

Д. т. н. О. В. ТИМЧЕНКО<sup>1</sup>, к. т. н. В. І. ЛОЗИНСЬКИЙ<sup>2</sup>

Україна, м. Львів, <sup>1</sup>Українська академія друкарства,  
<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»  
 E-mail: o\_tymch@ukr.net; zolysav@gmail.com

## МЕТОД АДАПТИВНОЇ ДЕЛЬТА-МОДУЛЯЦІЇ ДЛЯ ДОВІЛЬНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ АДАПТАЦІЇ У СЕНСОРНІЙ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ЕКГ

Використання різницевих методів для подання інформації у безпроводних сенсорних мережах може призвести до суттєвого зниження енергоспоживання, але застосування адаптивної дельта-модуляції (АДМ) призводить до спотворень оброблюваних сигналів. На базі методу АДМ Меньшикова розроблено метод АДМ для довільних коефіцієнтів адаптації, який забезпечує мінімальну абсолютну похибку на  $n$ -му інтервалі дискретизації. Наведено результати комп'ютерного моделювання та здійснено порівняльний аналіз різницевих сигналів під час подання електрокардіограми за допомогою методів АДМ з миттєвою адаптацією, з підвищеною інформативністю Уінклера, Меньшикова та розробленого методу АДМ для довільних коефіцієнтів адаптації.

**Ключові слова:** адаптивна дельта-модуляція, довільні коефіцієнти адаптації, ЕКГ, сенсорні мережі, моделювання.

Перетворення аналогових сигналів в цифрову форму в загальному випадку здійснюється за допомогою процесів дискретизації та квантування. Квантуванню можуть піддаватися як безпосередньо відліки сигналу (імпульсно-кодова модуляція, **ІКМ**), так і різниці між відліками сигналу (диференціально-кодова модуляція [1]). Остання має ряд переваг над кодуванням відліків, зокрема значно меншу розрядність кодування. Граничним її випадком є однорозрядне кодування, що має назву дельта-модуляції (**ДМ**). Постійний крок квантування під час ДМ вимагає дуже високої частоти дискретизації аналогового сигналу [2], тому для її зменшення застосовують адаптивну зміну кроку залежно від миттєвої крутості [3] (похідної) сигналу, що перетворюється в код.

Використання різницевих методів для подання інформації у безпроводних сенсорних мережах може призвести до суттєвого зниження їх енергоспоживання, що спричинюється зменшенням обсягу даних, які подаються на радіопередавачі [4]. У [5] показано результати комп'ютерного моделювання та розрахунок коефіцієнту стиснення переданої інформації для випадку кодування електрокардіограми (**ЕКГ**) у безпроводних сенсорних мережах за допомогою однорозрядної адаптивної ДМ (**АДМ**) з миттєвою адаптацією [6]. Однак застосування АДМ до ЕКГ призводить до спотворень останньої, що затруднює встановлення правильного діагнозу пацієнта.

Метою даної роботи є розроблення методу АДМ та визначення параметрів модуляції, які

у застосуванні до сигналу ЕКГ дозволять зменшити обсяг даних для передавання з мінімальним спотворенням відновленого сигналу.

### Метод АДМ Меньшикова Г. Г.

Г. Г. Меньшиков теоретично обґрунтував метод АДМ, що дозволяє мінімізувати абсолютну похибку на  $n$ -му інтервалі дискретизації [7]. У випадку  $n \geq 2$  його можна подати за допомогою наступних виразів:

$$\begin{aligned} & \text{— для } |s_{n-1}| > s_{\min} \\ s_n &= s_{n-1} \times \begin{cases} 2, & \text{якщо } \xi_n \geq 0,75, \\ -\frac{1}{2}, & \text{якщо } \xi_n \leq 0,75; \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{— для } |s_{n-1}| = s_{\min} \\ s_n &= s_{n-1} \times \begin{cases} 2, & \text{якщо } \xi_n \geq 0,5, \\ -1, & \text{якщо } \xi_n \leq 0,5; \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{де } \xi_n = \frac{x_n - \hat{x}_{n-1}}{s_{n-1}};$$

