

УДК 616.12:519.218

## Метод комп'ютерного опрацювання електрокардіосигналу під впливом дозованого фізичного навантаження

О. В. Гевко, В. Л. Дунець, М. О. Хвостівський, Є. Б. Яворська  
*Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя*

Опрацьовано електрокардіосигнал як періодично корельовану випадкову послідовність синфазним методом, що дає змогу оцінити стан серцево-судинної системи людини під впливом дозованих фізичних навантажень. На основі результатів комп'ютерного опрацювання в середовищі Matlab 7.0 встановлено, що отримані оцінки спектральних компонент є інформативно-інваріантними ознаками електрокардіосигналу, за допомогою яких, можна визначити дисфункцію серцево-судинного гомеостазу при дозованому фізичному навантаженні.

**Ключові слова:** *фізичне навантаження, електрокардіосигнал, математична модель, синфазний метод, спектральні компоненти*

Обработано электрокардиосигнал как периодически коррелированную случайную последовательность синфазным методом, что дало возможность оценить состояние сердечнососудистой системы человека под влиянием дозированных физических нагрузок. На основе результатов компьютерной обработки в среде Matlab 7.0 установлено, что полученные оценки спектральных компонент является информативно-инвариантными признаками электрокардиосигналов, с помощью которых, можно определить дисфункцию сердечнососудистого гомеостаза при дозированной физической нагрузке.

**Ключевые слова:** *фи О. В. Гевко, ская нагрузка, электрокардисигнал, математическая модель, синфазный метод, спектральные компоненты.*

Electrocardiosignal is processed as the periodically correlated casual sequence by a synphase method that allows to estimate the state of the cordially-vascular system of man under influence of the dosed physical activity. On the basis of results of computer processing it is set in the environment of Matlab 7.0, that the got estimations of spectral components is the informing-invariant signs of electrocardiosignal, by which, it is possible to define dysfunction of cordially-vascular homoeostasis at the dosed physical activity.

**Key words:** *physical activity, elektrokardisyhnal, mathematical model, synfaznyy method, spectral components.*

### 1. Вступ

Зміна електрокардіосигналу (ЕКС) під впливом дозованих фізичних навантажень є універсальним методом контролю і регулювання інтенсивності фізичних навантажень та слугує для виявлення патології серцево-судинної системи (ССС) [1].

На сьогодні у медичній практиці для діагностики змін стану ССС під впливом дозованих фізичних навантажень використовують комп'ютерні автоматизовані ергометричні кардіосистеми (КАЕК) [2] ("Кардіолаб" ХАІ Медика, Україна; "Полі-спектр-тм" Нейро-софт, Росія; "Easy ECG Stress" Ates medica deice S.R.L., Італія; "Cortex MetaLyzer" Cortex, Німеччина; "EN-Stair" Enraf-nonius, Голландія; "Schiller" Schiller AG, Швейцарія; "E-Bike" General electric, США, та інші). Проте, розширення можливостей діагностики

функціонального стану ССС з використанням КАЕК, все ще залишається актуальною проблемою сучасної медицини.

З літературних джерел відомо [3,4], що в КАЕК програмне забезпечення базується на методах опрацювання досліджуваних ЕКС, які розробляються на основі математичних моделей. Найпростіші методи опрацювання ЕКС ґрунтуються на дослідженні амплітудно-часових характеристик екстремальних точок (максимумів і мінімумів). За математичну модель в такому випадку використано детерміновану функцію, яка описує ЕКС у межах одного періоду. Зважаючи на те, що ЕКС за своєю природою має випадковий характер, особливо при дозованих фізичних навантаженнях, побудова його математичної моделі повинна ґрунтуватися на стохастичному підході. Перші кроки у цьому напрямку було зроблено Лупенком С.А., Литвиненком Я.І., Щербаком Л.М. [3,4]. Математичною моделлю ЕКС у цих роботах вважають суміш лінійних випадкових процесів та адитивну суміш стаціонарних і нестаціонарних процесів. Проте, ці стохастичні моделі ЕКС не враховують у своїй структурі статистичну взаємопов'язаність між різними циклами однієї і тієї ж реалізації, що є важливим при дослідженні змін у фазово-часовій структурі ЕКС з метою своєчасного виявлення змін у функціонуванні серцево-судинної системи людини при дозованому фізичному навантаженні.

