

- базу даних, в якій зберігається інформація про досліджувані мережі, загальна база даних обладнання, топологічних елементів тощо;
- виділену (*standalone*) бібліотеку функцій та класів, які б інкапсулювали увесь математичний апарат досліджень і могли б бути використані в інших програмних продуктах;
- зручний інтерфейс подання результатів дослідження: графіки, діаграми, звіти тощо.

На основі методу мультишарового матричного подання було розроблено комп'ютерну програму *SDH NetAnalyzer*, яка дає змогу провести аналіз мережі, топологія чи архітектура якої задається користувачем.

### Висновки

Розробка імітаційної моделі системи захисту та резервування ресурсів інформаційної вимагає насамперед створення ефективних математичних моделей та алгоритмів для подальшої їх реалізації, а сама наявність такої моделі дає змогу провести якісне дослідження та розрахунок системи захисту мережі під час її проектування чи аналізу.

Сьогодні, в умовах жорсткої конкуренції на ринку інформаційних послуг, поняття “бути завжди на зв'язку” має неабияке значення. Компанія-постачальник може провести тестування структурної надійності своєї існуючої мережі чи дата-центру за допомогою розробленого програмного забезпечення, що, своєю чергою, ґрунтується на описаних у цій роботі моделях досліджень, і в такий спосіб уникнути прямих збитків внаслідок штрафних санкцій з боку користувачів за недотримання умов договору про надання послуг доступу до інформаційних мереж та якості надаваного сервісу.

1. *Vasseur Jean-Philippe, Pickavet Mario, Demeester Piet. Network Recovery: Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP, and MPLS.*, 2004, San Francisco. 2. *Papadimitriou C., Steiglitz K. Combinatorial optimization: Algorithms and complexity.* – Dover, Mineola, NY, 1998. 3. *Microsoft Developers Network / MSDN. October 2005, Microsoft Corporation.* <http://msdn.microsoft.com/library/default.asp>. 4. *Ефективні кластерні рішення. Компанія “Юстар”.* <http://www.ustar.ua/section/publication/performance/1.html>.

УДК 621.372

О.В. Тимченко, Р.С. Колодій

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра телекомунікацій

## ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ КОДЕРІВ МОВНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ VoIP

© Тимченко О.В., Колодій Р.С., 2006

Суб'єктивні випробування якості отриманого мовного сигналу дають можливість безпосередньо визначити, який рівень якості розмови є під час випробовувань реального або модельованого трафіку IP мережі. Вона прямо пов'язана з точкою зору споживача. Проте такі випробування не є ефективні для оцінки, контролю і прогнозу дійсного кодера VoIP. Порівняно з ними об'єктивні вимірювання дають майже ті самі значення вимірюваної якості, в той самий час гарантуючи точність якісної оцінки.

**Subjective test can directly derive which level the speech quality is from individuals who experience conversations or speech over real or model IP network traffic. It straight links to user's point of view. However, it is not efficient to evaluate, monitor and predict real VoIP coder. Compared to the shortcomings of subjective test, objective measurement can almost achieve those points, at the same time ensures the accuracy of quality assessment.**

### Вступ

Передавання аналогових сигналів є неможливе через мережі з комутацією пакетів, однією з яких є IP-мережа. Для здійснення такої передачі необхідно спочатку провести перетворення мовного сигналу до цифрового формату, закодувати його кодером та провести пакетизацію. Мережа, якою

транспортується створений пакет, від початку свого існування не була створена для передавання інтерактивних пакетів, оскільки вимагалась порівняно мала затримка мовних пакетів між учасниками розмови. У величину сумарної затримки передачі мовних пакетів включаються усі місця можливих затримок, що продемонстровані на рис. 1, причому для забезпечення відповідних параметрів якості обслуговування QoS загальна їх величина повинна бути в межах рекомендації G.114 (150 мс).

Крім проблем забезпечення якості обслуговування QoS, пов'язаних із затримкою проходження пакетів IP-мережею, під час визначення загальної якості сервісу додаються проблеми, якими переважно наділені глобальні мережі. До них відносяться, наприклад, втрати пакетів, затримка пакета в мережі (фіксована затримка і змінна затримка або джиттер) і переупорядкування пакетів під час доставки (рис. 1). Проте, щоб бути здатним контролювати і вимірювати якість розмови, важливо вимірювати не лише затримки мережі під час передачі мовних пакетів, а й якість кодування для забезпечення заданого сервісу VoIP.