$s_{\min}$  — мінімальний крок квантування ДМ-кодера;

$\{s_n\}$  — послідовність кроків квантування ДМ-кодера;

$\{x_n\}$  — послідовність відліків сигналу у форматі ІКМ;

$\{\hat{x}_n\}$  — послідовність апроксимуючих відліків сигналу у форматі ІКМ;

$$n = \overline{1, N};$$

$N$  — кількість відліків сигналу в форматі ІКМ.

На практиці зручно прийняти, що

$$\hat{x}_0 = 0, |s_1| = s_{\min}, \quad (3)$$

тоді

$$s_1 = \text{sgn } x_1 \cdot s_{\min}. \quad (4)$$

Слід зазначити, що коефіцієнт адаптації описаного методу  $K_{\text{АД}} = 2$ , що пов'язано із його зручністю для апаратної реалізації. Однак питання оптимальності такого значення  $K_{\text{АД}}$  для зменшення похибки квантування у [7] не розглядалось. Тому виникла потреба розроблення методу АДМ для довільних коефіцієнтів адаптації. Правильний підбір коефіцієнтів адаптації, в свою чергу, може призвести до збільшення точності сигналу, який відтворюється на основі отриманого дельта-коду.

### Метод АДМ для довільних коефіцієнтів адаптації

Для розроблення методу введемо коефіцієнти адаптації, які пропонується використовувати для розрахунку кроків квантування ДМ-кодера залежно від поведінки крутості сигналу на аналізованій ділянці:  $K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}}$  — коли крутість зростає,  $K_{\text{АД}}^{\text{СП}}$  — коли спадає.

Зупинимось на алгоритмі побудови  $\{\hat{x}_n\}$ , що задовольняє наступній вимозі: значення  $\{s_n\}$  мають обчислюватись послідовно для  $n = 1, 2, \dots$ , причому так, щоб за фіксації  $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_{n-1}, x_1, \dots, x_n$  абсолютна похибка на  $n$ -му кроці  $|x_n - \hat{x}_n|$  була мінімальною.

**Теорема.** Алгоритм наближення, що задовольняє сформульованому критерію, у випадку  $n \geq 2$  записується за допомогою наступних співвідношень:

— для  $|s_{n-1}| > s_{\min}$

$$s_n = s_{n-1} \times \begin{cases} K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}}, & \text{якщо } \xi_n \geq \frac{K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} - K_{\text{АД}}^{\text{СП}}}{2}, \\ -K_{\text{АД}}^{\text{СП}}, & \text{якщо } \xi_n \leq \frac{K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} - K_{\text{АД}}^{\text{СП}}}{2}; \end{cases} \quad (5)$$

— для  $|s_{n-1}| = s_{\min}$

$$s_n = s_{n-1} \times \begin{cases} K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}}, & \text{якщо } \xi_n \geq \frac{K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} - 1}{2}, \\ -1, & \text{якщо } \xi_n \leq \frac{K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} - 1}{2}. \end{cases} \quad (6)$$

За умови наявності у відповідних виразах знаку «=», вибір одного з двох значень  $s_n$  є довільним.

**Доведення.** Для спрощення позначимо  $\varepsilon_n = x_n - \hat{x}_{n-1}$  і запишемо  $x_n - \hat{x}_n = \varepsilon_n - s_n$ . Припустимо, що алгоритм апроксимації задовольняє умові теореми. Очевидно, що внаслідок (3) має виконуватись і (4).

