

**А. М. Чорній, к.т.н.**

Черкаський державний технологічний університет  
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОДЕРІВ МОВНОГО СИГНАЛУ

*У статті наведено результати досліджень параметрів кодерів мовного сигналу на основі різновидів дельта-модуляції: для лінійної дельта-модуляції, дельта-модуляції з компандуванням і дельта-модуляції з адаптацією та обчислено середньоквадратичну похибку при декодуванні. Здійснено рекомендації щодо вибору типу кодеку для модуляції залежно від використовуваних частот при передачі сигналу.*

**Ключові слова:** кодування, вокодери, мовний сигнал, модуляція, VoIP.

**Вступ.** З часу свого виникнення телекомунікації базуються на передачі електромагнітних сигналів через транспортне середовище, таке як металевий кабель, оптоволокно або радіоканал.

Передана у вигляді електромагнітних сигналів інформація являє собою мову, дані або ж відеодані, або будь-яку їхню комбінацію, яку називають мультимедійною інформацією. Ці три джерела і є основними складовими сучасних телекомунікацій [4].

До недавнього часу мережі з комутацією каналів (телефонні мережі) і мережі з комутацією пакетів (IP-мережі) існували практично незалежно одні від одних і використовувалися для різних цілей. Телефонні мережі використовувалися тільки для передачі мовної інформації, а IP-мережі – для передачі даних. Технологія IP-телефонії дозволяє об'єднати ці мережі.

Зі збільшенням попиту на послуги передачі даних з'явилася необхідність пошуку зручного методу вставлення мовних даних у мультимедійний потік даних.

Для IP-телефонії найчастіше використовується стандарт H.323, призначений для передачі відео- та аудіоданих по мережах з негарантованою якістю послуг, таких як Ethernet і IP. H.323 описує декілька елементів, у тому числі аудіо- і відеокодеки (кодери та декодери), комунікаційні протоколи і синхронізацію пакетів [5].

Для передачі мовних повідомлень використовуються не лише мережі IP, але й ATM та Frame Relay, але ми зупинимось на IP-

мережі, тому що вона, з точки зору вартості розгортання та параметрів надійності, є найкращою [4].

Найпоширенішим стандартом побудови IP-мереж є H.323, і цей стандарт охоплює практично всі аспекти створення таких мереж. Мережі H.323 орієнтовані на інтеграцію зі звичайними телефонними мережами і розглядаються як мережі ISDN, що працюють поверх мереж передачі даних – TCP/IP (мережі Інтернет), мереж IPX, Ethernet, Fast Ethernet, Token Ring і т.д. Стандарт H.323 містить велику кількість протоколів, пов'язаних з реєстрацією устаткування, різними сценаріями встановлення з'єднань, передачею мови, відео і даних, аутентифікацією користувачів, тарифікацією та багатьма іншими задачами.

Відповідно до рекомендації H.323 мережа складається з терміналів (Terminal), шлюзів (Gateway), центру обробки викликів «воротарів» (Gatekeeper) і пристроїв керування конференціями (Multipoint Control Unit – MCU), що утворюють так звану зону H.323 (рис. 1).

**Постановка задачі.** Аналіз сучасних наукових праць показав, що аналіз та дослідження кодеків мовних сигналів з метою їх подальшого удосконалення є актуальною задачею [1–3].

Для забезпечення високої якості мови, яка передається через IP-мережу, кодек, що використовується VoIP-шлюзом, повинен забезпечувати хороші показники якості мови та низьку затримку. Окрім цього, повинна виконуватися система пріоритетів та усунення

явища луни. Виконання першого – завдання шлюзу та маршрутизаторів, другого – сигнального процесора.

При переході до цифрових мереж зв'язку виникла необхідність перетворити анало-

говий електричний сигнал у цифровий формат на передавальній стороні, тобто закодувати, і перевести назад в аналогову форму, тобто декодувати, на приймальній стороні.