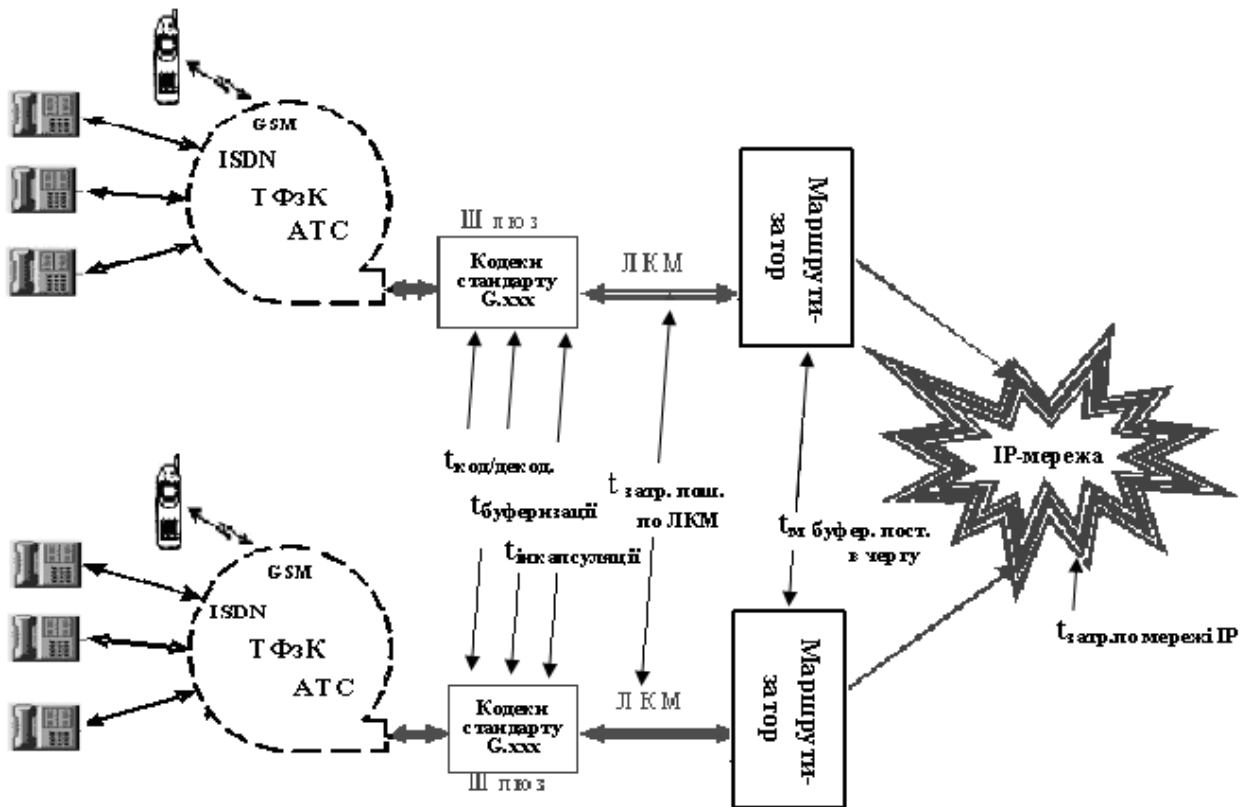


Рис. 1. Типова конфігурація мережі IP-телефонії з вказанням місць виникнення затримок

**Мета роботи** – порівняти оцінки якості кодування мовних кодерів для VoIP об'єктивними методами і рекомендаціями ITU-T.

### 1. Кодери та декодери мовних сигналів

Імпульсна кодова модуляція (ІКМ, англ. PCM, рекомендація G.711) і адаптивна диференціальна ІКМ (АДІКМ, англ. ADPCM, рекомендація G.726) – методи кодування, які використовуються в телефонній мережі загального користування (ТФЗК). Вони відносяться до кодерів форми сигналу, остання – це технологія стиску, яка видаляє надлишковість безпосередньо з сигналу.

На відміну від кодерів форми сигналу параметричні кодери стискають мовний сигнал, надсилаючи тільки спрощену параметричну інформацію про голос, що вимагає меншої пропускної здатності. Параметричні кодери включають лінійне прогнозує кодування (Source coders include Linear Predictive Coding (LPC), алгебраїчне збудження кодом і лінійне передбачення (Conjugate Structure) Algebraic Code-Excited Linear Prediction ((CS-)ACELP) та багатоімпульсне багаторівневе квантування (MultiPulse-MultiLevel Quantization (MP-MLQ).

Існуючі методи кодування для VoIP є стандартизовані ITU-T, якнайширше використовуються кодери за рекомендаціями G.711, G.723.1 та G.729. У табл. 1 наведено основні дані для різних методів кодування.

Таблиця 1

Основні дані методів кодування

Кодер, рекомендація	Швидкість, кбіт/с	Розмір фрейму, затримка (мс)	Коефіцієнт стиску	Оцінка якості MOS	Метод кодування
G.711	64	0,125	2:1	4,1	PCM
G.723.1	5,3	30	8:1	3,65	ACELP
	6,3	30	7:1	3,9	MP-MLQ
G.729A	8	10	8:1	3,7	CS-ACELP

Використання кодера G.711 може дати високу якість голосу, але низький коефіцієнт стиску, але висока швидкість обмежує його застосування в VoIP. Сьогодні вимагаються послуги з розрахунку на низьку пропускну здатність, прикладами яких є кодери G.723.1 і G.729, які можуть однаково забезпечити значне зменшення швидкості передачі, а також досягнути прийнятної якості мови, значення якої в оцінках MOS коливаються від 3,65 до 3,9 (табл. 2).

Таблиця 2

Оцінки якості MOS

Якість	Оцінка MOS
Висока	4,0 – 5,0
Стандартна телефонна	3,5 – 4,0
Достатня	3,0 – 3,5
Синтезований звук	2,5 – 3,0

## 2. Об'єктивні оцінки якості мовного сигналу

Варто визнати, що найкращим методом оцінки кодерів мовних сигналів є порівняння фрагмента чи відліку оригіналу мовного сигналу, у відповідний спосіб відтвореного на приймальній стороні.

