

УДК 621.391.816

Ю.К. Філіпський, д-р техн. наук, проф.,  
 А.Р. Агаджанян, магістр,  
 Одес. нац. політехн. ун-т

## ПЕРЕВАГИ ОБРОБКИ НЕСТАЦІОНАРНИХ СИГНАЛІВ ЧАСТОТНО-ЧАСОВИМИ МЕТОДАМИ

Ю.К. Філіпський, А.Р. Агаджанян. **Переваги обробки нестационарних сигналів частотно-часовими методами.** Показано переваги використання вейвлет-перетворення для виявлення патології електрокардіограми (ЕКГ) перед традиційними частотними та часовими методами. Отримано результати дослідження й виявлення ЕКГ з патологією ішемічної хвороби серця. Обґрунтовано вибір атома вейвлета.

Ю.К. Филипский, А.Р. Агаджанян. **Преимущества обработки нестационарных сигналов частотно-временными методами.** Показаны преимущества использования вейвлет-преобразования для выявления патологии электрокардиограммы (ЭКГ) перед традиционными частотными и временными методами. Получены результаты исследования и выявления ЭКГ с патологией ишемической болезни сердца. Обоснован выбор атома вейвлета.

Yu.K. Filipsky, A.R. Agadzhanyan. **Advantages of processing non stationary signals by time-frequency methods.** The advantages of wavelet transform to detect EKG abnormalities over the traditional time and frequency methods are shown. The results of studying and identifying EKG with the pathology of coronary heart disease are obtained. The choice of a wavelet atom is substantiated.

Для більшості аналогових сигналів застосування окремо частотного чи часового методу аналізу породжує похибки та суттєво погіршує точність виявлення локалізації амплітудних складових сигналу з низьким рівнем напруги. На практиці не всі сигнали є стаціонарними, наприклад, електрокардіограма (ЕКГ) є електричним проявленням скорочувальної активності серця та відомим типом біомедичного сигналу (рис. 1).

Пропонується обґрунтування обробки ЕКГ за допомогою частотно-часового методу для знаходження та виділення суттєвої патології на прикладі ішемічної хвороби серця.

Найбільш розповсюдженим методом обробки ЕКГ є кореляційний метод, який дозволяє отримувати часові та амплітудні значення та якісно трактувати патологію за ознаками форми хвилі ЕКГ. Форма хвилі та зубці ЕКГ складають QRS комплекс, який дозволяє вимірювати інтервал, включаючи хвилі P, QRS і T, інтервали між хвилями, такі як RR, PQ, QT, QQ, та PP, отримання характеристик морфології (форми) хвиль [1].

