

УДК 621.317

**Н.І. ПОВОРОЗНЮК**, канд. техн. наук, доц., НТУУ "КПІ", Київ,  
**К.В. ЧОРНИЙ**, студент, НТУУ "КПІ", Київ

## **ЗВУКОВІ СИГНАЛИ ДІЯЛЬНОСТІ СЕРЦЯ І ЇХ АНАЛІЗ У ЧАСТОТНО-ЧАСОВІЙ ОБЛАСТІ**

Дослідження звукових сигналів діяльності серця (аускультация) є одним з ефективних і недорогих методів ранньої діагностики захворювань серцево-судинної системи. Звуки серця (фонокардіограма) є низькочастотним, багатокомпонентним, нестационарним сигналом, тому аналіз таких сигналів доцільно виконувати у частотно-часовій області. Застосування вейвлет-перетворення для аналізу фонокардіограм дає змогу підвищити роздільну здатність і отримати важливі інформаційні характеристики. Бібліогр.: 15 назв.

**Ключові слова:** аускультация, фонокардіограма, вейвлет-перетворення.

**Постановка проблеми і аналіз літератури.** Захворювання серцево-судинної системи є однією з основних проблем охорони здоров'я. Такі захворювання, наприклад, спричинюють 42% смертних випадків у Євросоюзі, незважаючи на 192 млрд. витрати на рік на їх профілактику і лікування. Рання діагностика таких захворювань дасть змогу не тільки істотно поліпшити стан охорони здоров'я, а й значно скоротити витрати. У сучасній медицині для діагностики порушень у роботі серця використовуються такі ефективні технології як ультразвукова ехокардіографія, комп'ютерна рентгенівська томографія, магнітно-резонансна томографія, але вони дуже дорогі і проводяться у спеціалізованих медичних центрах.

Прослуховування звуків серця (аускультация) з метою діагностики захворювань за допомогою найпростіших пристроїв (стетоскопа, фонендоскопа) вже давно використовується у діагностичній і лікувальній практиці [1 – 4]. Проте можливості людського слуху обмежені, тому для отримання повної інформації у сучасній медицині застосовуються новітні досягнення в області цифрової та мікропроцесорної техніки, що дають змогу обробляти отримані звукові сигнали за складними алгоритмами.

**Мета статті.** Розробити процедуру аналізу звукових сигналів серцевої діяльності на основі вейвлет-перетворення з метою ранньої діагностики відхилень у роботі серця.

**Характеристики і параметри звукових сигналів діяльності серця.** Звукові сигнали діяльності серця (фонокардіограма) – це механічні коливання пружного середовища, що виникають у результаті руху крові по камерах серця та при роботі клапанів. Вони поділяються на

тони, – сигнали однієї або кількох частот, і шуми (англ. *murmurs*) – хаотичні коливання з широкою смугою частот [2, 3].

Фонокардіограма містить дві головні складові: тони  $S1$  та  $S2$ .  $S1$  – це перший тон серця (сistolічний), який утворюється в результаті закривання трикуспідального ( $T1$ ), мітрального ( $M1$ ) клапанів та скорочення шлуночків. Також в цей тон входить звук відкриття клапанів аорти та легеневої артерії.  $S2$  – другий тон (діастолічний). Він утворюється в результаті закривання клапанів легеневої артерії та аорти і відкривання мітрального та трикуспідального клапанів. У  $S2$  розрізняють три частини, а центральну поділяють на аортальний ( $A2$ ) і на пульмональний ( $P2$ ) компоненти, які виникають у результаті напруження стулок відповідних клапанів. Крім головних звуків (тонів)  $S1$  і  $S2$ , у певних випадках спостерігають додаткові –  $S3$  та  $S4$ . Головні  $S1$  і  $S2$  і додаткові  $S3$  та  $S4$  тони несуть цінну інформацію про стан серця пацієнта і використовуються для діагностики захворювань. Не менш цінну діагностичну інформацію несуть також шуми серця, які спричинені турбулентним рухом крові і свідчать про відхилення у роботі серця.

**Аналіз фонокардіограм.** Аналіз фонокардіограм з метою виявлення відхилень від норми і патологій у роботі серця здійснюється у кілька етапів. На першому етапі виконується зняття сигналів з датчиків (сенсорів), закріплених на тілі пацієнта. Далі виконується процедура сегментації сигналів, отриманих з датчиків. Сегментація сигналів полягає у синхронізації і виділенні періоду серцевого ритму, виділення основних тонів  $S1$  і  $S2$  та їх складових, а також шумів [4, 5]. Для сегментації сигналів застосовуються методи з різної ступені складності, але кожен з них розроблявся для конкретного випадку застосування. Одним з найпростіших методів є застосування середнього квадратичного значення сигналів. Ще одним методом є застосування QRS комплексу електрокардіограм, але його застосування супроводжується ускладненням обчислювальних потужностей та збільшенням ціни діагностичного комплексу.