Мережеві фактори, такі як затримка, джиттер, втрата пакетів, впливають на якість відтворення. Деякі застосування, які використовуються на кінцях мережі, зокрема кодери, накопичувальний буфер, створені з метою мінімізації впливу мережевих факторів на якість відтворення мови. Враховуючи згадані чинники, кожен кодер по-різному реагує на втрати пакетів. Тому доцільно створити кодери мови, які були б малочутливі до втрат пакетів. Разом з тим такий кодер вимагає багато часу для обробки та кодування мови, що спричиняє зростання загальної затримки обміну мовними пакетами між абонентами. Крім того, слід врахувати втрати, що вводяться процесором кодування (рис. 2).

Звідси випливає, що для оцінки якості надання послуг голосових з'єднань QoS в мережах з комутацією пакетів, необхідно також мати оцінку якості роботи самого кодера. Такими об'єктивними оцінками якості, які слід вважати альтернативними до MOS, пропонується використовувати:

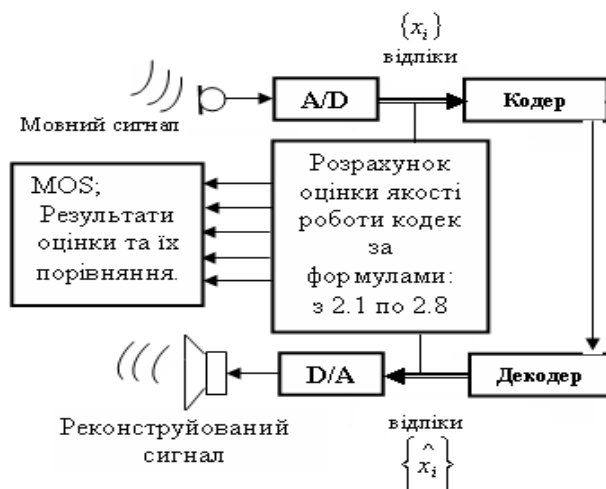


Рис. 2. Алгоритм оцінки якості роботи кодера

1) середня різниця

$$AD = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \hat{x}_i)}{N}; \quad (2.1)$$

2) нормований коефіцієнт кореляції

$$NK = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=0}^{N-1} x_i^2}; \quad (2.2)$$

3) максимальна різниця

$$MD = \max_{i \in \overline{0, N-1}} |x_i - \hat{x}_i| \quad (2.3)$$

4) середньоквадратичне відхилення СКВ

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \hat{x}_i)^2; \quad (2.4)$$

5) абсолютна нормована похибка

$$NAE = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} |x_i - \hat{x}_i|}{\sum_{i=0}^{N-1} |x_i|}; \quad (2.5)$$

6)  $L_p$  – норма

$$L_p = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |x_i - \hat{x}_i|^p \right\}^{\frac{1}{p}}, \quad (2.6)$$

де  $p=1,2,3,\dots$ ;

7) відношення сигнал шум

$$SNR = 10 \lg \frac{\sum_{i=0}^{N-1} x_i^2}{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \hat{x}_i)^2}; \quad (2.7)$$

8) максимальне відношення сигнал-шум

$$PSNR = 10 \lg \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \max(x_i^2)}{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \hat{x}_i)^2}, \quad (2.8)$$

де  $\{x_i\}$  і  $\{\hat{x}_i\}$  – оригінальний сигнал і його відновлена копія відповідно.

Запропоновані параметри надають можливість повного і всебічного дослідження якості роботи кодера і його об'єктивну оцінку. Але всі знайдені в формулах (2.1)–(2.8) значення величин,

хоч і дають повне уявлення якісних показників кодера, проте їхні значення різко зростають із впливом мережевих факторів, що несуть із собою втрати пакетів та затримку. Власне для таких випадків застосовують методи оцінки якості, рекомендовані ІТУ-Т.

### 3. Алгоритми оцінки якості мовних сигналів в рекомендаціях ІТУ-Т

Метою створення цих засобів є можливість оцінки з метою дослідження впливу мережевих апаратних застосувань на якість відтворення мови та створення такої якості передачі, яка б задовольняла людину.

Оцінка сприйняття якості мови може бути виражена як середнє арифметичне оцінок групи експертів (Mean Opinion Score – середня експертна оцінка, MOS, рекомендація Р.800), що є суб’єктивним методом вимірювання, якому в світі довіряють найбільше, або об’єктивні методи вимірювань, результати яких приводять до оцінки MOS. Для суб’єктивних випробувань, MOS може бути отримане як дослідження якості сигналу мови на респондентах. Це безпосередньо пов’язано з поглядом користувача, але займає багато часу та вимагає певних матеріальних ресурсів. Тому замість цього бажано застосовувати об’єктивне вимірювання. Найпопулярнішими є моделі Міжнародної спілки електрозв’язку (МСЕ – ІТУ-Т) – Е-модель [2] та оцінки сприйнятої якості мови (Perceptual Evaluation of Speech Quality – PESQ, рекомендація Р.862, модель алгоритму вимірювання наведена в [3]). Вони використовуються у вимірюванні та оцінці сприйнятої якості мови.

