовних сигналів при дослідженні PQoS та запису прийнятих на приймальній стороні сигналів.

3. Вільна база тестових фрагментів мови ARCTIC, що є однією з стандартних баз для тестування апаратури передавання мови. База містить 1200 фраз англійською мовою, які відображають фонетику мови, склад та вік дикторів, відповідає демографічній статистиці [15].

4. Медіаплеєр Winamp – використовується для відтворення мовних сигналів на передавальній стороні.

5. Програмний продукт Virtual Audio Cable – дозволяє з'єднувати між собою медіаплеєр та клієнт IP-телефонії програмною комутацією.

6. Програмний об'єктивний аналізатор якості мовних сигналів відповідно до рекомендації ІТУ-Т P.862 (вихідний код розміщено на сайті ІТУ-Т).

7. Три персональні комп'ютери, на яких інстальовані компоненти імітаційної моделі.

8. Комутатор ЛОМ, який забезпечує зв'язність елементів моделі.

До переваг запропонованої імітаційної моделі відноситься:

- використання найбільш адекватних на даний час об'єктивних методів оцінювання PQoS;

- використання при оцінюванні PQoS натурних (програмно реалізованих) клієнтів IP-телефонії і, як результат, необхідність в імітаційному моделюванні лише мережі, яка їх зв'язує.

#### 4. Експериментальна перевірка гіпотези IQX для кодеку мови SPEEX

У роботі [16] сформульована гіпотеза IQX – гіпотеза про експоненціальну залежність між PQoS та параметрами, які характеризують мережу. Базисним співвідношенням гіпотези IQX є

$$q = \alpha e^{-\beta p} + \gamma, \quad (1)$$

де  $q$  – значення PQoS;

$p$  – значення параметра мережі (наприклад, пропускна спроможність, затримка передавання пакета, варіація затримки передавання пакета (джіттер), процент втрачених пакетів);

$\alpha, \beta, \gamma$  – параметри функції апроксимації, які визначаються експериментально.

У роботі [17] наведені результати експериментальної перевірки гіпотези IQX для кодеків IP-телефонії G.711 та iLBC. Запропонована імітаційна модель була використана для експериментальної перевірки справедливості гіпотези IQX стосовно абонентських клієнтів IP-телефонії (програмних та(або) апаратних), які використовують для кодування – декодування мови кодек SPEEX [15]. Вибір як об'єкта дослідження кодеку SPEEX обумовлений такими перевагами цього кодеку у порівнянні з іншими сучасними кодеками мови:

- кодек SPEEX, вільне програмне забезпечення, не має патентних обмежень;
- кодек SPEEX ґрунтується на використанні принципу кодування мови «аналіз через синтез» і забезпечує порівняно високу якість кодування [18];
- кодек SPEEX підтримує динамічну зміну бітрейту на виході кодеру на одну із фіксованих швидкостей (4, 8, 11, 15, 18, 24,6 кбіт/с) або кодування зі змінним бітрейтом, що дозволяє будувати системи IP-телефонії, адаптивні до смуги пропускання мережі.

Із використанням запропонованої моделі була досліджена статистична залежність сприйняття якості обслуговування абонентів IP-телефонії від бітрейту на виході кодеру (швидкості кодування) та імовірності втрати пакета у мережі:

$$q = F(r_i, p),$$

де  $r_i$  – бітрейт на виході кодеру SPEEX;

$p$  – процент втрачених пакетів.

Вибір предикторних змінних швидкості кодування й імовірності втрати пакета обумовлений постановкою задачі оптимізації PQoS [19] у радіомережах на основі базових станцій, в яких основними причинами зменшення PQoS є:

- обмеженість смуги пропускання базової станції;
- нестабільність радіоліній і мобільність абонентів у зоні обслуговування базових станцій, яка призводить до втрати пакетів у мережі.

Для визначення параметричної функції апроксимації, яка описує залежність  $q(r_i, p)$ , був використаний пакет розширення математичної програми Matlab – Curve Fitting Toolbox. Як класи параметричних моделей для апроксимації  $q(r_i, p)$  виступають:

- поліноміальна модель, ступінь поліному від 1 до 9;
- експоненціальні моделі;
- наближення відрізками ряду Фур'є;
- наближення функціями Гауса;
- наближення ступеневими функціями.