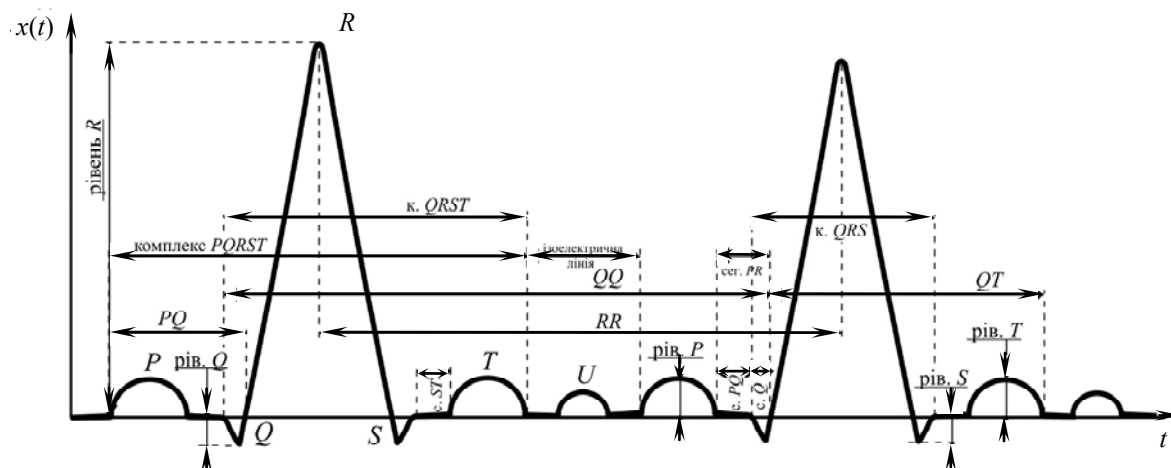


Рис. 1. Стандартна форма ЕКГ з позначенням характерних точок

Наприклад, для виявлення патології ішемічної хвороби серця (ІХС) у рамках цього методу достатньо виміряти зміщення  $ST$  сегмента як підйом чи зсув донизу по відношенню до ізоелектричної лінії [1] (див. рисунок 1). До основних недоліків цього методу можна віднести достатню складність аналізу, а при виникненні суттєвих завад — помилки.

Спотворення  $\varepsilon$  ЕКГ можуть виникати за такими показниками: при наведеннях у мережі живлення  $\varepsilon_{МЖ}$ , при міографічній інтерференції  $\varepsilon_{МІ}(t)$  (м'язовий тремор, який може описуватися адитивним білим гаусовим шумом), при недостатньому контакті датчиків кардіографа (виникає дрейф ізолінії  $\varepsilon_{ДІ}$ ) та за інших обставин. На практиці частіше всього зустрічається поєднання зазначених чинників

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_{МЖ} + \varepsilon_{МІ}(t) + \varepsilon_{ДІ}. \quad (1)$$

Використання згладжувальної процедури (інтерполяції) дозволяє зменшити енергію високочастотного процесу (завад) та виконує функцію фільтра вищих гармонік (більше 100 Гц) для ЕКГ сигналу. Але згладжування впливає на імпульси комплексу  $QRS$ , “розмиває” їх.

Для очистки сигналу від зазначених завад (1) використовували функцію WDEN-ML (рис. 2).

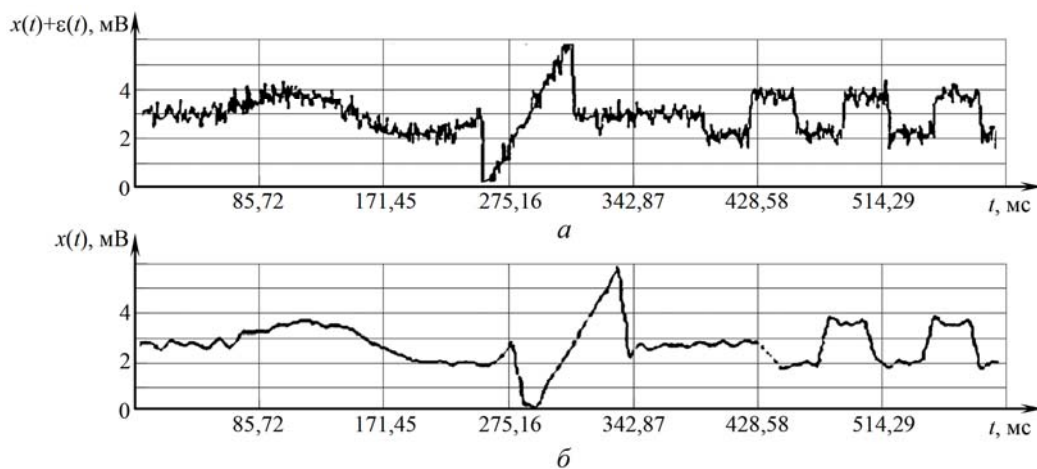


Рис. 2. ЕКГ сигнал з завадами (а), згладжений ЕКГ сигнал (б)

Як альтернативний метод аналізу можливо використання перетворення Фур'є [2]

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt. \quad (2)$$

Але цей метод показав свою неспроможність тому, що біомедичні сигнали не вдовольняють умовам стаціонарності, а наявність будь-якої особливості у сигналі викликає “розмивання” спектра. Використання частотно-часових методів дозволяє уникнути такого ефекту.