Суб’єктивні випробування проблематичні в тому, що вони повільні, займають багато часу, дорогі і не можуть використовуватись для контролю якості голосу тривалого або великого масштабу в оперативній і особливо змінній інфраструктурі мережі. Тому вони не зовсім відповідають завданням контролю і вимірюванню сервісу VoIP. Це приводить до того, що об’єктивне вимірювання більше відповідає вказаним вимогам.

Вимірювання варіацій затримки VoIP зв’язку – важливий аспект для реальних мереж, проведений багатьма дослідниками. Пік затримки – основна частина вимірювання варіацій затримки може дуже впливати на сприйняту якість мови. Проведені в [4–7] дослідження вказали на присутність “пиків” у затримках Інтернету. Пік являє собою несподіване, велике збільшення затримки багатьох пакетів у мережі, які прибувають потім практично одночасно, приводячи тим самим до завершення піка. Ці дослідження також показали, що піки можуть спричинити величезний вплив на якість мови або сприйняту якість.

Фундаментальний принцип Е-моделі ([2], рекомендація G.107) ґрунтуються на понятті “Адитивні психологічні фактори на психологічній шкалі”, використовуються для описання розпізнавання різних спотворювальних ефектів, які одночасно наявні в телефонному зв’язку. Оскільки якість загального розпізнавання є багаторозмірною, вона зводиться до однорозмірної так званої рейтингової шкали передачі. На цій шкалі усі спотворення є адитивними за визначенням, і отже, незалежними один від одного.

Е-модель поєднує ефект різних параметрів передачі в один оцінковий фактор  $R$ , який лежить в межах (0...100), звідки може отримуватись значення MOS. Оцінковий фактор  $R$  обчислюється за формулою

$$R = R_0 - I_S - I_d - I_e + A, \quad (3.1)$$

де  $R_0 = 93,2$  – початкове значення  $R$ -фактора;  $I_S$  – спотворення, що вносяться кодерами;  $I_d$  – спотворення за рахунок сумарної наскрізної затримки в мережі;  $I_e$  – спотворення, що вносяться обладнанням, включаючи і втрати пакетів;  $A$  – фактор переваги, або фактор очікування (наприклад 1, для дротових ліній і 10 – для мереж GSM).

Рекомендація ІТУ-Т G.109 визначає класи якості мовлення за рейтингом  $R$ , за яким рейтинг, нижчий за 50, вказує на неприйнятну якість (табл. 3).

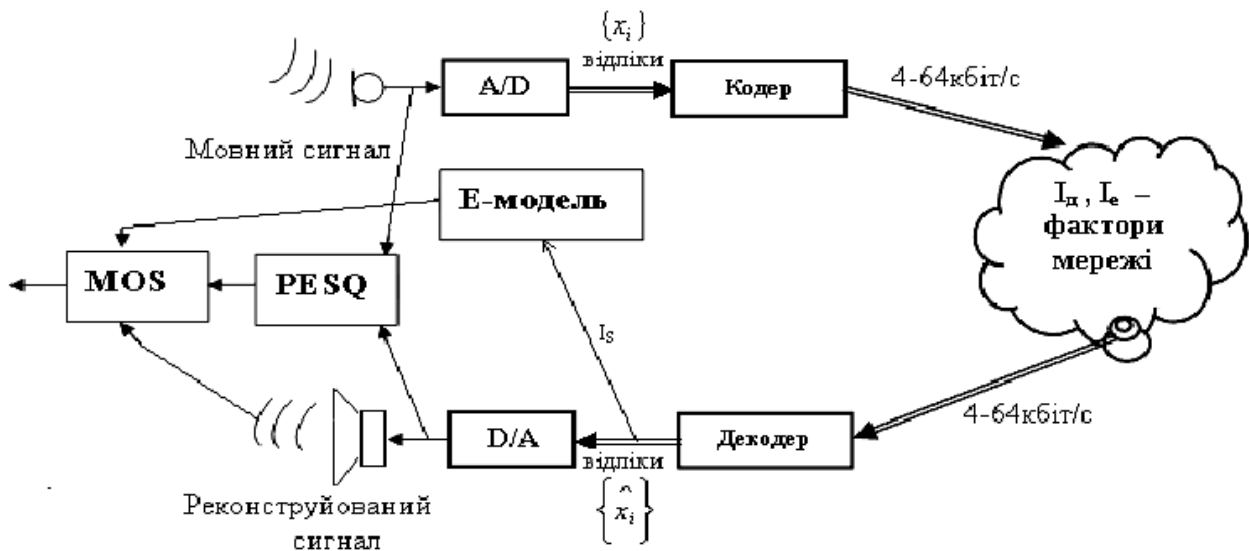


Рис. 3. Структурна схема вимірювання якості VoIP

Під час дослідження з використанням структури, зображеної на рис. 3, значення  $I_d$  і  $I_e$  – нульові, оскільки відсутня мережа, тоді така модель придатна для оцінки якості роботи мовного кодера за формулою (3.1), де  $I_s$  – нормована величина і відома, як правило, для стандартизованих G.xxx-кодерів з відомих оцінок MOS.

Таблиця 3

#### Класи якості мовлення

Величина R-фактора	Значення оцінки MOS
$90 < R \leq 100$	4,34 – 4,50
$80 < R \leq 90$	4,03 – 4,34
$70 < R \leq 80$	3,60 – 4,03
$60 < R \leq 70$	3,10 – 3,60
$50 < R \leq 60$	2,58 – 3,10

#### Значення величин $I_d$ і $I_e$ [8]

Залежність величини параметра  $I_d$  від затримки передачі мовного сигналу в мережі наведена в рекомендації G.113 (табл. 4).