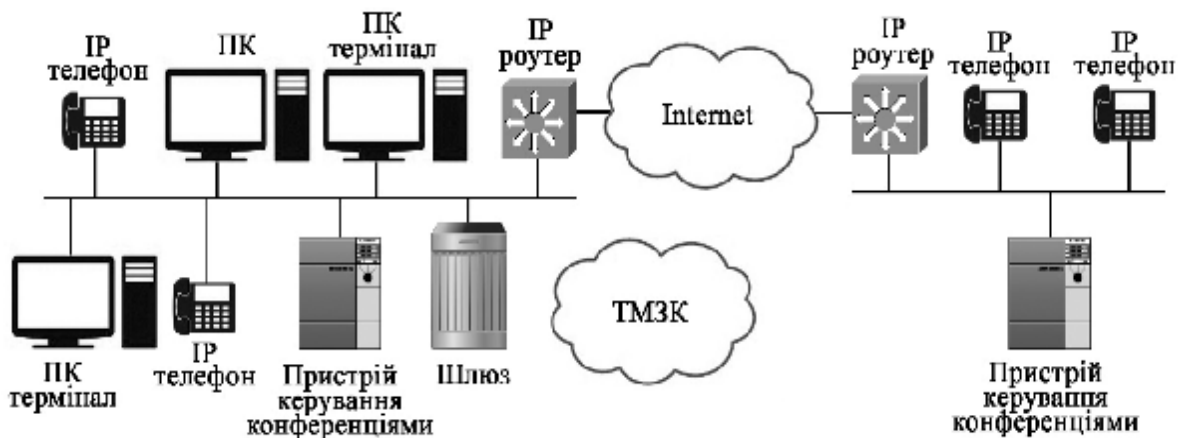


Рис. 1. Зона мережі H.323

Процес перетворення аналогового мовного сигналу в цифрову форму називають аналізом або цифровим кодуванням мови, а зворотний процес відновлення аналогової форми мовного сигналу – синтезом або декодуванням мови, процес аналогово-цифрового перетворення стосовно систем зв'язку отримав назву імпульсно-кодової модуляції (ІКМ). Метою будь-якої схеми кодування є отримання такої цифрової послідовності, яка вимагає мінімальної швидкості передачі і з якої декодер може відновити вихідний мовний сигнал з мінімальними спотвореннями.

При ІКМ квантуванні і кодуванні беруться дискретні за часом відліки безперервного сигналу, взяті з умови теореми дискретизації (Котельникова). Проте такий метод передачі квантованих вибірок не є єдиною можливим методом імпульсної передачі безперервних повідомлень.

Як відомо, для мовного сигналу більш ймовірні низькочастотні складові спектра. Це означає, що миттєві значення дискретних відліків сигналу в сусідніх точках дискретизації з великою ймовірністю мало відрізняються один від одного. Тому можна замість кодування і подальшої передачі відліків передавати по тракту зв'язку кодовані значення різниці сусідніх відліків, по яких на приймальній сто-

роні відновлюються значення відліків сигналу. Такий метод модуляції називається диференціальною імпульсно-ковою модуляцією (ДІКМ).

На рис. 2, а наведено дискрети неперервного сигналу, на рис. 2, б показано значення різниць між сусідніми дискретами. При такому підході при передачі різниці, яка менша від значення відліку, необхідна менша кількість розрядів, ніж при ІКМ, що знижує швидкість передачі та необхідну смугу частот при забезпеченні однакової якості передачі.

