

# СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ТОНАЛЬНИХ СИГНАЛІВ СЕРЦЯ ЛЮДИНИ

*Ярослав Драган, Богдан Яворський, Галина Осухівська*

Кафедра біомедичних систем,

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя,

вул. Руська 56, м.Тернопіль, Україна, 282001

Тел.: +(0352) 22-4133

Факс: + (0352) 25-4983

E-mail:yavorsky@politech.ternopil.ua

Описано систему відбору і дослідження тональних сигналів серця людини. Наведено інваріанти тонів, отриманих за допомогою поданої системи, що дозволяє ефективніше оцінювати стан серцевої діяльності людини.

## ВСТУП

Стан роботи серця оцінюють за сигналами, які можна відібрати різними методами. Кожен з цих видів сигналів (викликані потенціали, пружні коливання, звук, ультразвук та ін.) несе інформацію про стан тої чи іншої структури серця. Особливий інтерес викликають акустичні (тональні) сигнали, які поки що мало досліджуються з тієї причини, що необхідні відповідна апаратура і модель, які б враховували всі специфічні характеристики сигналу.

Тони серця – це коливання, які лежать в смузі частот до 100-150 Гц. Реєструють тони серця за допомогою фонокардіографії (ФКГ), яка дає інформацію про звукові явища, що супроводжують відкриття і закриття клапанів.

Детальна оцінка тональних сигналів вимагає візуалізації, для якої необхідно вибрати фінітні, інваріантні характеристики, такими для певних класів сигналів є спектральні. Саме тому спектральна фонокардіографія (СпФКГ) є інформативнішою. За допомогою СпФКГ лікарі оцінюють наявність високочастотних складових в тому чи іншому серцевому тоні. Але для ранньої діагностики таких відомостей недостатньо. В такому разі для розв'язання поставленої проблеми виникає необхідність створення системи досліджень, за допомогою якої можлива була б рання діагностика захворювань клапанів серця людини.

## 1. ВІДБІР ТОНАЛЬНИХ СИГНАЛІВ СЕРЦЯ ЛЮДИНИ

Для відбору тонального сигналу серця використано стандартні методи.

Для зняття тональних сигналів серця використано мікрофон МФ-І призначений для перетворення звукового тиску, який створює коливання стінки грудної клітки в електричний сигнал і фонокардіографічний блок підсилювача. Фонокардіографічний канал призначений для

підсилення електричного сигналу, який відповідає тонам і шумам серця, які перетворюються фономікрофоном в електричний сигнал.

Система відбору фонокардіографічного сигналу (тонів серця) має вигляд: 1) мікрофон МФ-І; 2) блок підсилювача фонокардіографічний; 3) АЦП звукового сигналу; 4) ЕОМ. На рис. 1. показана функціональна схема відбору тонального сигналу, а на рис. 2. - блок-схема дослідження таких сигналів.

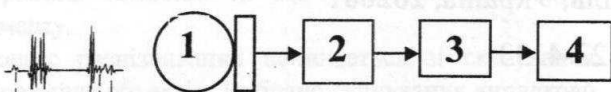


Рис.1. Функціональна схема відбору тонів серця людини:

- 1 - мікрофон;
- 2 - фонокардіографічний підсилювач;
- 3 - аналогово-цифровий перетворювач (АЦП);
- 4 - електронно-обчислювальна машина (ЕОМ).

## 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТОНІВ СЕРЦЯ ЛЮДИНИ

Спектри тонів мають характерне розміщення зі стабільними, вузькими тональними смугами, які розподілені в широкій смузі частот. В діапазонах частот спектрів практичних сигналів з врахуванням реального часу спектральний аналіз реалізують використанням засобів цифрової обчислювальної техніки.

Тон як звуковий сигнал є періодичним і випадковим. Виходячи з фізичної природи породження, його можна вважати періодично нестационарним зі скінченною за період корельованості середньою потужністю. Тому він відноситься до класу  $\pi$ . Для опису такого сигналу використаємо модель у вигляді періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП) [1-4].

Розглянувши спектри окремо кожного тону сигналу по всій вибірці помітно деяку мінливість.

Серед наявної мінливості потрібно виявити закономірності і знайти інваріантні ознаки.