Широко відомий та який застосовується метод спектрально-часового картування [1], він заснований на перетворенні Фур'є (2) та визначенні динамічних (миттєвих) спектрів  $S_r(\omega, t)$  [3],

$$S_r(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} W(\tau - t)x(\tau)e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (3)$$

При спектральному аналізі оцінюється амплітудно-частотна характеристика визначеної ділянки кардіосигналу.

Для виконання умови стаціонарності для  $x(\tau)$  використовують функцію вікна  $W(t)$  (3). Вибір довжини вікна є компромісом між точністю локалізації шуканого амплітудного сигналу з низьким рівнем напруги в межах комплексу  $QRS$  (що означає збереження короткого періоду) та збереженням спектрального вирішення. Зі зменшенням ширини вікна  $W(t)$  погіршується спектральне вирішення. Спектральна щільність потужності у коротких сегментах обраховується за інтегральними смугами частот, проводиться аналіз їх значень (кількість високих та низьких частот). Ефект впливу середнього значення інтервалу ЕКГ на спектр є мінімальним у частотах вище 10 Гц при аналізі інтервалу довжиною 150 мс.

Для обробки ЕКГ можна також використовувати вейвлет-перетворення

$$R(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) W\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (4)$$

Основна різниця між вейвлет-перетворенням (4) та перетворенням Фур'є (2, 3) в ширині вікна  $a$  [2].

Частотне вікно змінюється та зміщується з коефіцієнтом  $b$  в міру того, як обчислюється перетворення для кожного з компонентів спектра, що є суттєвою особливістю вейвлет-перетворення. Для отримання високочастотної інформації з високою точністю важливо виявлення її у відносно малих часових інтервалах, а не зі всього інтервалу, та навпаки — низькочастотну спектральну інформацію важливо виявляти у відносно широких часових інтервалах.

Вейвлет-перетворення являє собою безперервний блок віконних перетворень Фур'є з різними вікнами для кожної частоти, що дозволяє однаково добре відрізнити низькочастотні та високочастотні характеристики сигналу. Така властивість вейвлет-перетворення дозволяє думати, що цей метод для обчислення частотно-часових параметрів сигналу буде кращим за віконне перетворення Фур'є.

Існує багато різновидів вейвлет-функцій (атомів) для вейвлет-перетворення (рис. 3). Загальна властивість полягає у тому, що всі функції визначені на деякому інтервалі.