Нехай тепер  $n \geq 2$ . Припустимо, що  $|s_{n-1}| > s_{\min}$ . Тоді, якщо

$$|\varepsilon_n - K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} \hat{x}_{n-1}| < |\varepsilon_n + K_{\text{АД}}^{\text{СП}} \hat{x}_{n-1}|, \quad (7)$$

то

$$s_n = s_{n-1} K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}}. \quad (8)$$

Якщо в (7) має місце рівність, то припустиме як (8), так і  $s_n = s_{n-1} K_{\text{АД}}^{\text{СП}}$ . Однак розв'язком (7) є

$$\xi_n > \frac{K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} - K_{\text{АД}}^{\text{СП}}}{2}. \quad (9)$$

Достатність умов теореми є очевидною: якщо виконується (9), то має місце (7) із знаком « $\leq$ ».

Випадок  $|s_{n-1}| = s_{\min}$  розглядається аналогічно.

### Результати комп'ютерного моделювання

У роботі порівнювались результати комп'ютерного моделювання у середовищі Matlab, які були отримані за використання чотирьох різних методів АДМ для подання ЕКГ: з миттєвою адаптацією (**А**), з підвищеною інформативністю Уінклера (**У**) [8], Меньшикова (**М**) та запропонований авторами метод АДМ для довільних коефіцієнтів адаптації (**Д**). (Зазначимо, що для спрощення позначень у формулах загального вигляду будемо використовувати індекс « $i$ », замість якого для відповідного метода будемо записувати, відповідно, «А», «У», «М» чи «Д».)

На основі доведеної теореми було розроблено алгоритм моделювання методу АДМ для довільних коефіцієнтів адаптації у випадку, коли  $K_{\text{АД}}^{\text{СП}} = 1 / K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}}$ . Його можна записати наступним чином:

$$s_n = s_{n-1} \times \begin{cases} 1, & \text{якщо } \xi_n \geq \frac{K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} - K_{\text{АД}}^{\text{СП}}}{2}, \\ |s_{n-1}| = s_{\min} \cdot (K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}})^{C^{\text{Д}}-1}; \\ K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}}, & \text{якщо } \xi_n \geq \frac{K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} - K_{\text{АД}}^{\text{СП}}}{2}, \\ |s_{n-1}| < s_{\min} \cdot (K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}})^{C^{\text{Д}}-1}; \\ K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}}, & \text{якщо } \xi_n \geq \frac{K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} - 1}{2}, \\ |s_{n-1}| = s_{\min}; \\ -1, & \text{якщо } \xi_n < \frac{K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} - 1}{2}, \\ |s_{n-1}| = s_{\min}; \\ -K_{\text{АД}}^{\text{СП}}, & \text{якщо } \xi_n < \frac{K_{\text{АД}}^{\text{ЗР}} - K_{\text{АД}}^{\text{СП}}}{2}, \\ |s_{n-1}| > s_{\min}, \end{cases} \quad (10)$$

де  $C^{\text{Д}}$  — розрядність АДМ-кодера для довільних коефіцієнтів адаптації.

Згадані види АДМ характеризуються інерційністю, яка проявляється у тому, що АДМ-кодер під час опрацювання ізоляції сигналу ЕКГ видає на виході послідовності ненульовий флуктуаційний сигнал. Така інерційність усувалася шляхом накладання у часовій області прямокутного вікна

$$\omega_n = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_{n-k}^{\text{ІКМ}} \neq 0, \\ 0, & \text{якщо } x_{n-k}^{\text{ІКМ}} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

на відновлений сигнал АДМ-кодера  $\{\omega_n x_{n-k}^{(i)}\}$  [5], де  $\{x_n^{(i)}\}$  — відліки відновленого сигналу відповідного адаптивного дельта-кодера,  $k$  — кількість відліків, на яку зсунуто ряд  $\{x_n^{\text{ІКМ}}\}$  відносно ряду  $\{x_n^{(i)}\}$ .