Виникає перша задача - аналіз тонів за їх виглядом. Це можна зробити за допомогою Фур'є-обробки. При розгляді спектру тонального сигналу добре видно розподіл частот і максимальної енергії сигналу, що дає інформацію про наявність того чи іншого відхилення в структурі серця.

Математичним апаратом для розв'язку таких задач використано спектрально-кореляційну теорію випадкових процесів.

Моделлю ритмічних сигналів (коливань зі стохастичною повторюваністю), до яких відносяться і тональні, служить ПКВП  $\xi(t)$ , математичне

сподівання якого  $m(t) = E\xi(t)$  і кореляційна функція

$$r(t, s) = E\dot{\xi}(t)\dot{\xi}(s), \quad \text{де}$$

$\dot{\xi}(t) = \xi(t) - m(t)$ , є періодичними функціями часу з періодом  $T$ , який називають періодом корельованості.

Коли ПКВП класу  $\pi$  трактувати як гармонізовний (має гармонічний розклад зі скінченною сумарною дисперсією його складових гармонік), то з означення класу  $\pi^T$  виходить, що корельованими з даною гармонікою будуть виключно гармоніки, частоти яких творять арифметичну прогресію з першим елементом  $\lambda$  і з

різницею  $\frac{2\pi}{T}$ , тобто гармоніки частот вигляду

$$\mu = \lambda + j\frac{2\pi}{T}, \quad j \in Z, \quad \text{або інакше спектральна}$$

біміра цього процесу зосереджена на множині прямих паралельних до бісектриси 1-3 квадрантів площини і таких, що перетинають осі координат у точках  $j\frac{2\pi}{T}$ ,  $j \in Z$ . А це показує, що сукупність

ідеальних смугових фільтрів  $\{\Phi_k^\Lambda, k \in Z\}$  із

смугами пропускання  $\left[ \left( k - \frac{1}{2} \right) \Lambda, \left( k + \frac{1}{2} \right) \Lambda \right)$

розбиває ПКВП на модульовані частотами  $k\Lambda$  вузькосмугові (з фінітним, зосередженим на

відрезках  $\left[ \left( k - \frac{1}{2} \right) \Lambda, \left( k + \frac{1}{2} \right) \Lambda \right)$  спектром)

стаціонарні та стаціонарно пов'язані випадкові процеси, які творять векторний процес стаціонарних з фінітним спектром компонент ПКВП.

Оцінки спектральних характеристик отримують методом фільтрації.

Оцінка компонента для математичного сподівання:

$$\hat{m}_k = \int_{-\theta}^{\theta} \frac{1}{2\theta} \left\{ \left( \Phi_k^\Lambda \xi \right) (t) \right\} e^{-ik\Lambda t} dt,$$

де  $k \in Z$ ;  $\theta$  - довжина відрізка реалізації.

Відповідно оцінка для симетричного кореляційного компонента:

$$\hat{D}_{kj}(u) = \int_{-\theta}^{\theta} \frac{1}{2\theta} \left\{ e^{-i\Lambda(j-k)t} \left( \Phi_k^\Lambda \xi \right) (t+u) \overline{\left( \Phi_k^\Lambda \xi \right) (t)} e^{-ik\Lambda u} \right\} dt,$$

де  $u = t - s$ .

Оцінки характеристик ПКВП фільтровим методом в такому випадку будуть для кореляційної функції:

$$\hat{r}_\xi^{(\theta)}(t, s) = \sum_{k=1, N} \hat{D}_{kj}(t-s) e^{-i\Lambda(kt-js)};$$

і для математичного сподівання:

$$\hat{m}_\xi^{(\theta)}(t) = \sum_{k=1, N} \hat{m}_k e^{-ik\Lambda t},$$

де оцінка для симетричного кореляційного компонента буде з імовірністю 1 незсунутою

оцінкою елемента кореляційної матриці стаціонарних компонент з фінітним спектром ПКВП, а оцінка компонент матсподівання є оцінками матсподівань стаціонарних компонент.

При багатоканальній обробці сигналу при крутих фронтах амплітудно-частотної характеристики в реальному масштабі часу використовують рекурсивні цифрові фільтри [5,6].

Для реалізації гребінки смугових фільтрів використовуються наступні структурні одиниці: а) ланка; б) смуговий фільтр; в) гребінка смугових фільтрів. Смуговий фільтр реалізується за допомогою ланок з різними значеннями коефіцієнтів. Гребінки часових фільтрів реалізуються за допомогою смугового фільтра при різних значеннях наборів коефіцієнтів. Таке розв'язання задачі дозволяє ефективно використовувати можливості цифрової обробки сигналів при мінімумі обладнання.

