

**О.П. ДАВИДЕНКО**, к.т.н., професор НТУ <<ХПІ>;  
**С.В. МІШИНА**, магістр НТУ <<ХПІ>

## **АНАЛІЗ ФОНОКАРДІОГРАФІЧНИХ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ**

У статті розглянуті недоліки перетворення Фур'є при обробці фонокардіографічних даних. У зв'язку з нестаціонарністю акустичного сигналу серця пропонується використання вейвлет-перетворень. Обговорюється проблема вибору оптимальної вейвлет-функції для аналізу ФКГ. Пропонується використання пакету LabView у якості програмного забезпечення. Наведені результати досліджень на прикладі ФКГ здорового та хворого серця. Застосування ВП збільшує кількість діагностично важливої інформації, виявляючи ті особливості сигналів, які не можуть бути зареєстровані такими методами, як аускультация і фонокардіографія.

**Ключові слова:** фонокардіограма, фонокардіографія, нестаціонарний сигнал, вейвлет-перетворення, перетворення Фур'є, скалограма, обробка.

**Вступ.** Фонокардіографія (ФКГ) – неінвазивний безпечний та не маючий ніяких протипоказань метод графічної реєстрації тонів та шумів серця, найбільше використовується для діагностики вроджених та набутих пороків серця. ФКГ має великі перспективи застосування в системах дистанційного біомоніторингу та системах домашньої медицини, що особливо актуально для хворих із серцевою недостатністю, які потребують своєчасних і регулярних обстежень. Тому все більш актуальними є дослідження з розробки алгоритмів отримання якісних кардіографічних сигналів.

Аналіз ФКГ дозволяє:

- Розраховувати тривалості тонів, виявляти додаткові тони (Ш, IV, V);
- Проводити порівняльну оцінку форми і амплітуди I і II тонів в різних точках реєстрації;
- Виявляти розщеплення, роздвоєння тонів, клацання відкриття мітрального клапана і т. д. ;
- Виявляти і проводити характеристику шумів серця в різних діапазонах частот;
- Визначати співвідношення між електричною, механічною та електромеханічною систолами і т. д.

ФКГ сигнал містить не тільки корисну інформацію, а й шумові складові, джерелами якої є електроміографічні потенціали скелетних м'язів, артефакти взаємодії мікрофона з прилеглою тканиною, електронний шум підсилювачів і фоновий (мережевий) шум. Обробка фонокардіограм передбачає, зокрема, завдання фільтрації зовнішніх шумів та шумів організму людини [1].

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** При спектральній фонокардіографії синхронно реєструються зміни амплітуди звукових коливань в декількох відносно вузьких діапазонах частот. Оцифрований сигнал ФКГ за допомогою

дискретного перетворення Фур'є аналізується в амплітудно-частотній області. Така спектральна ФКГ дає можливість оцінити повний спектр сигналу, але не дозволяє визначати локальну спектральну складову окремої ділянки ФКГ [2]. Даний вид аналізу ФКГ-сигналу, здійснюваний в частотній області, часто не дає лікареві необхідну і достовірну інформацію про функції серця через невизначеність часового інтервалу (Фур'є-аналіз дає уявлення тільки про частотний діапазон сигналу) і, тому, може виявитися не досить зручним для правильної постановки діагнозу. Перетворення Фур'є (ПФ) дає інформацію тільки про частоту, яка присутня в сигналі і не дає ніякої інформації про те, в який проміжок часу ця частота присутня в сигналі. Для вирішення цієї проблеми спочатку були запропоновані способи, засновані на застосуванні ПФ з часовим вікном [3]. При розвитку теорій було визначено, що крім віконного ПФ можна ввести спеціальний набір базисних функцій, які з точки зору спектрально-часового розрізнення є більш кращими в порівнянні з віконним перетворенням Фур'є. Такі функції були визначені у вигляді «вейвлетів» [4] в роботах Гросмана і Морле на прикладі безперервного вейвлет-перетворення (ВП). У процесі розвитку даних підходів були розроблені дискретні вейвлет-функції. ВП було введено в безперервному і в дискретному виглядах [4,5]. Ці форми перетворення мають ряд суттєвих відмінностей за способами чисельного розрахунку і по набору застосовуваних вейвлет-базисів.