Відхилення відліків відновлених сигналів адаптивних дельта-кодерів  $\{x_n^{(i)}\}$  від ідеальних, за які прийнято відліки сигналу ЕКГ у форматі ІКМ  $\{x_n^{\text{ІКМ}}\}$  із розрядністю  $S^{\text{ІКМ}} = 12$  оціню-

вались за допомогою нормованої середньоквадратичної похибки на основі наступного виразу:

$$\sigma^{(i)} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n^{(i)} - x_n^{\text{ІКМ}})^2}{D_x^{\text{ІКМ}}}}, \quad (12)$$

де  $D_x^{\text{ІКМ}}$  — дисперсія сигналу  $\{x_n^{\text{ІКМ}}\}$  на виході ІКМ-кодера,

$$D_x^{\text{ІКМ}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n^{\text{ІКМ}} - \bar{x}^{\text{ІКМ}})^2; \quad (13)$$

$\bar{x}^{\text{ІКМ}}$  — середнє значення сигналу  $\{x_n^{\text{ІКМ}}\}$ ,

$$\bar{x}^{\text{ІКМ}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^{\text{ІКМ}}. \quad (14)$$

На **рис. 1** показано відліки сигналу ЕКГ, модельованого у форматі ІКМ, та сигналу АДМ-кодера, відновленого різними методами. Параметри АДМ-кодера з миттєвою адаптацією є наступ-