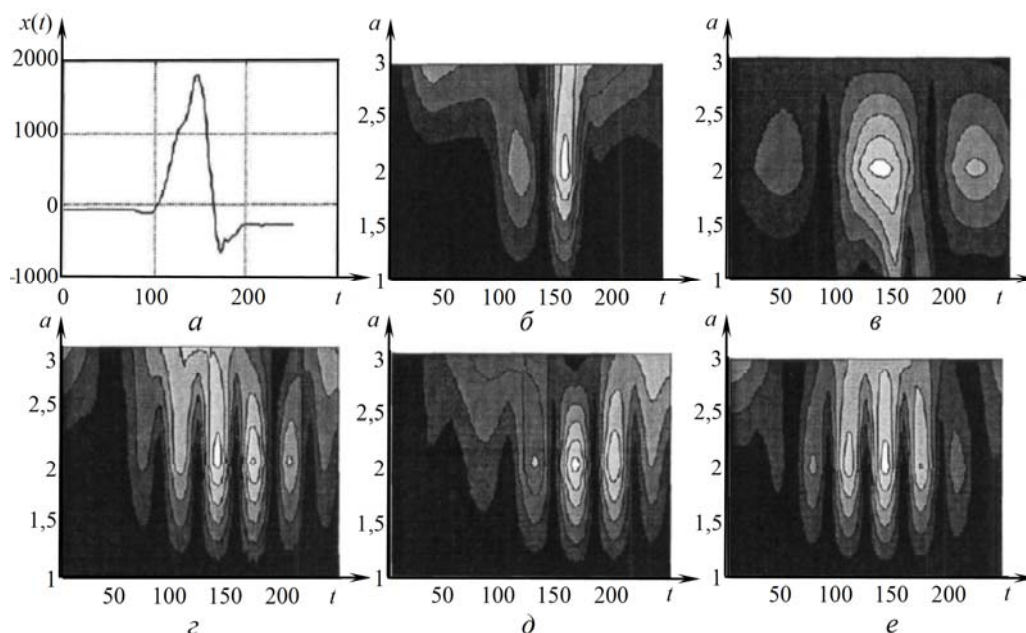


Рис. 3. Обробка сигналу ЕКГ хворого ІХС (а), за допомогою різних атомів: “Хаара” (б); “мексиканський капелюх” (в); “Марлета” (г); “Мейера” (д) та “Марлета” для ЕКГ без патології (е)

На рисунку 3 приведені результати обробки ЕКГ хворого ІХС різними атомами. Знаходження та виявлення шуканого сегмента за допомогою вейвлет-перетворення передається різними формами ізоклін з відповідним кольором у відтінках сірого. На рис. 3, б та 3, в позначення  $QRS$  комплексу та  $ST$  сегмента не чітко відрізняється, ізоклін має широку смугу за масштабом  $a$  та часом  $t$ . Найбільш наочними функціями є “Мейера” (рис. 3, д) та функція “Марлета” (рис. 3, г). Найбільш інформаційною є функція “Марлета”.

Для порівняння приведено ЕКГ здорової людини (атом “Марлета”) (рис. 3, е)

$$W(t) = e^{-\frac{t^2}{2}} \cos(5t). \quad (5)$$

З рисунка випливає, що для аналізу ЕКГ обираємо саме функцію (5). Функцію “Марлета” (рис. 4) використовують досить часто при аналізі нестационарних сигналів, тому що вона зберігає більше інформації про дослідний сигнал [2].

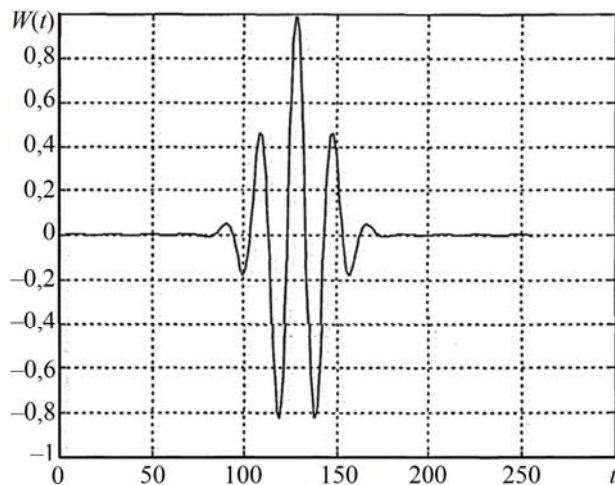


Рис. 4. Функція “Марлета”

Для визначення та маркування патології використовуються різні масштаби вейвлетів. Найбільш вдалим варіантом є масштаб 128 (див. рисунок 4). Таким чином, для визначення патології ІХС обрано вейвлет “Марлета” та масштаб 64; 128; 256 (чи масштаб, пропорційний степені 2).