**Мета дослідження, постановка задачі.** Серцеві тони є складними і дуже нестационарними сигналами за своєю природою. Вони відзначаються основними низькочастотними характеристиками - тонами і високочастотними характеристиками - шумами, що з'являються при різних захворюваннях. З цієї причини застосування ВП для обробки звукових сигналів серця є перспективним напрямком досліджень. ВП, на відміну від ПФ, засноване на застосуванні набагато більшої різноманітності базисних функцій (сімейств базисних функцій), властивості яких орієнтовані на вирішення різних завдань. У даній роботі запропоновано застосування ВП до обробки сигналу ФКГ, оскільки даний метод досить широко використовується в останній час, даючи гарні результати, а крім того, форми деяких материнських вейвлетів подібні до форми ФКГ-сигналу.

**Матеріали досліджень.** Вимоги, що пред'являються до характеристик реєструючого обладнання, дозволяють використовувати звукову карту комп'ютеру для створення варіанта макету реєстратора тонів та шумів серця. У якості інструменту для проведення вейвлет-аналізу був використаний програмний пакет LabView 2011 фірми National Instruments. Даний продукт має прикладну спрямованість, що дозволяє отримувати результати наукових та інженерних досліджень, не вдаючись в особливості програмування. Створення виконуючої програми являє собою вибір необхідних компонент та з'єднання їх між собою в залежності від поставлених завдань [6].

**Результати досліджень.** Для експериментального дослідження були взяті ділянки ФКГ з патологією у вигляді раннього аортального стенозу та з нормальною роботою серця (рис.1).

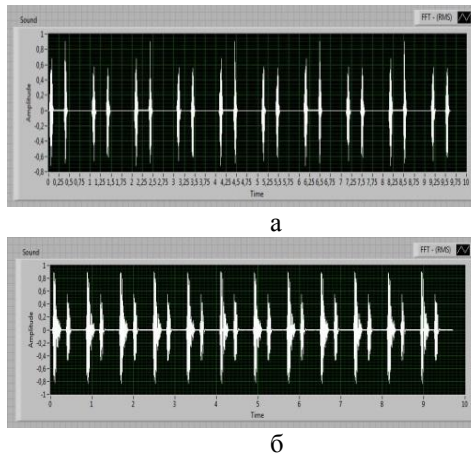
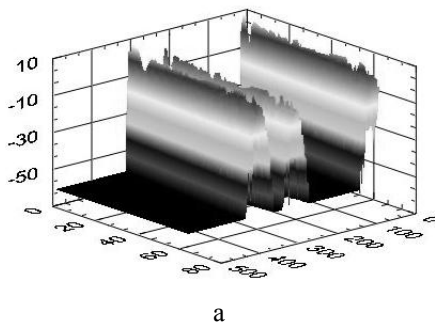
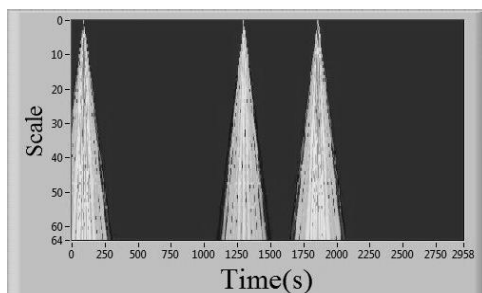


Рис.1 – ФКГ: а – здорової людини, б – при ранньому аортальному стенозі

Задля виявлення впливу типу базисної вейвлет-функції на якість фільтрації ФКГ сигналу були обрані вейвлети Хаара, Сімлета, мексиканський капелюх, Морле, Мейера, Р. Койфмана - койфлети, Добеши та біртогональні вейвлети різних порядків.

**Висновки.** Найбільш доцільними (з міркувань подібності з основними тонами ФКГ-сигналу) материнськими вейвлетами для правильного і об'єктивного аналізу ФКГ-сигналів виявилися: вейвлет Мейера, Добеши db8, сімплет sym7, вейвлет Морле, біртогональний 3.7, біртогональний 3.9. На рис.2 представлені результати обробки ФКГ здорової людини за допомогою вейвлету Морле.

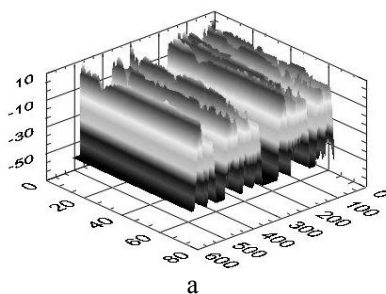




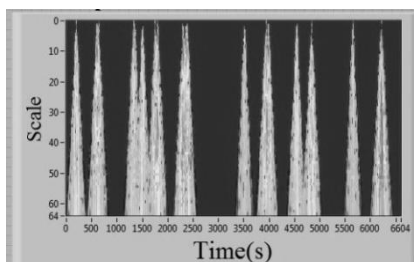
б

Рис. 2 – Результати обробки ФКГ за допомогою вейвлету Морле: а – тримірний графік ВП, б – скалограма ВП при нормальній роботі серця.