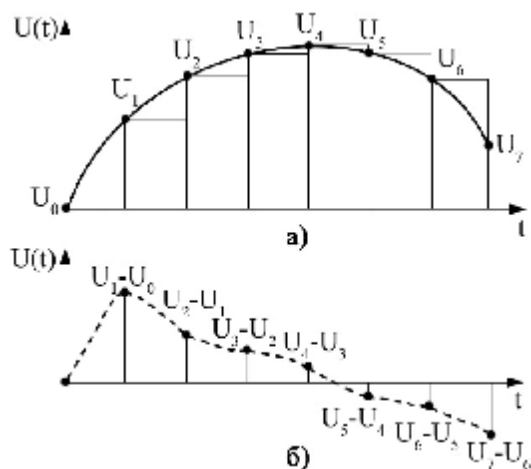


Рис. 2. Принцип диференціальної імпульсно-кової модуляції

Важливо наголосити, що термін «дельта-модуляція» (ДМ) охоплює досить широкий спектр її різновидів, а саме лінійна, нелінійна, адаптивна, статистична, з миттєвою та інерційною адаптацією, з підвищеною інформативністю,  $m$ -рівнева, синхронна та асинхронна тощо [6, 7].

**Метою роботи** є дослідження параметрів кодерів мовного сигналу для лінійної дель-

та-модуляції, дельта-модуляції з компандуванням і дельта-модуляції з адаптацією та обчислення середньоквадратичної похибки при декодуванні.

**Основна частина.** Модель кодера, побудована у середовищі Simulink з лінійною дельта-модуляцією, зображена на рис. 3 [8].