Таблиця 4

#### Залежність величини параметра $I_d$

Затримка сигналу в мережі (мс)	150	200	250	300	400	500	600	800	> 800
Параметр $I_d$	0	3	10	15	25	30	35	40	40

Параметр  $I_e$  використовується для оцінки якості роботи складних пристроїв обробки мовних сигналів. Проте слід зазначити, що в рекомендації G.113 не враховується такий важливий чинник погіршення якості мови в мережах IP-телефонії, як втрати пакетів. На практиці для врахування цього чинника пропонується розраховувати відсоток втрачених пакетів за методом PSQM і за ним визначати параметр  $I_e$  для конкретного типу кодера і швидкості передачі пакетів. Значення параметра погіршення якості передачі мови  $I_e$  з врахуванням втрат пакетів для деяких типів кодерів наведені в табл. 5 [3].

## Втрати пакетів кодерів

Втрати пакетів %	Параметр $I_e$	
	кодер G.711	кодер G.729/G.729a
0	0	10
1	8	15
2	12	20
3	18	25
4	22	30
5	26	34
6	28	38
7	30	40
8	32	42
9	34	44

Якість передачі мови в різних мережах зв'язку багато в чому визначається людським сприйняттям з врахуванням чинника очікуваного рівня якості. Наприклад, через специфіку роботи мережі стільникового рухомого зв'язку користувачі чекають більш низької якості передачі мови, ніж в дротяних мережах. Цей суб'єктивний момент людського сприйняття якості передачі мови в різних мережах враховується шляхом зменшення параметра погіршення якості на деяку величину чинника очікування  $A$ . В рекомендації G.113 наведені числові значення чинника очікування  $A$  для різних мереж передачі мовних сигналів (табл. 6).

Таблиця 6

Числові значення чинника очікування  $A$ 

Мережа зв'язку	Параметр $A$
Дротяна мережа зв'язку	0
Мобільна локальна мережа (мережа бездротових телефонів в будівлі)	5
Мобільна стільникова мережа (на великій території або в рухомому об'єкті)	10
Супутникова мережа	20

Для IP-телефонії значення параметра  $A$  в рекомендації G.113 не визначене. Проте для проведення загальної оцінки якості роботи мережі IP-телефонії можна запропонувати використовувати значення  $A=15...30$  для порівняно великої кількості викликів.

#### 4. Використання запропонованих методів оцінки якості кодування мовного сигналу

Методи розрахунку оцінок якості (2.1) – (2.8) були апробовані на методі кодування, передачі і відновленні мовного сигналу з використанням вейвлет-перетворення. Ґрунтуючись на результатах досліджень, проведених в [9, 10], під час кодування мовного сигналу найбільш доцільно використовувати вейвлет Добеші другого порядку (db2), оскільки цей вейвлет забезпечив мінімальне СКВ для тестового сигналу у вигляді суми синусоїдальних складових з випадковою початковою фазою.

Фактично для проведення досліджень пропонується використовувати розроблений метод, що використовує вейвлет-перетворення з можливістю підбору вейвлета та різної розрядності квантування коефіцієнтів, отриманих після перетворення. Згідно з алгоритмом перетворення останні виражаються за схемою ліфтингу у коефіцієнти апроксимації та деталізації (А/Д).

Дані досліджень, наведені у табл. 7 та на рис. 4.1, 4.2, отримані в результаті симуляції перетворення, квантування і кодування мовного сигналу (що являє собою записаний wav-файл букви "а") вейвлетом db2. Розглядаються залежності оцінок якості за різних розрядностей квантування вейвлет-коефіцієнтів апроксимації та деталізації. Перша цифра – розрядність апроксимації, друга – деталізації. Додатково оцінювались бітова швидкість в каналі зв'язку  $V$  (кбіт/с) та коефіцієнт стиску  $K$  щодо стандартного (64 кбіт/с) потоку (рис. 4 та 5).

**Вейвлет Добеші db2 (Розрядності квантування коефіцієнтів  
вейвлет-перетворення (апроксимації/деталізації))**

Параметри (2.1)–(2.8)	Розрядності апроксимації/деталізації									
	(7/7)	(7/6)	(7/5)	(7/4)	(7/3)	(7/2)	(6/3)	(5/3)	(4/3)	(3/3)
AD	-0,015	-0,015	-0,015	-0,015	-0,015	-0,016	-0,016	-0,0154	-0,0154	-0,016
NK	-0,801	-0,801	-0,801	-0,801	-0,801	-0,802	-0,8004	-0,8	-0,798	-0,816
MD	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,233
MSE	0,00057	0,00057	0,00057	0,00057	0,0006	0,0007	0,0006	0,0006	0,0008	0,0018
NAE	0,2326	0,2329	0,2346	0,2404	0,2544	0,2846	0,258	0,272	0,3133	0,43
L1	0,0168	0,0168	0,0169	0,0173	0,0183	0,0205	0,018	0,0196	0,0226	0,031
L2	0,0239	0,0239	0,0239	0,024	0,025	0,027	0,025	0,0254	0,0285	0,0429
L3	0,0288	0,0288	0,0288	0,0288	0,029	0,0319	0,029	0,0296	0,0332	0,0559
SNR	15,28	15,28	15,28	15,24	15,07	14,23	15,01	14,773	13,7654	10,21
PSNR	-10,96	-10,96	-10,96	-10,96	-11,17	-12,01	-11,23	-11,47	-12,475	-16,03
CKB	2,965	2,966	2,971	2,995	3,1098	3,778	3,153	3,33	4,202	9,53
K	13,88	14,39	14,94	15,57	16,28	17,02	17,01	17,84	18,768	19,95
V	4,612	4,448	4,283	4,111	3,931	3,76	3,76	3,587	3,41	3,21