## 2. Формулювання задачі

На базі математичної моделі ЕКС у вигляді ПКВП [5] (Драган Я.П., Дунець В.Л., Осухівська Г.М.), яка враховує у своїй структурі вище сформульовані вимоги, поставлено задачу опрацювання ЕКС при дозованому фізичному навантаженні, з використанням синфазного методу. Застосування цього методу уможливить визначення адаптивних властивостей ССС, шляхом впровадження нового класу інформативних ознак у галузь спортивної медицини.

## 3. Блок-схема комп'ютерного опрацювання електрокардіосигналу під впливом дозованого фізичного навантаження

На рис. 1 зображено експериментально зареєстрований ЕКС під час функціональної проби Мартіне (20 присідань за 30 секунд) [6].

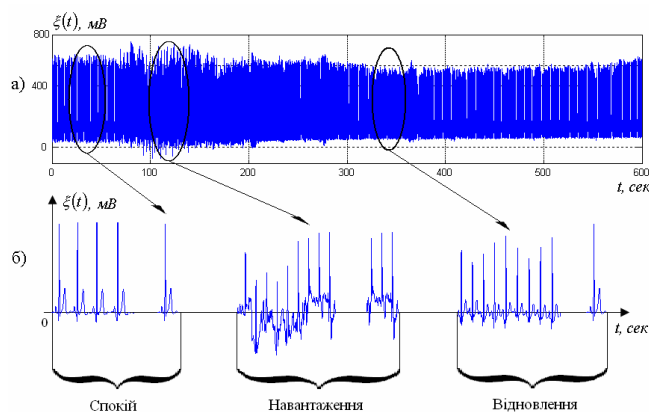


Рис.1. (а) реалізація зареєстрованого ЕКС при функціональній пробі Мартіне; (б) виділенням стадій у структурі ЕКС: спокій, навантаження, відновлення.

На рисунку відображено зміну структури ЕКС (зубці, сегменти, інтервали) впродовж часу навантаження та відновлення, що свідчить про реакцію ССС у відповідь на дозоване фізичне навантаження.

Для розв'язання поставленої задачі, побудовано блок-схему опрацювання ЕКС під час дозованого фізичного навантаження, яка зображена на рис.2.



Рис.2. Блок-схема опрацювання ЕКС під час дозованого фізичного навантаження.

Згідно до блок-схеми (рис.2), в ЕКС задається довжина вікна опрацювання (рис.3) із початковим моментом часу, яке зсувається по часовій осі з кроком  $\Delta t$ , (де  $\Delta t$  - крок дискретизації ЕКС, який рівний мінімальному значенню зсуву):

$$\xi_n(t) = \xi(t + \Delta t(n-1)), \quad t \in [0, T_g) \quad (1)$$

де  $\xi_n(t)$  -  $n$ -на вибірка із реалізації ЕКС;  $\Delta t$  - крок зсуву вибірки  $\xi_n(t)$ ,  $\Delta t = \text{const}$ , мс;  $T_g$  - довжина вибірки  $\xi_n(t)$ ,  $T_g = \text{const}$ ; мс;  $\xi(t)$  - реалізація ЕКС при дозованому фізичному навантаженні;  $T_c$  - довжина ЕКС.

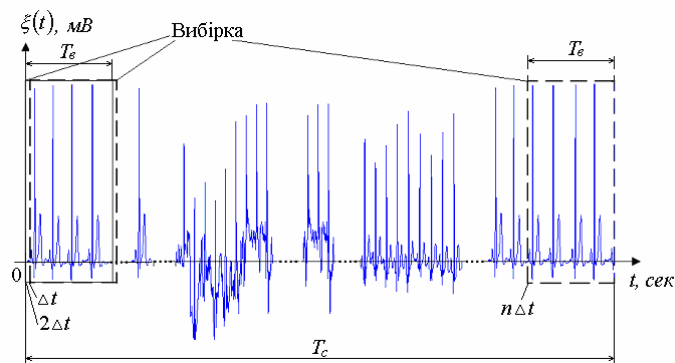


Рис.3. Формування вибірок у всій реалізації ЕКС.