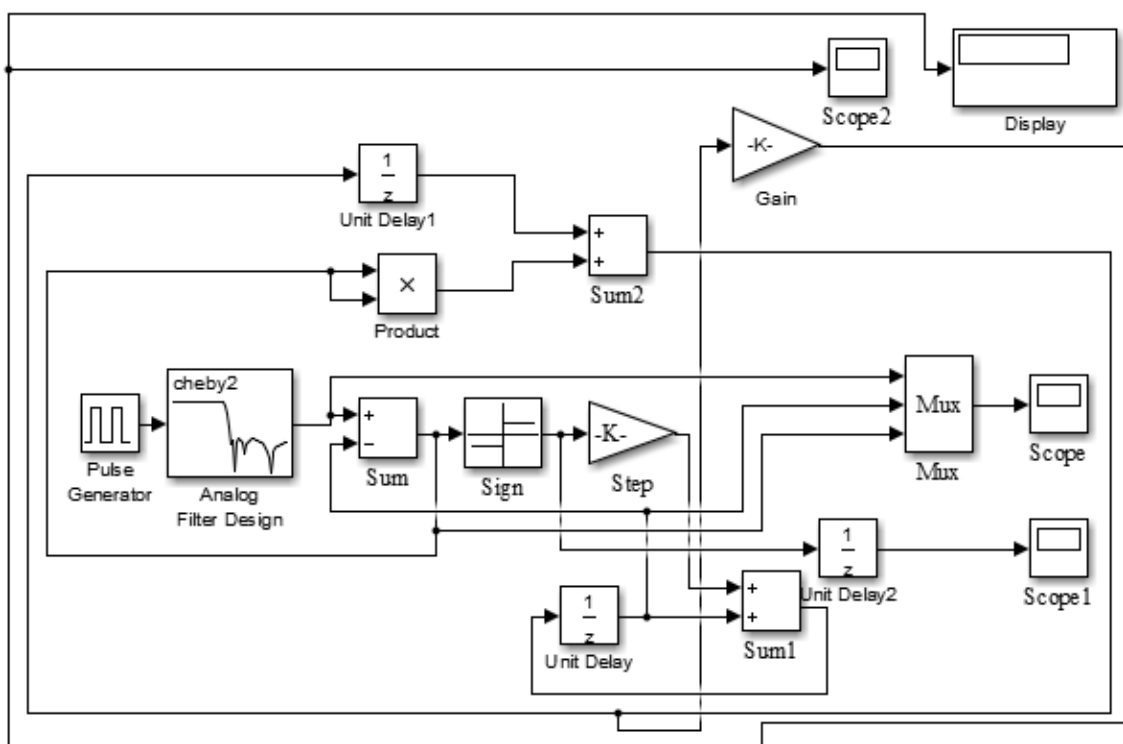


Рис. 3. Модель кодера з лінійною дельта-модуляцією

Оскільки при лінійній дельта-модуляції частота дискретизації є незмінною і, як наслідок, крок квантування  $s_k$  є незмінним, ми будемо задавати частоту дискретизації у ході дослідження від значення 16 кГц до 64 кГц. Складовими моделі є такі блоки: Sum – виконує функцію дельта-модулятора, Sign – пристрій, на виході якого формується «1», коли на вході додатній сигнал, і «0» при від'ємному значенні на вході, Step – підсилювач з коефіцієнтом K. Інтегратор реалізовано на двох елементах: Unit Delay і Sum1. Unit Delay – елемент затримки, який одночасно відіграє роль тактового генератора. Інші елементи схеми пов'язані з підрахунком та виведенням результатів кодування. Так, нижня частина схеми проводить підрахунок серед-

ньоквадратичного відхилення сигналу кодування від вхідного.

Як вхідний сигнал використано прямокутний імпульс амплітудою 1 В і тривалістю 1 мс, який пройшов через ФНЧ із частотою зрізу 3400 Гц і продавленням 40 дБ. Частоту квантування встановлюємо 128 кГц. У ході досліду підбираємо крок квантування так, щоб середньоквадратичне відхилення кодового сигналу від заданого вхідного було якомога меншим.

На рис. 4 графічно зображено роботу кодера для лінійної дельта-модуляції.

Також було проведено дослідження роботи лінійного кодера ДМ-модуляції для різних частот дискретизації, а саме: 16, 32 та 64 кГц.

Порівняно з ІКМ, у лінійній дельта-модуляції значення частоти дискретизації по-

винне бути вищим, як мінімум, у два рази. Це пов'язано, передусім, з необхідністю збільшення кроку квантування.

Окрім лінійної дельта-модуляції, було досліджено параметри кодеків для дельта-модуляції з компандуванням та миттєвим компандуванням.

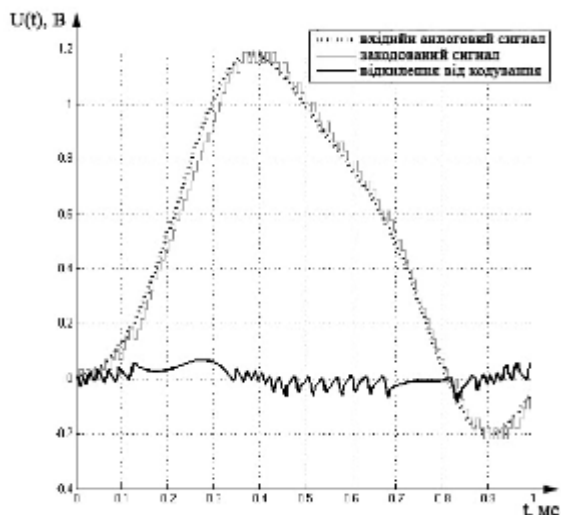


Рис. 4. Графічне представлення результату роботи кодера для лінійної дельта-модуляції

При миттєвому компандуванні крок квантування може змінюватися з наступним тактом, а при інерційному компандуванні крок квантування лінійно залежний від складів повідомлення (рис. 5).

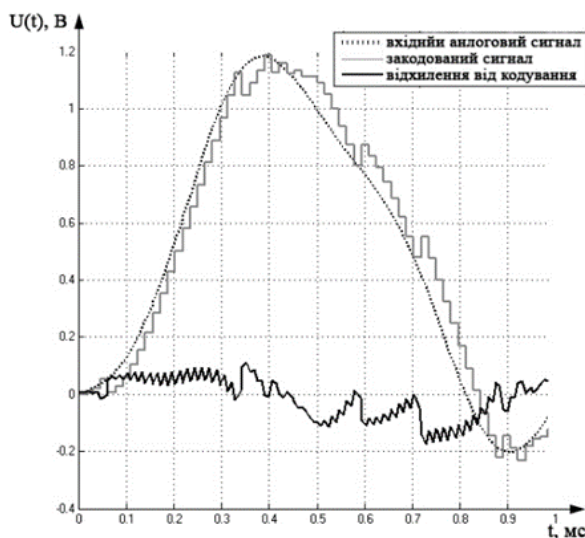


Рис. 5. Графічне представлення результату роботи кодера ДМ з інерційним компандуванням

Основною перевагою дельта-модуляції порівняно з імпульсно-кодовою модуляцією є її значно кращі показники завадо захищеності. Це пояснюється тим, що ДМ менш чутлива до помилок у цифровому форматі. На рис. 5 зображено результат кодування з допомогою кодера ДМ з інерційним компандуванням, такого ж, як і в попередньому дослідженні вхідного сигналу.