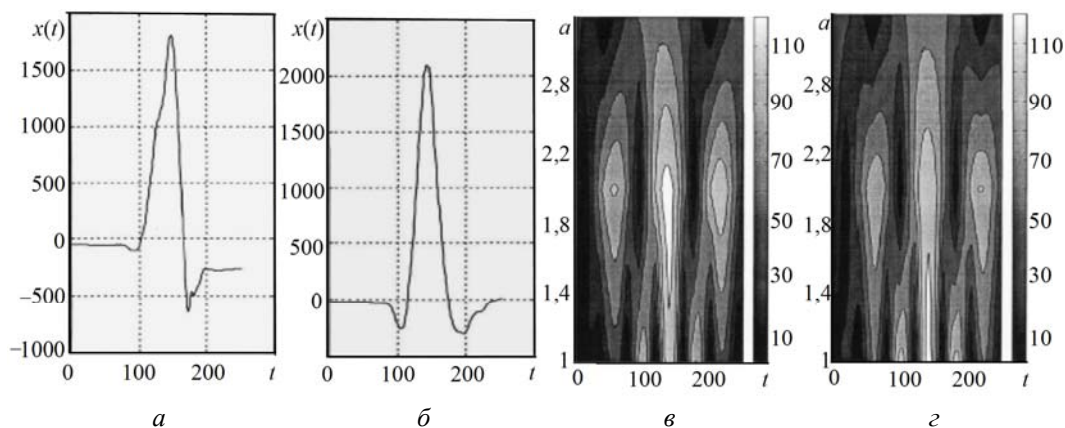


Рис. 5. *QRS* комплекс з патологією ІХС (а) та здорової людини (б) і їх вейвлет – перетворення відповідно (в) та (г), атом “Марлета”, масштаб 64; 128; 256

При обробці ЕКГ з метою виділення пізніх потенціалів шлуночків (ППШ) (амплітуди сигналів з низьким рівнем напруги та з фрагментами електричної активності, яка локалізована у кінці *QRS* комплексу і за амплітудою знаходиться на рівні завад ЕКГ: 5...20 мкВ, 20...50 Гц) метод вейвлет-перетворення має безсумнівну перевагу перед традиційним методом Сімпсона, який за допомогою достатньо складної апаратури для виявлення ППШ застосовується на *ST* сегменті та кінцевій частині *QRS* сегмента [1]. Про наявність ППШ судять не тільки за порушеннями кінцевої частини *QRS* комплексу. Досліджують і більш складні порушення ходу хвилі збудження на початку та в середині *QRS* комплексу. Ці порушення можливо виявити, тільки застосувавши метод вейвлет-перетворення.

Таким чином, в роботі:

— Приведені можливі варіанти частотної, часової та частотно-часової обробки нестационарних сигналів на прикладі ЕКГ (у середовищі ML).

— Показано, що кореляційний метод є досить складним для аналізу ЕКГ та може давати різні показники, які пов'язані з методикою виділення патології (у часовій площині). Метод частотного вікна також може не враховувати деяких особливостей амплітудних значень сигналу ЕКГ з низьким рівнем напруги (на прикладі ППШ), а метод вейвлет-перетворення з відповідним підбором параметрів дає досить непогані результати, які можуть бути виявлені навіть візуально.

— Проведено ряд експериментів з вейвлет-перетворенням е.к.г для здорових людей та людей з ІХС. Показано, що для діагностики захворювань (знаходження та виділення зміненого ST сегмента) слід обирати вейвлет-функцію “Марлета”.

### Література

1. Рангайян, Р.М. Анализ биомедицинских сигналов / Р.М. Рангайян. — М.: Физматлит, 2007. — 433 с.
2. Короновский, А.А. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения / А.А. Короновский, А.Е. Храмов. — М.: Физматлит, 2003. — 175 с.
3. Филипский, Ю.К. Сравнительный анализ частотно-временных методов обработки сигналов / Ю.К. Филипский, А.Р. Агаджанян // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2010. — Вып. 1(33)–2(34). — С. — 175 — 179.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-ту Баранов П.Ю.

Надійшла до редакції 7 лютого 2011 р.