Параметри (2.1)–(2.8)	Розрядності апроксимації/деталізації									
	(2/3)	(6/6)	(6/5)	(6/4)	(6/2)	(5/5)	(5/4)	(5/2)	(4/4)	(4/3)
AD	-0,0187	-0,0154	-0,0154	-0,015	-0,0155	-0,0155	-0,0154	-0,0155	-0,0154	-0,0154
NK	-0,968	-0,8002	-0,8001	-0,800	-0,8017	-0,8007	-0,8008	-0,8022	-0,7979	-0,798
MD	0,659	0,1641	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164
MSE	0,0082	0,00058	0,00058	0,0005	0,0007	0,00061	0,0006	0,00077	0,00079	0,0008
NAE	0,746	0,2427	0,2437	0,2474	0,287	0,263	0,265	0,297	0,3091	0,3133
L1	0,0538	0,0175	0,0176	0,0178	0,0207	0,0189	0,019	0,0214	0,02227	0,02257
L2	0,09	0,0241	0,0241	0,0242	0,0272	0,0248	0,0249	0,0278	0,0281	0,0285
L3	0,13	0,029	0,0289	0,028	0,032	0,029	0,0293	0,0329	0,0327	0,0332
SNR	3,701	15,22	15,21	15,17	14,18	14,96	14,926	13,979	13,886	13,765
PSNR	-22,54	-11,03	-11,03	-11,06	-12,06	-11,28	-11,31	-12,26	-12,35	-12,48
CKB	42,65	3,010	3,015	3,038	3,821	3,193	3,213	4,0007	4,0870	4,202
K	21,69	14,94	15,54	16,23	17,84	16,2	16,95	18,77	17,75	18,77
V	2,95	4,283	4,118	3,944	3,587	3,952	3,776	3,41	3,61	3,41

Параметри (2.1)– (2.8)	Розрядності апроксимації/деталізації				
	(4/2)	(3/4)	(3/2)	(2/3)	(2/2)
AD	-0,0155	0,0158	-0,0158	-0,0187	-0,0187
NK	-0,799	-0,816	-0,818	-0,968	-0,971
MD	0,164	0,229	0,276	0,659	0,695
MSE	0,00094	0,00182	0,00197	0,00825	0,00832
NAE	0,3302	0,4295	0,4382	0,7463	0,7482
L1	0,0238	0,0309	0,0316	0,0538	0,0539
L2	0,0307	0,0427	0,0444	0,0908	0,0912
L3	0,0368	0,0556	0,0589	0,1327	0,1336
SNR	13,13	10,26	9,915	3,701	3,66
PSNR	-13,11	-15,98	-16,33	-22,54	-22,58
CKB	4,865	9,419	10,198	42,65	43,05
K	19,83	18,69	21,27	21,69	23,88
V	3,23	3,42	3,009	2,95	2,68



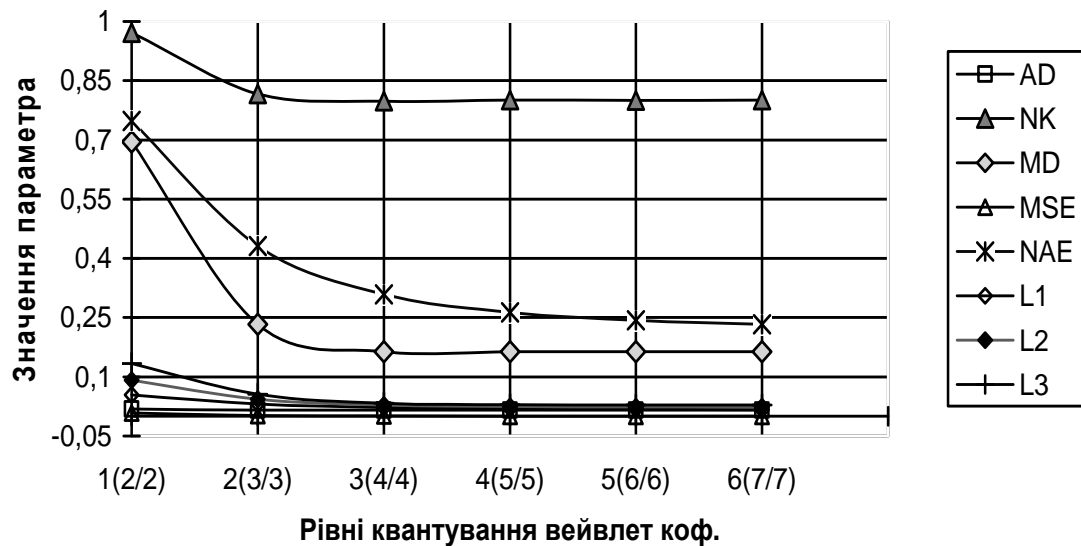


Рис. 4. Залежності параметрів (2.1) – (2.6) оцінки якості кодера від розрядності квантування вейвлет-коефіцієнтів