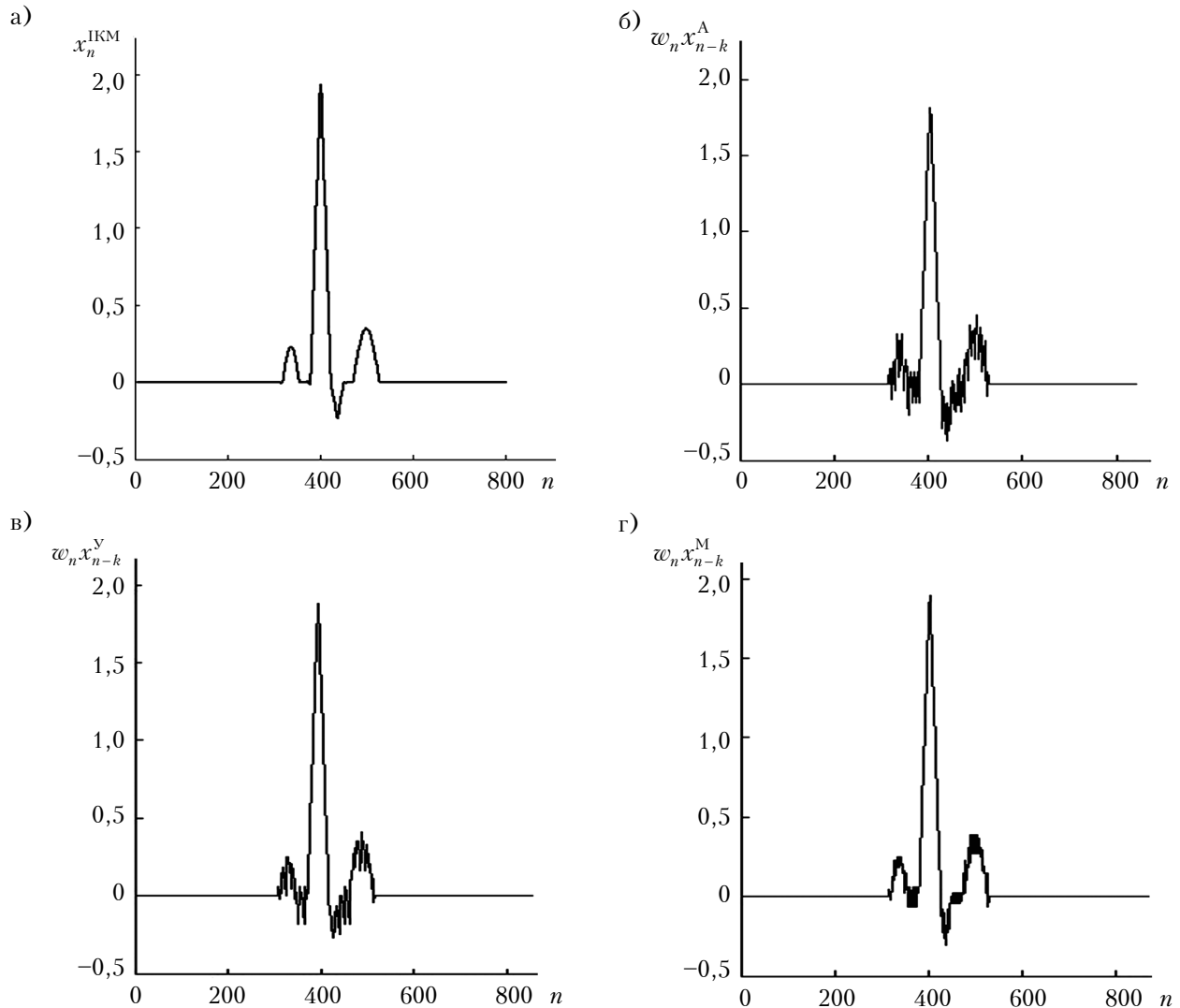


Рис. 1. Відліки сигналу ЕКГ, модельованого у форматі ІКМ (а) та відновленого після АДМ-кодерів з миттєвою адаптацією (б), Уінклера (в), Меньшикова (г)

ними: частота дискретизації  $f_D^A = f_D^{IKM} = 8f_B$ , де  $f_B$  — частота найвищої частотної складової оброблюваного сигналу; розрядність  $C^A = 4$ ; відношення  $s_{min}^A / s^{IKM} = 39$ . Як видно з рис. 1, б, у даному випадку спостерігається значне спотворення сигналу ЕКГ, середньоквадратичне відхилення становить  $\sigma^A = 19$ .

За відновлення сигналу АДМ-кодерами Уінклера та Меньшикова частота дискретизації, розрядність різницевого коду та величина мінімального кроку квантування такі ж самі, як і в попередньому випадку, але значення нормованої середньоквадратичної похибки суттєво менші і становлять, відповідно,  $\sigma^Y = 0,14$  та  $\sigma^M = 0,10$ .

На рис. 2 показано відліки сигналу, відновленого запропонованим авторами методом АДМ з коефіцієнтами адаптації  $K_{AD}^{ЗР} = 4$  та  $K_{AD}^{СП} = 0,25$ . Тут вдалося ще більше понизити розрядність дельта-кодера ( $C^D = 3$ ) і зменшити до 0,08 величину нормованої середньоквадратичної похибки  $\sigma^D$ . Відношення  $s_{min}^D / s^{IKM} = 41$ , а інші вихідні параметри такі ж самі, як і у розглянутих вище випадках.

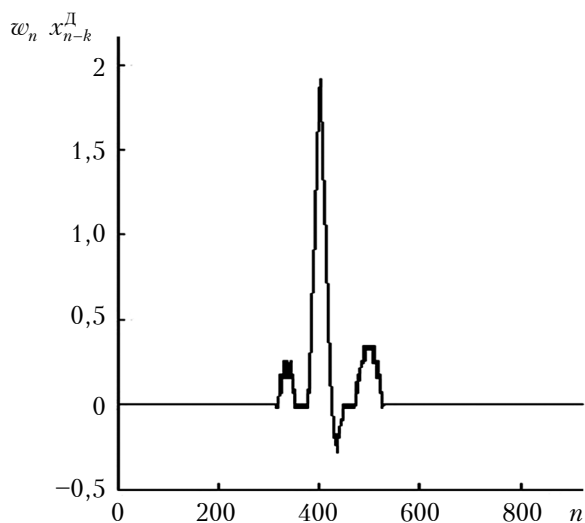


Рис. 2. Відліки сигналу ЕКГ, відновленого методом АДМ для довільних коефіцієнтів адаптації