Для підвищення швидкодії і зменшення затрат розроблено алгоритм, який ґрунтується на використанні абсолютного значення енергії Шенона сигналу

$$E = \left| x^2 \cdot \ln(x^2) \right|. \quad (1)$$

Особливість енергії Шенона полягає у тому, що підсилюються високоенергетичні ділянки сигналу, а шумові пригнічуються. Знаходяться високоенергетичні ділянки сигналу за допомогою визначення локальних максимумів абсолютних енергій околів праворуч і

ліворуч точки дослідження. Різниця між правим і лівим максимумом кожного дискретного значення сигналу запамятовується для подальшого аналізу. Чим більша зміна енергії, тим вищий показник. Встановлюється динамічний поріг розпізнавання для виділення інформативного сигналу з шумів. Щоб визначити початок та кінець інформативного сегменту аналізуються частоти показників зміни енергії сигналу, що перевищують встановлений динамічний поріг розпізнавання. Досліджується кожний показник і якщо зліва від нього не зустрічається показники вище порогу, а справа зустрічаються – це фіксується як початок сегменту. Якщо зліва такі показники зустрічаються, а справа ні – то це фіксується як кінець сегменту. Також отримані дані про локальні максимуми енергій містять інформацію про періоди між тонами і дають змогу проводити аналіз і діагностику показників ритму діяльності серця.

Динамічне коригування порогу розпізнавання сигналу досягається аналізом частотності амплітуд локальних максимумів коливань. Амплітуди локальних максимумів коливань шуму зустрічаються набагато частіше ніж розподілені максимуми нестационарного сигналу. На основі піку частот і робиться висновок про прийнятний поріг розпізнавання.

Після сегментації виконується наступний етап – вилучення інформативних параметрів (англ. feature extraction) [7 – 10]. Фонокардіограма містить крім інформативних багато неінформативних параметрів, які набагато збільшують обсяг оброблюваних даних, але не мають істотного значення для діагностики. Перспективним способом вилучення інформативних параметрів є частотно-часове представлення сигналу з наступною обробкою.

**Частотно-часове представлення сигналів.** Для аналізу періодичних сигналів, якими є сигнали серця  $S1$  і  $S2$ , зазвичай застосовують перетворення Фур'є, яке доцільно здійснювати за швидкими алгоритмами. За допомогою перетворення Фур'є можна визначити частотний склад фонокардіограми, виділити тони і шуми. Проте перетворення Фур'є за своєю суттю призначене для аналізу лише стаціонарних сигналів, тобто сигналів з незмінними у часі характеристиками. Характеристики фонокардіограми змінюються у часі і залежать від багатьох чинників. Зміни параметрів фонокардіограми у часі є важливими діагностичними ознаками, наприклад інтервал часу між компонентами звуку  $S2$  дає змогу діагностувати певні захворювання серця. Отже, для вилучення повної інформації з фонокардіограми її слід аналізувати як у частотній, так і у часовій області. Для аналізу сигналів у частотно-часовій області застосовується короткотермінове перетворення

Фур'є, здатне аналізувати виділену спеціальною ваговою функцією (вікном) частину сигналу на певному інтервалі часу. Зміщуючи вагову функцію вздовж аналізованого сигналу можна отримати частотно-часовий спектр сигналу. Завдяки переходу з частотної у частотно-часову область аналізу короткотермінове перетворення Фур'є дає змогу отримати значно більше діагностичних ознак і тим самим підвищити рівень діагностики. Недоліком короткотермінового перетворення Фур'є є однакова роздільна здатність по частоті на всіх частотах аналізу.

Аналіз фонокардіограм з керованою роздільною здатністю по частоті і за часом доцільно здійснювати за допомогою вейвлет-аналізу [5]. На відміну від Фур'є-аналізу, де у якості опорних функцій використовуються синусні і косинусні функції нескінченної тривалості, у вейвлет-аналізі у якості опорних використовуються коливальні функції скінченної тривалості і нульовим середнім значенням, які дістали назву вейвлетів (англ. wavelet – маленька хвиля). Вейвлет-перетворення сигналу  $x(t)$  описується співвідношенням

$$W(s, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t - \tau}{s}\right) dt, \quad (2)$$

де  $\psi_{s,\tau}(t) = (1/\sqrt{s}) \cdot \psi((t - \tau)/s)$  – опорна вейвлет-функція;  $\psi(t)$  – материнська функція;  $s, \tau$  – параметри масштабування і зсуву.

Опорні функції вейвлет-аналізу – вейвлети отримують розтягуванням (стискуванням) і зміщенням у часі основної опорної функції, так званої материнської функції (англ. mother function). Для проведення вейвлет-аналізу сигналів дослідниками було запропоновано кілька видів материнських функцій: Morlet, Meyer, Mexican hat тощо.