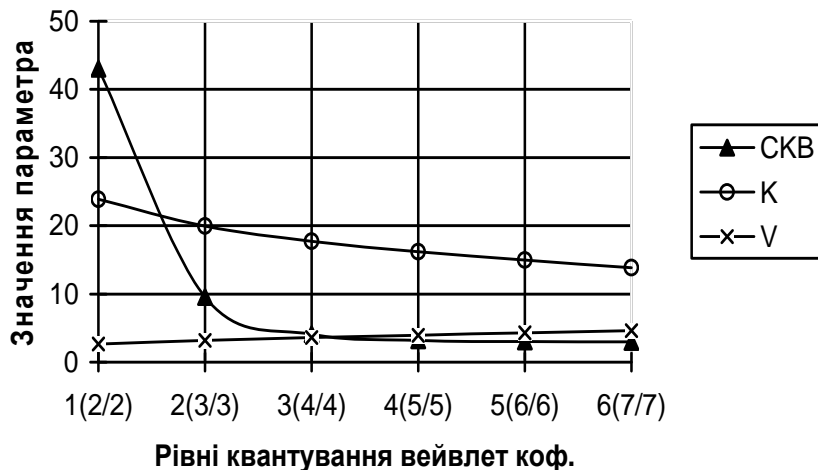


Рис. 5. Значення параметрів нормованого СКВ, зменшення швидкості потоку стосовно 64 кбіт/с та стиску V залежно від розрядності квантування

Під час аналізу результатів дослідження параметрів СКВ, K та V з табл. 3 було вибрано оптимальні рівні квантування вейвлет-коефіцієнтів:

для коефіцієнтів апроксимації – 5;  
деталізації – 3.

Параметри якості для цього варіанта зведені в табл. 8.

Таблиця 8

**Значення параметрів об'єктивної якості за розрядності квантування коефіцієнтів вейвлет-перетворення (5/3)**

AD	NK	MD	MSE	NAE	L1	L2	L3	SNR	PSNR	CKB	K	V
0,015	0,8	0,164	0,0006	0,27	0,019	0,025	0,029	14,77	-11,4	3,33	17,84	3,58

Для реалізації системи зв'язку за допомогою IP-телефонії з використанням методів вейвлет-перетворення для вибору розрядностей квантування цікавою є залежність параметрів СКВ, K та V, зображених на рис. 6.

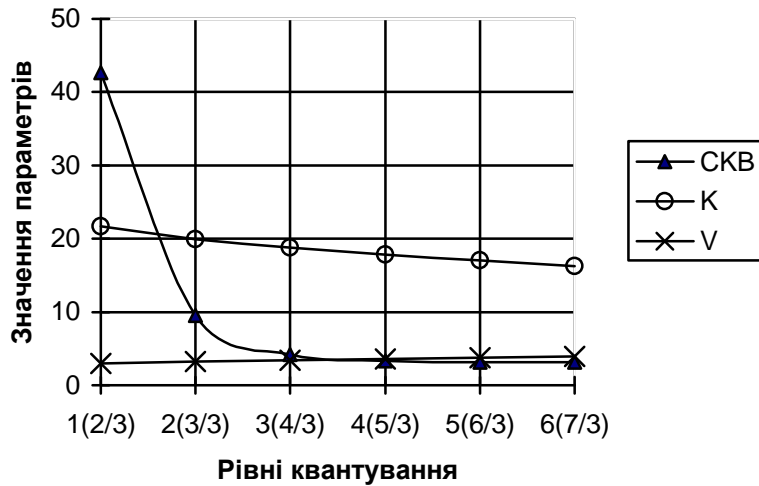


Рис. 6. Значення параметрів нормованого СКВ, зменшення швидкості бітового потоку даних  $K$  стосовно 64 кбіт/с та коефіцієнта стиску  $V$  залежно від розрядності квантування коефіцієнтів апроксимації та деталізації

### Висновки

Для отримання IP-телефонії високої якості в роботі проаналізовано чинники, що впливають на якість передачі по IP-мережі, та запропоновано використання об'єктивних параметрів, що дають можливість оцінити методи передачі та кодери мовних сигналів як існуючих, так і тих, що ще розробляються. Найдоцільніше для оцінки якості QoS використовувати параметри СКВ, SNR та PSNR за заданого коефіцієнта компресії  $V$ .

Сьогодні жодна з розроблених моделей оцінки якості послуг в мережах IP-телефонії не може вважатися універсальною, і отже, необхідними є подальші теоретичні і практичні дослідження у цій царині. Сукупне використання різних існуючих методів дає змогу зробити, хоча і не всеохопний, але багатокритеріальний аналіз якості роботи кодерів мовних сигналів.

Запропоновані параметри якості були апробовані на розробленому методі, що використовує вейвлет-перетворення мовного сигналу у вигляді апроксимації-деталізації. Отримані результати дають можливість провести всебічний аналіз роботи кодера та оптимізувати розрядність квантування коефіцієнтів вейвлет-перетворення.