На рис. 3 показано сімейство згладжених залежностей нормованої середньоквадратичної похибки  $\sigma^i$  відновленого сигналу ЕКГ від співвідношення  $s_{min}^{(i)} / s^{IKM}$  для всіх розглянутих різницевих методів. Як було сказано вище, для А-, У- та М-кодерів розрядність різницевого сигналу становила  $C^A = C^Y = C^M = 4$ , а для Д-кодера із  $K_{AD}^{ЗР} = 4$  та  $K_{AD}^{СП} = 0,25$  розрядність  $C^D = 3$ , натомість частота дискретизації різницевого сигналів у всіх цих випадках однакова і становить  $f_D^A = f_D^Y = f_D^M = f_D^D = 8f_B$ . Зростання  $\sigma^{(i)}$  із зменшенням співвідношення  $s_{min}^{(i)} / s^{IKM}$  пов'язане із перевантаженням дельта-кодерів за

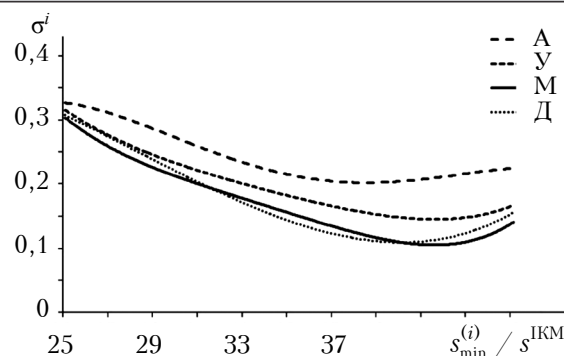


Рис. 3. Залежність нормованої середньоквадратичної похибки  $\sigma^{(i)}$  від співвідношення  $s_{min}^{(i)} / s^{IKM}$  для різних методів відновлення сигналу (А, У, М, Д)

крутістю, натомість збільшення  $\sigma^{(i)}$  із зростанням  $s_{min}^{(i)} / s^{IKM}$  спричинене зростанням похибки квантування дельта-кодерів.

З даних, наведених на рис. 3, видно, що для заданого сигналу ЕКГ і параметрів А-, У- та М-кодерів за розрядності 4 найбільша середньоквадратична похибка виникає, коли для обробки сигналу застосовується метод з миттєвою адаптацією. Деяко менший рівень похибки забезпечує метод Уінклера, і ще менший — метод Меньшикова.

Відносно добре відновлення сигналу ЕКГ змодельованим Д-кодером за розрядності  $C^D = 3$  стало можливим внаслідок того, що наростання/спадання кроків квантування дельта-кодера у даному випадку є значно інтенсивнішим, ніж у всіх інших розглянутих адаптивних методах. Ця особливість дозволяє добре відпрацьовувати круті ділянки ЕКГ за описаних частот дискретизації.

### Висновки

Запропонований метод адаптивної дельта-модуляції із можливістю вибору довільних коефіцієнтів адаптації дозволяє підбирати останні із врахуванням форми оброблюваного сигналу. При цьому сигнал перетворюється у різницевий з мінімальною абсолютною похибкою на  $n$ -му кроці. Такий підхід призводить до отримання найменшого середньоквадратичного відхилення різницевого сигналу від поданого у форматі імпульсно-кодової модуляції, а в деяких випадках дозволяє знизити розрядність різницевого сигналу без втрат його точності. Підвищення точності відтворення сигналу відіграє значну роль у випадках кодування сигналів електрокардіограми, оскільки це пов'язане з постановкою діагнозу пацієнту. Слід зазначити, що запропонований метод можна застосовувати до аналого-цифрового перетворення будь-яких сигналів, наприклад звукових.

## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Харатишвили Н.Г. Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция в системах связи. — Москва: Радио и связь, 1982.
2. Стил Р. Принципы дельта-модуляции. — Москва: Связь, 1979.
3. Гуров И. П. Основы теории информации и передачи сигналов. — СПб.: ВНУ-Санкт-Петербург, 2000.
4. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю. Интернет вещей: учебное пособие. — Самара: ПУТИ, 2015.
5. Лозинський В., Тимченко О. Підвищення енергоощадності сенсорної мережі мобільного моніторингу ЕКГ за допомогою різницевих методів // Моделювання та інформаційні технології. — Київ: Інститут проблем моделю-

вання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2016. — Вип. 77. — С. 117—123.