Розтягування (стискування) материнської функції керується параметром  $s$  (англ. scale-масштаб) і еквівалентно переміщенню аналізу по частотній осі. При розтягуванні материнської функції збільшується її період коливання, тобто зменшується частота аналізу і виділяються низькочастотні компоненти сигналу, а при стискуванні – навпаки, зменшується період коливань, збільшується частота і виділяються високочастотні компоненти. Зміщення материнської функції вздовж осі часу забезпечує роздільну здатність аналізу за часом.

Для підтвердження теоретичних положень у MathLab/Simulink були проаналізовані фонокардіограми здорових пацієнтів і з різними відхиленнями за допомогою перетворення Фур'є, короткотермінового перетворення Фур'є і вейвлет-перетворення.

**Висновки.** Застосування неінвазивного і відносно недорогого методу діагностики діяльності серця на основі аналізу фонокардіограм за допомогою сучасних інформаційних технологій і реалізованих на базі цифрової і мікропроцесорної техніки має значні переваги порівняно з іншими методами. Порівняльний аналіз результатів показує, що вейвлет-аналіз дає змогу вилучати найбільш повну інформацію з фонокардіограм, що допомагає діагностувати відхилення від норми не тільки загального серцевого ритму (тахікардія, брадикардія), а й такі патології як стенози, недостатність аортального клапана тощо.

**Список літератури:** 1. *Tavel M.E.* Cardiac auscultation: a glorious past-and it does have a future? / *M.E. Tavel* // *Circulation*. – 2006. – Vol. 13 (9). – P. 1255-1259. 2. *Rangayyan R.M.* Phonocardiogram Signal Analysis: A review / *R.M. Rangayyan, R.J. Lehner* // *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering*. – 1988. – Vol. 15 (3). – P. 211-236. 3. *Obaidat M.S.* Phonocardiogram signal analysis: techniques and performance comparison / *M.S. Obaidat* // *J. Med. Eng. Technol.* – 1993. – Vol. 17 (6). – P. 221-227. 4. *Durand L.-G.* Digital signal processing of the phonocardiogram: review of the most recent advancements / *L.-G. Durand, P. Pibarot* // *Critical Review in Biomedical Eng.* – 1995. – Vol. 23. – P. 163-219. 5. *Dokur Z.* Heart sound classification using wavelet transform and incremental self-organizing map / *Z. Dokur, T. Ölmez* // *Digital Signal Processing: A Review Journal*. – 2008. – Vol. 18. – P. 951-959. 6. *Jeyarani A.D.* Feature Extraction from Heart sound signal for Anomaly Detection / *A.D. Jeyarani, J. Singh Thomas* // *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*. – 2011. – Vol. 11 (9). – P. 132-140. 7. *Debbal S.M.* Computerized Heart Sounds Analysis / *S.M. Debbal* // *Discrete Wavelet Transforms – Biomedical Applications*. – 2011. – P. 63-90. 8. *Wood J.C.* Time-frequency transforms: a new approach to first heart sound frequency dynamics / *J.C. Wood, A.J. Buda, D.T. Barry* // *IEEE Trans. Biomed. Eng.* – 1992. – Vol. 39 (7). – P. 730-740. 9. *Debbal S.M.* Features for Heartbeat Sound Signal Normal and Pathological / *S.M. Debbal, F. Bereksi-Reguig* // *Recent Patents on Computer Science*. – 2008. – № 1. – P. 1-8. 10. *Ari S.* Detection of cardiac abnormality from PCG signal using LMS based least square SVM classifier / *S. Ari, K. Hembram, G. Saha* // *Expert Systems with Applications*. – 2010. – Vol. 37. – P. 8019-8026.

Надійшла до редакції 25.03.2013

Статтю представив д-р техн. наук, проф. НТУУ "КПІ" Сільвестров А.М.

УДК 621.317

**Звуковые сигналы деятельности сердца и их анализ в частотно-временной области / Поворознюк Н.И., Черный К.В.** // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 156 – 161.

Исследование звуковых сигналов деятельности сердца (аускультация) является одним из эффективных и недорогих методов ранней диагностики заболеваний сердечнососудистой системы. Звуки сердца (фонокардиограмма) — это низкочастотный, многокомпонентный, нестационарный сигнал, поэтому анализ таких сигналов целесообразно проводить в частотно-временной области. Применение вейвлет-преобразования позволяет повысить разрешающую способность и получить важные информационные характеристики. Библиогр.: 15 назв.

**Ключевые слова:** аускультация, фонокардиограмма, вейвлет-преобразование.

UDC 621.317

**Heart activity sound signals and their analysis in the frequency-time domain**  
/ **Povorozniuk N.I., Chornyi K.V.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 156 – 161.

Research heart activity sound signals (auscultation) is one of the most effective and inexpensive methods for early diagnosis of diseases of the cardiovascular system. Heart Sounds (fonokardiohrama) is a low-frequency, multicomponent, non-stationary signals, so the analysis of such signals should be doing in the frequency and time domain. Application of wavelet transform to analyze the phonocardiogram allows to increase the resolution and to obtain important information characteristics. Refs.: 15 titles

**Keywords:** auscultation, phonocardiogram, wavelet transform.