Добре відомим методом розрахунку цифрових фільтрів є метод білінійного перетворення. Його перевага - розрахунок цифрового фільтра можна провести за заданим фільтром-прототипом [6].

Отже, першим основним етапом дослідження сигналу є відбір кожного тону окремо, який здійснюється на ЕОМ за допомогою спеціально створеної для цієї мети програми. Для визначення смуг локалізації створюють математичну модель у вигляді періодично корельованого випадкового процесу [2-4] і визначають статистичні характеристики досліджуваного сигналу за допомогою фільтрового методу [2].

Для отримання інваріантів пропускають отриманий спектр сигналу через гребінку вузькосмугових цифрових фільтрів і візуалізують результат на дисплеї ЕОМ. Практично інваріанти отримаємо за допомогою рекурсивного алгоритму цифрової фільтрації [5,6]. Наступний і завершальний етап - візуалізація результатів на екран.

Блок-схема дослідження тональних сигналів серця людини показана на рис.2.





Рис.2. Блок-схема дослідження тонального сигналу.

Згідно з описаною методикою отримані інваріанти тонального сигналу, які зображені на рис.3.

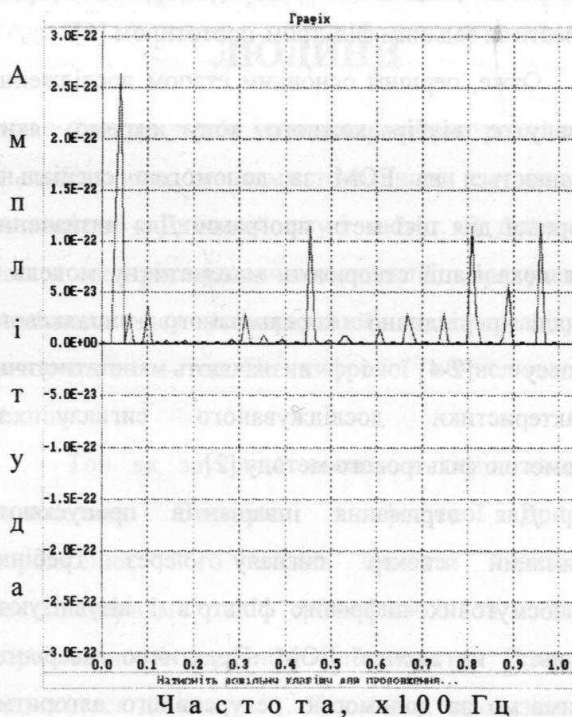


Рис.3. Інваріанти тонального сигналу.

## ВИСНОВКИ

Для отримання інваріантів за поданою методикою затрачається час на зняття сигналу і комп'ютерну обробку. Час, який використовує лікар для розшифрування фонокардіограми, в основному залежить від ступеня його кваліфікації і досвіду, тому що при цьому необхідно враховувати багато різноманітних варіантів фонокардіограм і зміст різних її ділянок.

Запропонована система досліджень, яка використовує формалізовані і автоматизовані процедури дозволяє прискорити оцінювання стану серця.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Драган Я.П. *Модели сигналов в линейных системах*. -Киев: Наукова думка. -1972. -302с.
2. Драган Я.П. *Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів*. -Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем. -1997. -361с.
3. Драган Я.П. *Свойства отсчетов периодически коррелированных случайных процессов*.//Отбор и передача информации. -1972. -№33. -С.9-12.
4. Драган Я.П., Рожков В.А., Яворский И.Н. *Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов*. -Ленинград: Гидрометеиздат. -1987. -319с.
5. Осухівська Г.М. *Вибір фільтру для статистичного аналізу тональних сигналів*.//Праці ІІІ всеукр. міжн. конф. «УкрОБРАЗ'96». -Київ. -1996. -С.220-222.
6. Яворский Б.И., Олексий Б.Б., Демченко В.Е. *Имитационная модель цифровых рекурсивных полосовых фильтров*.//Исследование в области измерения параметров пространственных полей. -Львов: Изд-во ВНИИМИУС. -1985. -С.14-21.