На рис.3 представлені результати обробки ФКГ людини хворої на аортальний стеноз за допомогою вейвлету Морле.



а



б

Рис. 3 – Результати обробки ФКГ за допомогою вейвлету Морле: а – тримірний графік ВП, б – скалограма ВП при при ранньому аортальному стенозі.

Даний вейвлет має одну особливість, яка полягає в тому, що для одного і того ж значення масштабу вейвлет-функція може бути локалізована як в низькочастот-

ній області, так і високочастотній області при відповідній зміні значення  $w$ . Результати вейвлет-обробки представляються у вигляді амплітудної залежності сигналів, що відображаються кольором на площині «масштаб (scale) - час (time)» (колір несе інформацію про рівень вейвлет-коефіцієнтів). При цьому малі масштаби відповідають високим частотам, а великі - низьким. Для більшої наочності у верхній частині кожного малюнка представлена тривимірною поверхню, що відбиває дані скалограмми. Тривимірні малюнки дозволяють докладніше розглянути особливості отриманих даних. На отриманих зображеннях можна спостерігати періодичне виникнення і затухання тонових і шумових компонентів, відповідне ритму роботи серця. При цьому сигнали з патологіями містять додаткові, відсутні в нормальному сигналі компоненти, які можуть характеризувати тяжкість і вид захворювання. При патологіях ми можемо спостерігати, що ділянки серцево-судинної системи, уражені захворюваннями, проявляються на скалограмі і видають акустичні коливання певного частотного діапазону в певні моменти часу.

Таким чином, застосування ВП збільшує кількість діагностично важливої інформації, виявляючи ті особливості сигналів, які не можуть бути зареєстровані такими методами, як аускультация і фонокардіографія. А використання такого програмного забезпечення як LabView значно полегшує процес збору та аналізу серцевих сигналів. Для збільшення ефективності обробки отриманих даних, пропонується для дослідження ФКГ сигналу використовувати комплексний аналіз, що складається з ПФ та ВП, це надасть можливість усунути зайві шуми і підвищити інформативність отриманого сигналу.

**Список літератури:** 1. Рانгайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Пер. с англ. под ред. А.П. Немирко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 440с. 2. Обробка фонокардіографічного сигналу на основі wavelet технологій / Дацок О.М., Вітанова С.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – № 24. – С. 36 – 41. 3. Астафьева, Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н.М.Астафьева // Успехи физических наук. – 1996. – № 11. – С. 1145. 4. Malla, S. A wavelet tour of signal processing / S. Malla. - San Diego: Academic press, 2005. – 577 с. 5. Добеші, І. Десять лекцій по вейвлетам / І. Добеші. – Іжевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с. 6. Останин С.А. LabVIEW в биомедицине. — Барнаул: Изд-во ГОУ ВПО «Алтайский государственный медицинский университет», 2009.-226с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Rangajjan R.M. *Analiz biomedicinskih signalov. Prakticheskij podhod* / Per. s angl. pod red. A.P. Nemirko. – M.: FIZMATLIT, 2007. – 440p. 2. Dacok O.M. *Obrobka fonokardiografichnogo signalu na osnovi wavelet tehnologij* / O.M. Dacok, S.O. Vitanova // Visnyk NTU "HPI". Tematichnyj vypusk Informatyka i modeljuvannja. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2008. – No 24. – P. 36 – 41. 3. Astaf'eva N.M. *Vejvlet-analiz: osnovy teorii i primery primenenija* / N.M. Astaf'eva // Uspehi fizicheskikh nauk. – 1996. – No 11. – P. 1145. 4. Malla S. *A wavelet tour of signal processing* / S. Malla. - San Diego: Academic press, 2005. – 577p. 5. Dobeshi I. *Desjat' lekcij po vejvletam* / I. Dobeshi. – Izhevsk: NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika», 2001. – 464 p. 6. Ostanin S.A. *LabVIEW v biomedicine*. — Barnaul: Izd-vo GOU VPO «Altajskij gosudarstvennyj medicinskij universitet», 2009.-226p.

Надійшла (received) 30.03.2015