З літератури, наприклад [6], відомо, що при порушеннях ритму в реалізації ЕКС потрібно реєструвати 10-15 кардіоциклів (10-15 R-R інтервалів, враховуючи, що, R-Rрівне 0,7-0,9 с), тому тривалість вибірки (вікна) вибрано рівною  $T_g = 10$  секунд.

В межах  $n$ -го вікна  $n$ -ну вибірку тривалістю  $T_g$  із усієї реалізації ЕКС опрацьовано синфазним методом.

#### 4. Синфазний метод опрацювання електрокардіосигналу як періодично корельованого випадкової послідовності

Одним із методів опрацювання ЕКС як ПКВП є синфазний метод, який базується на тому, що ЕКС через період корельованості  $T$  розбивається на послідовності синфазних значень на часових ґратках виду  $\{t_0 + kT, k \in Z\}$ , де для кожного  $t_0 \in [0, T)$  - своя ґратка, а значення на цих ґратках утворюють стаціонарні та стаціонарно-зв'язані ергодичні випадкові послідовності [7]:

$$\{\xi_n(t_0), t_0 \in [0, T)\}, \text{ де } \xi(t_0) \equiv \{\xi(t_0 + kT), k \in Z\} \quad (2)$$

За умови ергодичності послідовності  $\xi_n(t_0)$  для характеристик  $n$ -ої вибірки ЕКС справедливими є статистики:

$$\hat{b}_{\xi_n}^0(t, u) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \xi_n^0(t + u + kT) \xi_n^0(t + kT) \quad (3)$$

де  $\xi_n^0(t) = \xi_n(t) - \hat{m}_{\xi_n}(t)$  - центровані значення  $n$ -ої вибірки ЕКС  $\xi_n(t)$ ,  $\hat{m}_n(t)$  - оцінка математичного сподівання  $n$ -ої вибірки ЕКС  $\xi_n(t)$ .

Для кількісного оцінювання фазово-часової структури  $n$ -ої вибірки ЕКС в частотній області використано оцінки спектральних компонент:

$$\hat{B}_{kn}(u) = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{b}_{\xi_n}^0(t, u) \exp\left(-jk \frac{2\pi}{T} t\right) dt \quad (4)$$

де  $T$  - період корельованості 1-ої вибірки ЕКС (ССС в стані спокою),  $u$  - часовий зсув.

Блок-схему синфазного методу опрацювання компонент  $n$ -ої вибірки ЕКС зображено на рис.4.



Рис.4. Блок-схема синфазного опрацювання  $n$ -ої вибірки ЕКС.

#### 5. Результати комп'ютерного опрацювання електрокардіосигналу

Використовуючи розроблені блок-схеми (рис. 3-4) опрацьовано  $n$ -ні вибірки із реалізації ЕКС при дозованому фізичному навантаженні в стані спокою  $t=(0-10)$  с,  $t=(40-50)$  с, під час навантаження  $t=(128-138)$  с та в період відновлення  $t=(240-250)$  с,  $t=(480-490)$  с,  $t=(528-538)$  с (рис.5) з метою виявлення інформативних ознак.