1. Тимченко О.В., Колодій Р.С. Аналіз якості пакетного передавання мовних сигналів в IP-телефонії: Науково-практична конференція "Сучасні проблеми телекомунікацій – 2003", 16–17 жовтня 2003 р. – Львів. – С. 51–55 (Львівська дирекція ВАТ "Укртелеком"). 2. ITU-T Recommendation G.107 (2000). The E-model, A Computational Model for Use in Transmission Planning. 3. ITU-T Recommendation P.862. Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ), An Objective Method for End-to-end Speech Quality Assessment of Narrowband Telephone Networks and Speech Codecs. 4. Ramjee R., Kurose J., Towsley D. & Schulzrinne H. (1994) Adaptive Playout Mechanism for Packetised Audio Application in Wide-area Networks. – IEEE, Toronto, Canada. 5. Moon S.B., Kurose J. & Towsley D. (1998) Packet Audio Playout Delay Adjustment: Performance Bounds and Algorithms. Acm/Spring Multimedia Systems. – Vol. 5. – P. 17–28. 6. Mills D. (1983) Internet Delay Experiments. ARPANET Working Group Requests for Comment, RFC 889. 7. Bolot J.C. (1993) End-to-end Packet Delay and Loss Behaviour in the Internet. Proc. 1993 ACM SIGCOMM Conf. – P. 289–298. 8. Росляков А.В., Самсонов М.Ю. Модели и методы оценки качества услуг IP-телефонии. – <http://axenet.ru/stat/>. 9. Тимченко О.В., Колодій Р.С. Моделирование компресії і передачі мовних сигналів в каналі зв'язку на основі вейвлет-перетворення: Збірник наукових праць / Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К., 2005. – Вип. 28. – С. 125–132. 10. Тимченко О.В., Колодій Р.С.,

УДК 621.372

Є.М. Чернихівський, М.М. Климаш  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра телекомунікацій

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГРУПОВОЇ ЗАТРИМКИ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА І РОЗРОБКА СХЕМИ МІНІМІЗАЦІЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-МОДОВОЇ ДИСПЕРСІЇ

© Чернихівський Є.М., Климаш М.М., 2006

Проведено дослідження диференціальної групової затримки системи з спектральним ущільненням каналів, запропоновано метод мінімізації поляризаційно-модової дисперсії і проведено дослідження ефективності використання запропонованого методу.

The investigation of differential group delay of system with wavelength-division multiplexing was conducted, the method of minimization of polarization mode dispersion system was proposed and the research of efficiency for proposed method is conducted.

### Вступ

В сучасних оптичних транспортних мережах широко використовуються різновиди систем передавання з спектральним ущільненням каналів (WDM). За збільшення швидкості передачі на одній несучій до 10 Гбіт/с і більше вирішальним обмежувальним чинником є поляризаційна модова дисперсія (ПМД). Сьогодні ведуться інтенсивні роботи над створенням компенсаторів ПМД, хоча випадкова зміна ПМД робить процес компенсації доволі складним – компенсатор повинен динамічно реагувати на зміну ПМД. Кожна із запропонованих схем компенсації має як переваги, так і недоліки. У цій роботі розглянуто метод мінімізації ПМД.

### 1. Дослідження диференціальної групової затримки системи DWDM

Структурну схему волоконно-оптичної системи передавання інформації (ВОСПІ) з спектральним ущільненням каналів зображено на рис. 1.

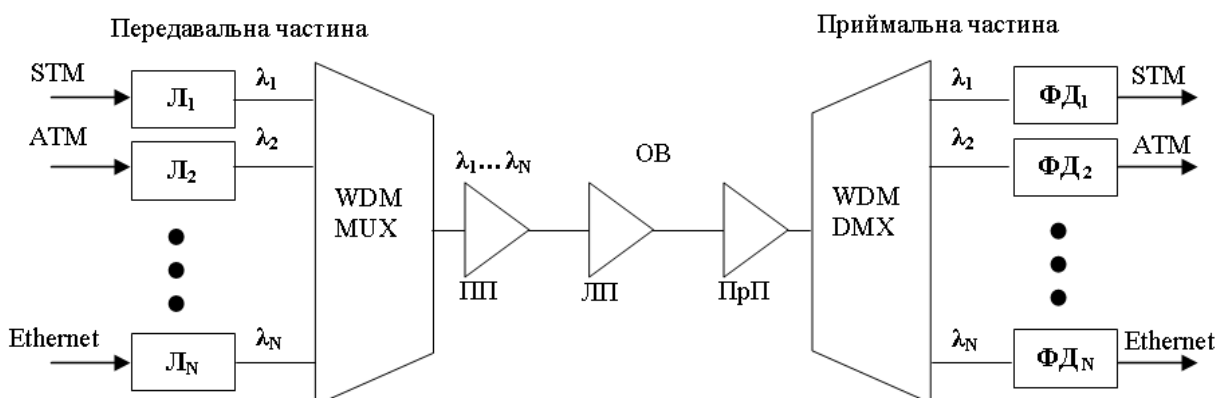


Рис. 1. Система з спектральним ущільненням каналів (DWDM)

У схемі використовуються такі компоненти: Л – одномодовий лазер; ПП – підсилювач потужності; ЛП – лінійний підсилювач (як правило, EDFA); ПрП – попередній підсилювач