Для визначення вільних параметрів параметричних моделей апроксимації використовувався метод найменших квадратів, як критерій якості апроксимації використовувалось мінімум середнє квадратичного відхилення значень функції апроксимації від середніх значень експериментальних даних.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що кращу за критерієм мінімуму середнє квадратичного відхилення апроксимацію залежності  $q(r_i, p)$ , при фіксованій швидкості кодування, забезпечує експоненціальна функція

$$q = \alpha \cdot e^{(\beta \cdot p)} + c \cdot e^{(\lambda \cdot p)}, \quad (2)$$

де  $\alpha, \beta, c, \lambda$  – параметри функції апроксимації;

$p$  – процент втрачених пакетів.

Результати дослідження впливу процента втрачених пакетів на сприйняття якості відновлених сигналів при швидкостях кодування 4, 8, 11, 15, 18, 24,6 кбіт/с наведені на рис. 3.

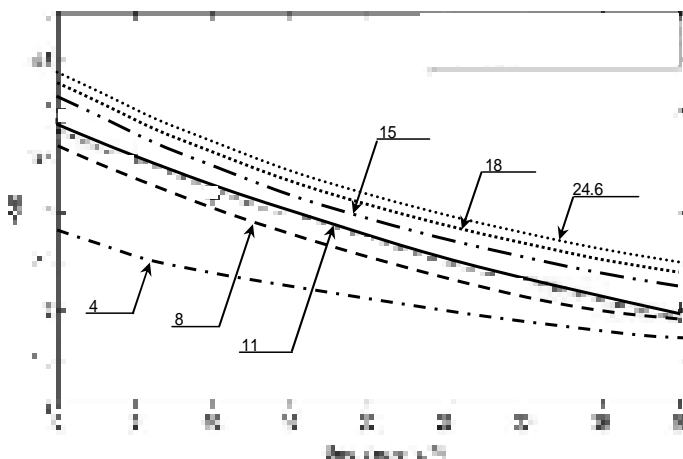


Рис. 3. Залежність сприйняття якості обслуговування абонентів IP-телефонії від бітрейту на виході кодеру та процента втрачених пакетів для кодексу SPEEX

У табл. 2 наведені значення параметрів функцій апроксимації та середнє квадратичного відхилення (RMSE) для визначеної експоненціальної функції апроксимації та функції апроксимації, запропонованої у гіпотезі IQX. Аналіз даних, наведених у таблиці, свідчить, що сформульоване у гіпотезі IQX припущення про експоненціальну залежність між PQoS та параметрами мережі є достовірним для кодексу мови SPEEX. Якість апроксимації залежності  $q(r_i, p)$  за критерієм мінімуму середнє квадратичного відхилення, яку забезпечує запропонована у гіпотезі IQX експоненціальна функція (1), не є найкращою.

Таблиця 2. Значення параметрів функцій апроксимації

Параметри функції апроксимації	Бітрейт на виході кодеру SPEEX, кбіт/с					
	4	8	11	15	18	24,6
Визначена функція (2)						
$\alpha$	0,16	3,59	0,35	2,62	1,45	1,8
$\beta$	-16,66	-1,86	-17,76	-2,47	-3,7	-3,45
$c$	2,59	0,01	3,54	1,42	2,68	2,4
$\lambda$	-1,17	5,92	-1,42	-0,42	-0,87	-0,66
RMSE	0,014	0,07	0,04	0,05	0,05	0,04
Функція, запропонована у гіпотезі IQX (1)						
$\alpha$	1,95	2,78	2,79	3,17	3,074	2,98
$\beta$	-2,13	-2,52	-2,8	-2,21	-2,43	-2,55
$\gamma$	0,79	0,83	1,08	0,86	1,059	1,23
RMSE	0,03	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05

Але з урахуванням відносної простоти функції (1) і незначного відхилення точності апроксимації від функції (2), функція апроксимації (1) може бути рекомендована для використання в інженерних цілях.

## 5. Висновки

У статті запропонована імітаційна модель для визначення сприйняття якості обслуговування абонентів IP-телефонії. Основними елементами моделі є імітатор глобальних мереж WANet та програмні клієнти IP-телефонії.

Визначені параметрична функція апроксимації сприйняття якості обслуговування в залежності від бітрейту на виході кодеру (швидкості кодування) та імовірності втрати пакета у мережі при використанні кодеку мовних сигналів SPEEX. Перевірка гіпотези IQX показала, що сформульоване припущення про експоненціальну залежність між PQoS та параметрами мережі є достовірним для кодеку мови SPEEX. Якість апроксимації, яку забезпечує запропонована у гіпотезі IQX функція апроксимації, достатня для інженерного використання.