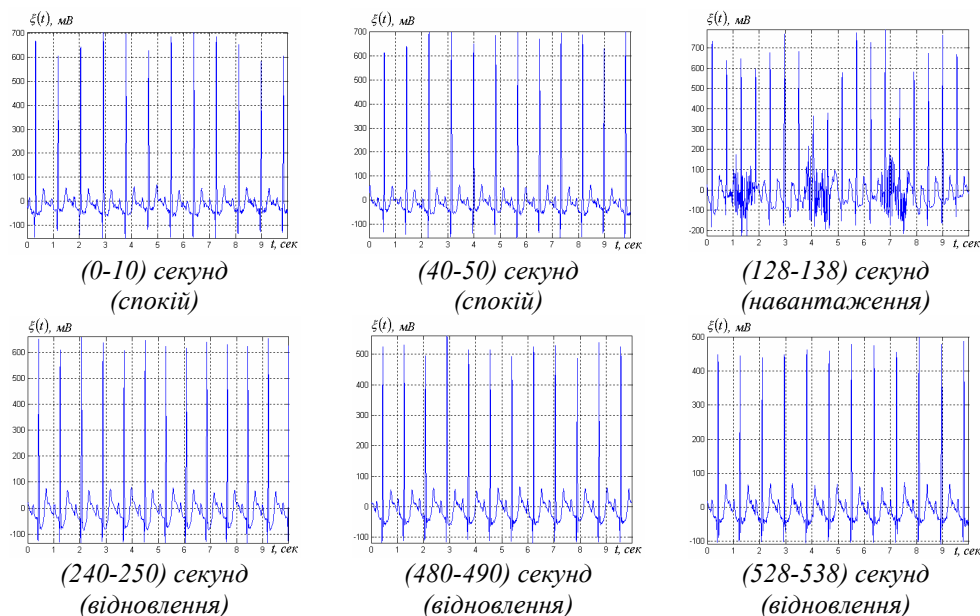


Рис.5. Вибірки із реалізації ЕКС при дозованому фізичному навантаженні.

Враховуючи блок-схему опрацювання вибірок (рис.5) із реалізації ЕКС синфазним методом (рис.3-4), отримано результати, які наведені на рис.6.

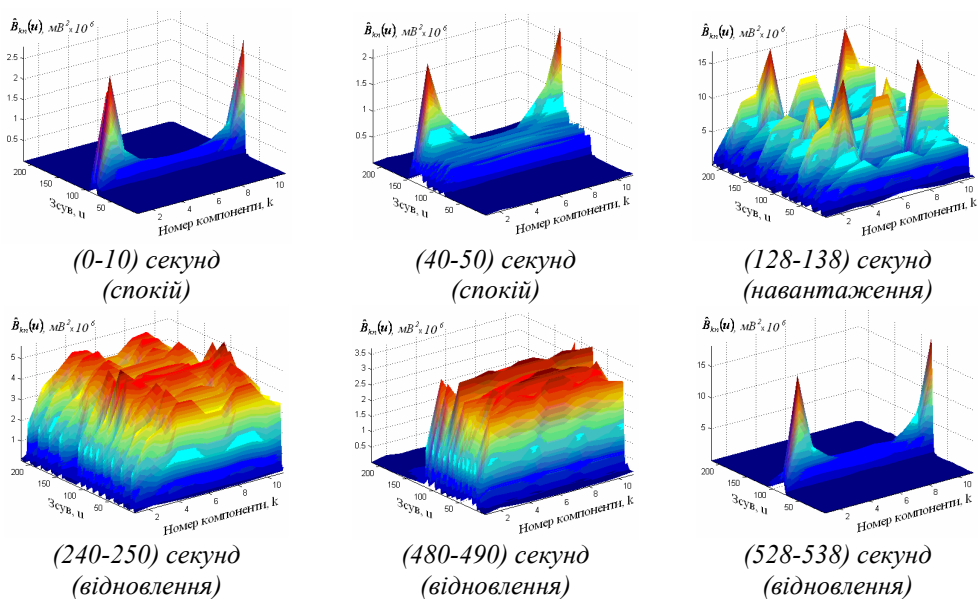


Рис.6. Вибіркові реалізації спектральних компонент вибірок із реалізації ЕКС.

Для оцінювання спектральних компонент (рис. 6) використано оцінку математичного сподівання (усереднення по часових зсувах  $u$  та номеру компонент  $k$ ):

$$M_k \{M_u \{\hat{B}_{kn}(u)\}\} = \frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{n=1}^{N_n} \hat{B}_{kn}(u), \quad n = \overline{1, N}, \quad u = \overline{1, N_u} \quad (5)$$

де  $k$  - номер спектральної компоненти,  $n$  - номер вибірки із початковим моментом часу  $t_n$ ,  $N_k$  - кількість компонент,  $N_T$  - кількість компонент,  $N$  - кількість вибірок.

Реалізації оцінок усереднених спектральних компонент вибірок ЕКС із початковим моментом часу її  $t_n$ , зображено на рис. 7.

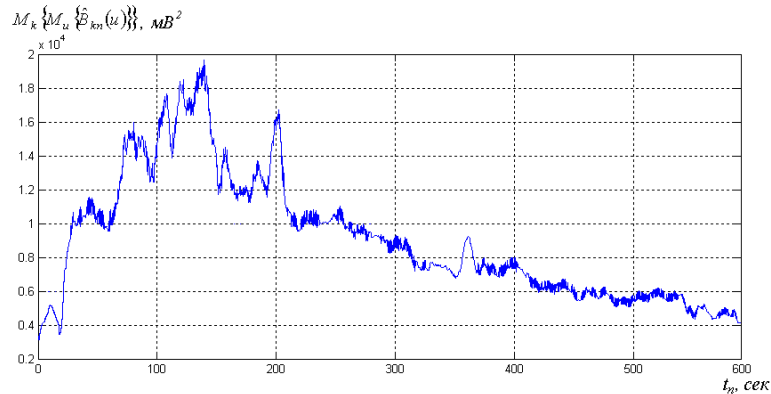


Рис.7. Реалізація усереднених спектральних  $n$ -их вибірок ЕКС із початковим моментом часу  $t_n$  при дозованому фізичному навантаженні.

В результаті аналізу одержаної реалізації усереднених спектральних  $n$ -их вибірок ЕКС (рис.7), встановлено, що починаючи із часу 210 с, спостерігається зменшення потужності відхилення у фазово-часовій структурі ЕКС (наближення потужності відхилення після навантаження до потужності перед навантаженням за значенням), що свідчить про настання моменту відновлення серцево-судинної системи після дозованого фізичного навантаження.

## 7. Висновок

В результаті комп'ютерного опрацювання електрокардіосигналу в середовищі Matlab 7.0 отримано нові інформативні ознаки - усереднені спектральні компоненти, які описують динаміку зміни потужності відхилення сигналу у часі, що є важливим при визначенні тривалості відновлення серцево-судинної системи після дозованого фізичного навантаження.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлева А.И., Граевская Н.Д. Спортивная медицина и лечебная физкультура // Руководство. - М.: Медицина. 1992. - 432 с.
2. Эргометрические системы. Режим доступа - <http://www.8a.ru/firms/a462.php>.
3. Лупенко С.А. Моделирование та методи обробки циклічних сигналів серця на базі лінійних випадкових функцій: Автореф. дис.канд.техн.наук: 01.05.02 // ТДТУ імені Івана Пулюя. - Тернопіль, 2001. - 18 с.

4. Литвиненко Я.В. Моделювання та методи визначення зонної часової структури електрокардіосигналу в автоматизованих діагностичних системах: Автореф. дис.канд.техн.наук: 01.05.02 // ТДТУ імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2006. – 23 с.
5. В.Л.Дунець, Я.П.Драган, Г.М.Осухівська Обґрунтування адекватності математичної моделі електрокардіосигналу для задачі виявлення патології // Вісник Хмельницького національного технологічного університету – Хмельницький: ХНУ. – 2007. № 2. С. 99-102.
6. В.Л.Дунець, Я.П.Драган, Г.М.Осухівська Обґрунтування адекватності математичної моделі електрокардіосигналу для задачі виявлення патології // Вісник Хмельницького національного технологічного університету – Хмельницький: ХНУ. – 2007. № 2. С. 99-102.
7. Драган Я.П. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів: – Львів, Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем, 1997. – XVI+333с.