6. Тимченко О. В. Методи різницевого кодування форм сигналів в системах передачі мовної інформації. — Львів: Українська академія друкарства, 2006.

7. Меньшиков Г. Г. Дискретно-разностное приближение (дельта-модуляция) по Уинклеру // Проблемы передачи информации. — 1969. — Т. 5, вып. 2. — С. 79—83.

8. Уинклер М. Дельта-модуляция с повышенной информативностью // Зарубежная радиоэлектроника. — 1964. — №5. — С. 25—34.

Дата надходження рукопису  
до редакції 03.08 2018 р.

Л. А. В. ТИМЧЕНКО<sup>1</sup>, В. И. ЛОЗИНСКИЙ<sup>2</sup>

Украина, г. Львов, <sup>1</sup>Украинская академия печати,  
<sup>2</sup>Национальный университет «Львовская политехника»  
E-mail: o\_tymch@ukr.net; zolysav@gmail.com

## МЕТОД АДАПТИВНОЙ ДЕЛЬТА-МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ АДАПТАЦИИ В СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ МОБИЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЭКГ

*Использование разностных методов для представления информации в беспроводных сенсорных сетях может привести к существенному снижению энергопотребления, однако применение адаптивной дельта-модуляции (АДМ) приводит к искажениям обрабатываемых сигналов. На базе метода АДМ Меньшикова разработан метод АДМ для произвольных коэффициентов адаптации, который обеспечивает минимальную абсолютную погрешность на  $n$ -м интервале дискретизации. Приведены результаты компьютерного моделирования и сделан сравнительный анализ разностных сигналов при подаче электрокардиограммы с помощью методов АДМ с мгновенной адаптацией, с повышенной информативностью Уинклера, Меньшикова и разработанного метода АДМ для произвольных коэффициентов адаптации. Показано, что предложенный метод приводит к получению наименьшего среднеквадратичного отклонения разностного сигнала от сигнала, представленного в формате импульсно-кодовой модуляции, а в некоторых случаях позволяет снизить разрядность разностного сигнала без потерь его точности. Предложенный метод можно применять при аналого-цифровом преобразовании любых сигналов, например звуковых.*

*Ключевые слова:* адаптивная дельта-модуляция, произвольные коэффициенты адаптации, ЭКГ, сенсорные сети, моделирование.

DOI: 10.15222/ТКЕА2018.4.38  
UDC 621.3

О. В. ТИМЧЕНКО<sup>1</sup>, В. И. ЛОЗИНСКИЙ<sup>2</sup>

Ukraine, Lviv, <sup>1</sup>Ukrainian Academy of Printing,  
<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University  
E-mail: o\_tymch@ukr.net; zolysav@gmail.com

## ADAPTIVE DELTA MODULATION METHOD FOR ARBITRARY ADAPTATION COEFFICIENTS IN THE SENSOR NETWORK OF THE MOBILE ECG MONITORING

*The usage of difference methods for information supply in wireless sensor networks can lead to reduction in their power consumption. However, the usage of adaptive delta modulation (ADM) leads to distortion of processed signals. Therefore, the development of ADM methods and researching their parameters to increase the accuracy of the reconstructed signal from the differential code is an important scientific task. Menshikov G.G. theoretically substantiated the ADM method, which allows minimizing the absolute error in the  $n^{\text{th}}$  sampling interval. The adaptation coefficient of this method is equal to 2, which is relevant with its convenience for hardware implementation. However, the optimality of its value for reducing the quantization error of the adaptive delta encoder was not considered. Therefore, there was a need to develop an ADM method based*



on the Menshikov's ADM for arbitrary adaptation coefficients. The right selection of adaptation coefficients can lead to an increase of signal accuracy which is reproduced based on the received delta code. The article presents a method for arbitrary adaptation coefficients which provides a minimum absolute error on the  $n$ -th sampling interval. This approach leads to the smallest RMS error of differential signal from the one in PCM format, and in some cases, it allows reducing the resolution of differential signal without loss of its accuracy. The article also provides the results of computer modeling. A comparative analysis of differential signals during ECG supply helped by ADM with instant adaptation, Winkler's HIDM, the Menshikov's method and the developed method for arbitrary adaptation coefficients has been carried out. The proposed ADM method makes it possible to select the adaptation coefficients taking into account the forms of the processed signal.