База значень PQoS, отримана із використанням запропонованої моделі, використовується для визначення PQoS як цільової функції оптимізації при вирішенні задач керування QoS в інформаційно-комунікаційних мережах. Результати, яких дозволяє досягти керування QoS на основі PQoS як цільової функції [19], перевищують результати стандартних та відомих перспективних методів забезпечення QoS.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ganz A. Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards and QoS / Ganz A., Ganz Z., Wongthavarawat K. – Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2003. – 352 p.
2. Lu N. Utility-Based Bandwidth Adaptation for Multimedia Wireless Networks / N. Lu, J. Bigham, N. Nasser // Adaptation and cross layer design in wireless networks. – Boca Raton: CRC Press, 2008. – P. 149 – 182.
3. Low S. A mathematical framework for designing a low-loss low-delay internet / S. Low, R. Srikant // Network and Spatial Economics, special issue on Crossovers between transportation planning and telecommunications. – 2003. – N 4. – P. 75 – 101.
4. Broadband mobile multimedia: techniques and applications / ed. Y. Zhang. – Boca Raton: Auerbach Publications, 2008. – 586 p.
5. Chiang M. Balancing transport and physical layers in wireless multihop networks: jointly optimal congestion control and power control / M. Chiang // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2005. – N 23(1). – P. 104 – 116.
6. Дымарский Я.С. Управление сетями связи / Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г. – М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с.
7. Multimedia over IP and wireless networks: compression, networking, and systems / ed. P.A. Chou, M. van der Schaar. – Elsevier, 2007. – 692 p.
8. Баранник В.В. Оценка помехоустойчивости двухпризнаковых структурных кодовых конструкций / В.В. Баранник, А.К. Юдин // Системы обработки информации. – Харьков: НАНУ, ХУПС. – 2007. – Вып. 2. – С. 20 – 26.
9. Янсонс Я.В. Метод повышения качества восстановленного сигнала на основе дифференцированной защиты кадра речевых данных / Я.В. Янсонс // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – № 5. – С. 116 – 120.
10. Батлер Ю.В. О качестве услуг в IP-сетях / Ю.В. Батлер, В.Ф. Михайлов // Зв'язок. – 2006. – № 6. – С. 2 – 6.
11. Тайхманн Д. Воспринимаемое качество сервиса [Электронный ресурс] / Д. Тайхманн // Журнал сетевых решений «LAN». – 2010. – № 4. – Режим доступа к журн.: <http://www.osp.ru/lan/2010/04/13002101>.
12. Perry A. Fundamentals of Voice-Quality Engineering in Wireless Networks / A. Perry. – Cambridge: University Press, 2007. – 353 p.

13. Rubino G. Controlling multimedia QoS in the future home network using the PSQA metric / G. Rubino M. Varela, J.-M. Bonnin // Computer Journal. – 2006. – N 2. – P. 137 – 155.
14. WANem. The Wide Area Network emulator [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wanem.sourceforge.net>.
15. Kominek J. The CMU ARCTIC speech databases: 5 ISCA ITRW on Speech Synthesis / J. Kominek, A.W. Black. – Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2004. – P. 223 – 224.
16. Hobfeld T. Quantification of quality of experience for edge-based applications: 20th International Teletraffic Congress (ITC20) / T. Hobfeld, P. Tran-Gia, M. Fiedler. – Ottawa, 2007. – P. 780 – 790.
17. Testing the IQX Hypothesis for Exponential Interdependency between QoS and QoE of Voice Codecs iLBC and G.711: 18th ITC Specialist Seminar on Quality of Experience / T. Hobfeld, D. Hock, P. Tran-Gia [et al.] / Blekinge Institute of Technology. – Karlskrona, 2008. – P. 105 – 114.
18. Speex: A Free Codec For Free Speech [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.speex.org>.
19. Стрюк О.Ю. Метод розподілу пропускної спроможності базової станції радіомережі для підвищення інтегральної якості обслуговування абонентів / О.Ю. Стрюк // Зб. наук. праць ВІПІ НТУУ «КПІ». – 2009. – № 3. – С. 89 – 99.
20. Speex: A Free Codec For Free Speech [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.speex.org>.

*Стаття надійшла до редакції 23.06.2010*