Миттєве компандування доцільно використовувати для сигналів з різкою зміною значень сигналу, а інерційне компандування – для мовних сигналів.

Третім різновидом кодера, параметри якого було досліджено, є ДМ з миттєвим компандуванням.

Декодер працює з миттєвим компандуванням і додатково включає схему синхронізації СС та формувач імпульсів ФП. Використання компандування дає можливість знизити тактову частоту цифрового потоку порівняно з класичною ДМ майже в чотири рази (рис. 6).

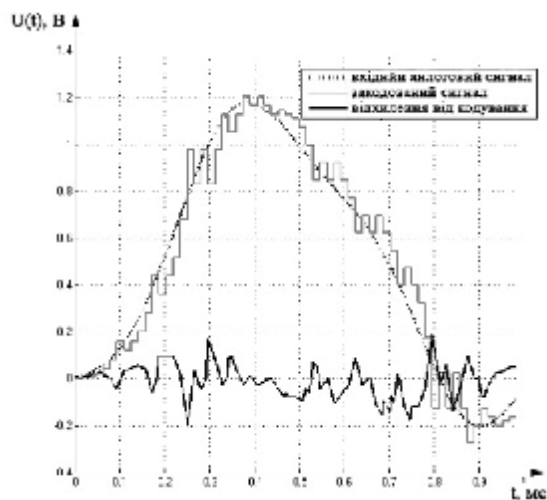


Рис. 6. Графічне представлення результату роботи кодера ДМ з миттєвим компандуванням

Після проведених досліджень у табл. 1 наведено зведені дані про середньоквадратичну помилку залежно від частоти дискретизації.

Таблиця 1  
Залежність середньоквадратичної помилки від частоти дискретизації

Тип модуляції	Частота дискретизації		
	64 кГц	32 кГц	16 кГц
Лінійна ДМ	0,0035 4,9 %	0,012 11 %	0,054 23 %
Інерційна ДМ	0,0061 3,8 %	0,024 10 %	0,019 17 %
Миттєва ДМ	0,006 6,1 %	0,017 9 %	0,067 19 %

**Висновки.** Проведені дослідження кодерів на основі різновидів дельта-модуляції показали, що класична ДМ дійсно значно поступається адаптивній ДМ, а також навіть ІКМ на тій самій частоті дискретизації. Особливо це проявляється на середніх та малих частотах дискретизації (менше 32 кГц). При адаптивній ДМ спостерігається зниження середньоквадратичної помилки на низьких частотах. Згідно з показниками середньоквадратичного відхилення, на основі чого і порівнювалась якість кодування, на середніх частотах переважає адаптивна ДМ з інерційним компандуванням, але на низьких частотах вона поступається кодеку з миттєвим компандуванням.

#### Список літератури

1. Selouani S.-A. Using speech rhythm knowledge to improve dysarthric speech recognition / S.-A. Selouani, H. Dahmani, R. Amami, H. Hamam // *International Journal of Speech Technology*. – 2012. – March, 15 (1). – Springer US. – P. 58.
2. Takamichi S. A postfilter to modify the modulation spectrum in HMM-based speech synthesis / S. Takamichi, T. Toda, G. Neubig, S. Sakti. – Florence, 2014. – P. 292.
3. Chandra M. (2014) Comparative study of PCM, LPC, and CELP speech coders used for VoIP applications / Mahesh Chandra, Manas Ray // *Intelligent Computing, Communication and Devices: proceedings of ICCD*. – 2014. – 1. – P. 580.
4. Гольдштейн Б. С. IP-телефонія / Гольдштейн Б. С., Пинчук А. В., Суховицкий А. Л. – М. : Радио и связь, 2001. – 14 с.