**Keywords:** adaptive delta modulation, arbitrary adaptation coefficients, ECG, sensor networks, modeling.

## REFERENCES

1. Kharatishvili N. G. *Differentsial'naya impul'sno-kodovaya modulyatsiya v sistemakh svyazi* [Differential Pulse Code Modulation in Communication Systems]. Moscow, Radio i svyaz', 1982, 136 p. (Rus)
2. Steele R. *Delta Modulation Systems*. London, Pentech Press&Halsted Press, 1975, 379 p.
3. Gurov I.P. *Osnovy teorii informatsii i peredachi signalov* [Fundamentals of information theory and signals transmission]. St. Petersburg, BHV-St. Petersburg, 2000, 97 p. (Rus)
4. Roslyakov A.V., Vanyashin S.V., Grebeshkov A.Yu. *Internet veshchei* [Internet of Things]. Samara, PSUTI, 2015, 200 p. (Rus)]
5. Lozynsky V., Tymchenko O. [Energy-saving immobile ECG monitoring sensor network by differential methods]. *Modeling and Information Technologies*, Kyiv, Pukhov Institute for Energy Modelling of NAS of Ukraine, 2016, iss. 77, pp. 117-123. (Ukr)
6. Tymchenko O. *Metody riznitsevogo koduvannya formy sygnaliv v sistemakh peredachi mochnoyi informatsiyi* [Differential Coding Methods of Waveform in Speech Communication Systems]. Lviv, Ukrainian Academy of Printing, 2006, 320 p. (Ukr)
7. Menshikov G. The discrete-difference approximation (delta-modulation) by Winkler. *Problems of Information Transmission*, 1969, vol. 5, iss. 2, pp. 61-65.
8. Winkler M. R. High information deltamodulation. *IEEE International Convention Record 8*. 1963, pp. 260-265.

## Описание статьи для цитирования:

Тимченко О. В., Лозинський В. І. Метод адаптивної дельта-модуляції для довільних коефіцієнтів адаптації у сенсорній мережі мобільного моніторингу ЕКГ. Технологія і конструювання в електронній апаратурі, 2018, № 4, с. 38-43. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2018.4.38>

## Cite the article as:

Tymchenko O. V., Lozynsky V. I. Adaptive delta modulation method for arbitrary adaptation coefficients in the sensor network of the mobile ECG monitoring. *Tekhnologiya i Konstruivovanie v Elektronnoi Apparature*, 2018, no. 4, pp. 38-43. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2018.4.38>

## РЕЦЕНЗЕНТИ НОМЕРА

*Добровольський Юрій Георгійович*, докт. техн. наук, доцент, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

*Дружинін Анатолій Олександрович*, докт. техн. наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка»

*Іванець Сергій Анатолійович*, канд. техн. наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет

*Петлицький Олександр Миколайович*, канд. фіз.-мат. наук, директор, ДЦ «Белмікроаналіз», ВАТ «ІНТЕГРАЛ», м. Мінск

*Плаксінін Сергій Вікторович*, докт. фіз.-мат. наук, зав. відділом, Інститут транспортних систем і технологій НАНУ, м. Дніпро

*Рябенський Володимир Михайлович*, докт. техн. наук, професор, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

*Садченко Андрій Валерійович*, канд. техн. наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет

*Яцунський Ігор Ростиславович*, канд. фіз.-мат. наук, заст. декана, Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова