

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

**СКОРОХІД АНТОН СЕРГІЙОВИЧ**

УДК 612.17:519.218:519. 519.688

**СТАТИСТИЧНЕ ОПРАЦЮВАННЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ ПРИ  
ФІЗИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ  
КАРДІОДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ**

163 «Біомедична інженерія»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль

2018

Роботу виконано на кафедрі біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри біотехнічних систем  
**Шадріна Галина Михайлівна,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук,  
завідувач кафедри радіотехнічних систем  
**Дунець Василь Любомирович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 28 грудня 2018 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №22 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, навчальний корпус №9, ауд. 9-507.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Від 10 до 25% випадків раптової смерті (РС) населення пов'язані з фізичним навантаженням, що робить цю проблему важливою не тільки для спортсменів, а й для населення в цілому. Особливо така негативна тенденція РС спостерігається серед дітей шкільного віку на уроках фізкультури, спортивних секціях, змаганнях і т.д., зокрема за даними Європейської Спільки Кардіологів вона становила 2,3 % на 100000 підлітків (причини РС – прихованні функціональні зміни у серцево-судинній системі (ССС)).

У зв'язку з цим забезпечення безпеки життя і здоров'я дітей, що займаються спортом, є найбільш важливим завданням при організації спортивних заходів. Сьогодні своєчасний контроль та профілактика смертності дітей у спорті під впливом на них фізичного навантаження, особливо раптової, пріоритетна не тільки для спортивних медиків, а й інших фахівців в області фізкультури і спорту.

У спортивній медицині для запобігання РС при фізичних навантаженнях використовують скринінгові обстеження, в яких для діагностування функціонального стану ССС та проявів прихованих патологій проводять за допомогою функціональних проб (ФП) у вигляді дозованого фізичного навантаження.

В Україні, зокрема у навчальних закладах, як дозоване фізичне навантаження використовують ФП Руф'є (30 присідань за 45 с.), де основним джерелом інформації про стан ССС слугує електрокардіосигнал (ЕКС) (Наказ МОЗ України та МОН України від 20.07.2009 р. за № 518/674 «Про забезпечення медико-педагогічного контролю за фізичним вихованням учнів у загальноосвітніх навчальних закладах», постанови Кабінету Міністрів України № 1318 від 08.12.2009 р. «Порядок здійснення медичного обслуговування учнів загальноосвітніх навчальних закладів»).

Зміна ЕКС при фізичному навантаженні є універсальним методом контролю і регулювання інтенсивності фізичних навантажень та слугує для виявлення патології серцево-судинної системи (ССС), яка є причинами РС.

На сьогодні у медичній практиці для реєстрації та опрацювання ЕКС при фізичному навантаженні використовують кардіодіагностичні системи (КС) («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).

Усі ці системи побудовані за принципом «біооб'єкт-математична модель-метод опрацювання ЕКС-алгоритм-програмне забезпечення-результат діагностування стану ССС». Ефективність роботи програмного забезпечення, яке забезпечує процедуру автоматичного діагностування стану ССС за ЕКС у складі КС, залежить від виду математичної моделі ЕКС, яка і визначає методи та алгоритми його опрацювання для виділення інформативно-діагностичних ознак як індикаторів стану ССС.

Методи опрацювання ЕКС у відомих КС побудовано на базі детермінованих та стохастичних математичних моделей. Серед детермінованих моделей виділено

моделі у вигляді періодичних функцій, майже періодичних функцій, система генераторів електричної природи, що описують форму одного серцевого циклу ЕКС. На цих моделях реалізовано методи часового, частотного та Вейвлет опрацювання, які кількісно відображають амплітудно-часові та частотні параметри сигналу. Проте методи, які побудовані на базі детермінованих моделей, не відображають стохастичного характеру ЕКС, як відображення функціонального стану ССС. Серед стохастичних моделей виділено адитивну суміш випадкових процесів та циклічний випадковий процес з періодичними ймовірнісними характеристиками на яких реалізовано статистичний та кореляційний метод опрацювання, результатами якого є оцінки математичне сподівання, дисперсія та кореляційна функція. Проте ці оцінки не дають змогу динаміку зміни параметрів ЕКС при фізичному навантаженні, зокрема його фазо-часових параметрів як індикатора зміни у функціонуванні ССС при фізичному навантаженні. У працях Драгана Я.П., Дунця В.Л та Дедіва Л.Є як модель ЕКС використано періодично корельований випадковий процес (ПКВП) та застосовано синфазний метод опрацювання, який уможливує відстежити динаміку зміни фазо-часових параметрів за усередненими кореляційними компонентами.

Не використання повного арсеналу ПКВП з енергетичної теорії стохастичних сигналів (ЕТСС), зокрема компонентного методу щодо опрацювання ЕКС, занижую повноту отриманих результатів.

Отже, удосконалення методів опрацювання ЕКС для кардіодіагностичних систем на базі теорії ЕТСС, зокрема компонентного методу, з метою розширення інформативності діагностики функціонального стану ССС при фізичному навантаженні є актуальною науковою задачею в галузі біомедицинської інженерії.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є розроблення методу статистичне опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні для розширення інформативності кардіодіагностичних систем.

Досягнення цієї мети вимагає розв'язання таких задач:

1. Провести огляд відомих математичних моделей електрокардіосигналу та методів їх опрацювання у кардіодіагностичних системах для обґрунтування напрямку наукового дослідження.
2. Обґрунтувати структуру математичної моделі електрокардіосигналу для розв'язання задач своєчасного виявлення змін у функціонуванні серцево-судинної системи при фізичному навантаженні.
3. Розробити метод та алгоритм статистичного опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні на основі обґрунтованої математичної моделі для розширення інформативності кардіодіагностичних систем.
4. Розробити програмне забезпечення для опрацювання експериментальних даних електрокардіосигналу з метою числення додаткових діагностичних ознак функціонального стану серцево-судинної системи при фізичному навантаженні.

**Об'єкт дослідження:** процес статистичного опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні.

**Предмет дослідження:** математична модель електрокардіосигналу при фізичному навантаженні у вигляді періодично корельованого випадкового процесу

для розширення інформативності кардіодіагностичних систем.

**Методи дослідження:** енергетична теорія стохастичних сигналів, статистична теорія прийняття рішень, цифрова обробка сигналів, пакет прикладних програм MATLAB 2011a.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

Вперше на базі компонентного методу розроблено метод статистичного опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні як періодично корельованого випадкового процесу, що уможливило розширити інформативності кардіодіагностичних систем.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у тому, що отриманні результати роботи мають можливість впровадження в кардіодіагностичні системи у вигляді програмного забезпечення для оперативного виявлення змін у функціонуванні серцево-судинної системи при фізичному навантаженні.

**Апробація.** Викладені в роботі результати доповідалися і обговорювалися на Міжнародній студентській науково-технічній конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ (м. Тернопіль, 2018р.).

**Структура та обсяг.** Дипломна робота складається із вступу, восьми розділів, висновку, викладених на 98 сторінках, списку використаних джерел 107 назв на 11 сторінках, додатків на 6 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 115 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі шляхом аналізу відомих методів електрокардіосигналу при фізичному навантаженні сформовано актуальність роботи, мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, розкрито питання апробації результатів роботи на конференціях.

У першому розділі «Аналіз відомих математичних моделей та методів опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні» проведено порівняльний аналіз відомих математичних моделей електрокардіосигналів та методів їх опрацювання, що використовуються для задач автоматизованої діагностики функціонального стану ССС при фізичному навантаженні.

В результаті опрацювання обґрунтовано необхідність досліджень математичної моделі сигналу, яка би враховувала інформативні ознаки і узгоджувалася із фізичною природою досліджуваного електрокардіосигналу, який є складним сигналом.

Враховуючи механізм породження електрокардіосигналу і той факт, що для відомих задач розпізнавання функціонального стану ССС за ЕКС необхідні дані є у фазово-часовій структурі сигналу, тому доцільно опрацювати його характеристики, і на базі чого обґрунтувати вибір адекватної математичної моделі і, відповідно методу опрацювання.

У другому розділі «Математична модель електрокардіосигналу при фізичному навантаженні» за результатами проведеного опрацювання електрокардіосигналу з використанням статистичних методів оцінок (математичного сподівання, дисперсії і кореляційні функції) підтверджено, що

адекватна їм модель повинна задовольняти вимоги випадковості та періодичності їх статистичних характеристик, які задовольняє модель у вигляді періодично корельованих випадкових процесів.

Періодично корельований випадковий процес як модель стохастичного коливання відображає часову-фазову структуру електрокардіосигналу, має засоби (методи опрацювання) врахувати як пов'язаності гармонічних складових, так і зміни ймовірнісних характеристик сигналу в часовій області.

**У третьому розділі «Метод статистичного опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні»** розроблено алгоритм статичного опрацювання електрокардіосигналу у кардіодіагностичних системах та оцінювання його характеристик з метою визначення інформативних ознак електрокардіосигналу в рамках математичної моделі у вигляді періодично корельованого випадкового процесу. На базі опрацювання характеристик математичної моделі електрокардіосигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу та компонентного методу опрацювання, встановлено, що вони дають змогу розширити інформативність кардіодіагностичних ознак шляхом впровадження в область кардіології нового класу інформативних ознак – кореляційних компонент.

**У четвертому розділі «Результати опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні»** наведено результати опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні на базі його математичної моделі у вигляді періодично корельованого випадкового процесу та компонентного методу. Застосування цих методів дали змогу розширити інформативність кардіодіагностичних ознак шляхом впровадження в область спортивної медицини нового класу інформативно-інваріантних ознак – кореляційні компоненти, котрі відповідають функціонального стану серця людини.

Використовуючи статистичний метод отримано вирази для визначення часу відновлення серцево-судинної системи з максимальною ймовірністю прийнятого рішення за кореляційними компонентами електрокардіосигналу після фізичного навантаження.

Використовуючи програмне забезпечення MATLAB реалізовано розроблений метод опрацювання у вигляді програми, яка є придатною у використанні в складі кардіодіагностичних систем.

**У п'ятому розділі «Спеціальна частина»** описано методику проведення медико-біологічних досліджень на основі проби Руф'є та обґрунтовано вибір УДК тематики за напрямом наукового дослідження

**У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності»** на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить 40670,89 грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюються експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне, що складає 0,71 від максимального числа 1, а рекомендації по результатам виконання НДР можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів.

У цьому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» проаналізовано питання охорони праці обслуговуючого медичного персоналу із стаціонарним електрокардіографом «ЕК1Е». Проаналізовано заходи реалізації засобу медичного захисту у разі надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру.

У восьмому розділі «Екологія» встановлено, що при проведенні виробничих процесів монтажу і складання електрокардіографа необхідно використовувати технологічні методи і засоби, які створюють мінімальний вплив на навколишнє середовище

У додатках наведено текст програмного забезпечення, яке розроблено для ПК (ОС Windows 7, 10) та копію апробованої тези конференції.

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розв'язано актуальну наукову задачу розроблення методу статистичного опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні для розширення інформативності кардіодіагностичних систем.

При цьому отримано такі основні результати:

1. На підставі проведеного порівняльного опрацювання відомих математичних моделей електрокардіосигналу та методів їх опрацювання, які використовуються при розробленні алгоритмічного та програмного забезпечення кардіодіагностичних систем сформульовано основні вимоги до побудови моделі та методу її опрацювання: врахування випадковості та періодичності.

2. Обґрунтовано структуру математичної моделі електрокардіосигналу при фізичному навантаженні у вигляді періодично корельованого випадкового процесу, яка враховує у своїй структурі періодичність та випадковість, що є важливим при виявленні зміни у функціонуванні серцево-судинної системи при фізичному навантаженні.

3. Розроблено метод та алгоритм опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні як періодично корельованого випадкового процесу на базі компонентного методу, що забезпечило процедуру **розширення інформативності кардіодіагностичних систем**.

4. Розроблено програмне забезпечення в середовищі MATLAB для опрацювання експериментальних даних електрокардіосигналу для кардіодіагностичних систем з метою числення кореляційних оцінок як додаткових інформативних ознак функціонального стану серцево-судинної системи при фізичному навантаженні.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Скорохід А.С. Удосконалення методів опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні у кардіодіагностичних системах / Скорохід А. С. // Збірник тез Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 26-27 квітня 2018 року. – Т. : ТНТУ, 2018. — Том 1. — С. 247–248. — (Біомедична інженерія).

## АНОТАЦІЯ

Скорохід Антон Сергійович. Статистичне опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні для розширення інформативності кардіодіагностичних систем. – Рукопис.

Дипломна робота магістра за спеціальністю 163 Біомедична інженерія, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

У дипломній роботі розроблено математичне забезпечення кардіодіагностичних систем на базі математично моделі електрокардіосигналу при фізичному навантаженні у вигляді як періодично корельованого випадкового процесу та компонентного методу, що уможливило розширити інформативність (збільшення кількості діагностичних ознак) кардіодіагностичних систем.

На основі математичного забезпечення розроблено оптимізоване алгоритмічне забезпечення кардіодіагностичних систем засобами алгебри алгоритмів.

Засобами MATLAB розроблено програмне забезпечення для статистичного опрацювання експериментальних даних у складі кардіодіагностичних систем.

Ключові слова: електрокардіосигнал, фізичне навантаження, математична модель, алгоритм, компонентний метод опрацювання, програмне забезпечення, Matlab.

## ANNOTATION

Skorohid Anton Serhiyovych. The electrocardiosignal under physical activity statistical processing for the cardiodiagnostic systems informativeness expanding. - The manuscript.

Master's diplom work on specialty 163 «Biomedical Engineering», Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2018.

In the diplom work the mathematical support of cardiodiagnostic systems based on the mathematical model of the electrocardiosignal under physical activity in the form of periodically correlated random process and component method was developed, which made it possible to expand the informative (increase of the number of diagnostic features) of cardiodiagnostic systems.

On the basis of the mathematical support, an optimized algorithmic support for cardiodiagnostic systems was developed using algorithm algebras.

Matlab developed software for statistical processing of experimental data in the cardiodiagnostic systems.

Key words: electrocardiosignal, physical activity, mathematical model, algorithm, component method of processing, software, matlab