5. Росляков А. В. IP-телефонія / Росляков А. В., Самсонов М. Ю., Шибаева И. В. – М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 2003. – 37 с.
6. Тимченко О. В. Методи різницевого кодування форми сигналів в системах передачі мовної інформації / О. В. Тимченко. – Львів : Вид-во укр. академії друкарства, 2006 – С. 95–96.
7. Трофимов Б. Е. Дельта-модуляція в многоканальной связи / Б. Е. Трофимов. – Ленинград : ЛЭИС, 1975. – 56 с.
8. Терёхин В. В. Основы моделирования в MATLAB. Часть 2. Simulink / В. В. Терёхин. – Новокузнецк, 2004.

#### References

1. Selouani, S.-A., Dahmani, H., Amami, R. and Hamam, H. (2012) Using speech rhythm knowledge to improve dysarthric speech recognition. *International Journal of Speech Technology*, March, 15 (1), Springer US, p. 58.
2. Takamichi, S., Toda, T., Neubig, G. and Sakti, S. (2014) A postfilter to modify the modulation spectrum in HMM-based speech synthesis. Florence, p. 292.
3. Mahesh Chandra and Manas Ray (2014) Comparative study of PCM, LPC, and CELP speech coders used for VoIP applications. *Intelligent Computing, Communication and Devices: proceedings of ICCD*, (1), p. 580.
4. Goldshtein, B. S., Pinchuk, A. V. and Sukhovyycky, A. L. (2001) IP-telephony. Moscow: Radio i svyaz, 14 p. [in Russian].
5. Roslyakov, A. V., Samsonov, M. Yu. and Shybaeva, I. V. (2003) IP-telephony. Moscow: EKO-TRENDZ, 37 p. [in Russian].
6. Tymchenko, O. V. (2006) Methods of waveform difference encoding in transmission systems of language information. Lviv: Vyd-vo ukr. akademiyyi drukarstva, pp. 95–96 [in Ukrainian].
7. Trofimov, B. E. (1975) Delta modulation in multichannel communications. Leningrad: LEIS, 56 p. [in Russian].
8. Teryokhin, V. V. (2004) Principles of modeling in MATLAB. Part 2. Simulink. Novokuznetsk [in Russian].

A. M. Chorniy, Ph.D.

Cherkasy State Technological University  
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

## RESEARCH OF PARAMETERS OF LANGUAGE SIGNAL ENCODERS

*The article is a review of networks used in the transmission of voice traffic, including the use of protocols with support for VoIP, network architecture based on H.323 standard is considered. Special attention is paid to the types of modulation used in data networks for encoding language signals, pulse code modulation, differential pulse code modulation and three types of delta modulation: linear, adaptive and instant. The advantages and disadvantages of each of them are specified.*

*Encoder parameters of language signals based on varieties of delta modulation are researched. The quality of the work is carried out using encoders mean square error for different encoders with different sampling frequencies. Past studies of encoders, based on varieties of delta modulation, have shown that classical DM indeed is significantly inferior than adaptive DM, and even on the same PCM sampling rate. This is particularly evident at small and medium sampling frequencies. At adaptive DM there is decrease in mean square error at low frequencies. According to indices of mean square deviation, based on which the quality of coding has been compared, at medium frequencies adaptive DM with inertia companding prevails, but at low frequencies it is inferior to the codec with instantaneous companding. Our studies allow optimal codecs depending on the parameters of language signal, which must be transmitted in communication networks, for transmission errors minimization and decoding.*

**Keywords:** coding, vocoders, language signal, modulation, VoIP.

*Рецензенти: В.М. Лукашенко, д.т.н., професор,  
М. П. Мусієнко, д.т.н., професор*