

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

**Махніцький МаксимТарасович**

*УДК 612.7:519.218*

**ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ  
РИТМІЧНИХ БІОСИГНАЛІВ**

163 – Біомедична інженерія

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль – 2019

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

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук,  
доцент кафедри біотехнічних систем  
**Бачинський Михайло Володимирович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя,

**Рецензент:** кандидат технічних наук,  
доцент кафедри радіотехнічних систем  
**Дедів Ірина Юріївна,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 27 грудня 2019 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №23 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.** Важливим завданням сучасної медицини є завчасне виявлення патологічних змін у функціонуванні органів та систем організму людини (діагностування патологічних станів) на ранніх етапах їх виникнення та розвитку. Ці зміни призводять до порушень в роботі відповідних органів чи систем, що знаходить своє відображення в біосигналах. Ефективність функціонування діагностичної системи визначається математичною моделлю сигналу, що лежить в її основі, та повинна містити у своїй структурі інформативну ознаку зміни в роботі відповідного органа чи системи. Така модель необхідна для обґрунтування алгоритмів вимірювання й опрацювання характеристик біосигналів та інтерпретації отриманих результатів. Окрім цього математична модель повинна бути адекватною фізичній природі біосигналів та задачі розпізнавання патологічних станів.

Найпростіші методи опрацювання біосигналів ґрунтуються на детерміністському підході до їхнього моделювання та пов'язані з дослідженням характеристик часової структури окремо взятого біосигналу (морфологічний аналіз) і його амплітудних спектрів (методи гармонічного аналізу). Більшого поширення отримав ймовірнісний підхід до моделювання біосигналів, зокрема при поданні таких сигналів у вигляді стаціонарного випадкового процесу. При цьому, можливим стає застосування методів спектрально-кореляційного аналізу. Однак математична модель біосигналів у вигляді стаціонарного випадкового процесу передбачає незмінність ймовірнісної структури, що не є властивим для біосигналів, оскільки для більшості із них притаманна коливна (ритмічна) структура (електрокардіосигнал, фонокардіосигнал, ритмокардіосигнал, сфігмосигнал, реосигнал тощо).

При застосуванні детерміністського аналізу неможливим є оцінювання випадкової складової, що є присутня в структурі біосигналів та спричинена випадковістю змін функціонального стану органів чи систем, а при ймовірнісному підході модель у вигляді стаціонарного випадкового процесу не придатна для аналізу їх часово-фазової структури, що є важливим для розпізнавання часових моментів прояву змін у функціонуванні органів чи систем.

Наведені аргументи вказують на актуальність задачі обґрунтування вибору математичної моделі ритмічних біосигналів для задачі виявлення патологічних станів органів і систем.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є обґрунтування вибору математичної моделі ритмічних біомедичних сигналів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести огляд літературних джерел за тематикою досліджень;
2. Проаналізувати фізичну природу та основні параметри і характеристики ряду біомедичних сигналів для формування вимог до математичної моделі цих сигналів;
3. Провести аналіз відомих математичних моделей та методів опрацювання біомедичних сигналів, з метою виявлення можливості використання їх для задачі діагностування патологічних станів організму людини;

4. Обґрунтувати вибір математичної моделі ритмічних біомедичних сигналів для задач діагностування патологічних станів організму людини;

5. На основі обґрунтованої математичної моделі провести опрацювання тестових біомедичних сигналів для верифікації математичної моделі.

**Об'єкт дослідження:** математичне моделювання ритмічних біосигналів для задачі діагностування патологічних станів організму людини.

**Предмет дослідження:** Математична модель ритмічного біомедичного сигналу, її можливості та засоби для задачі діагностування патологічних станів організму людини.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Обґрунтовано вибір математичної моделі ритмічних біосигналів у вигляді періодично корельованого випадкового процесу для задач автоматизованого прогнозування патологічних станів організму людини.

**Практичне значення одержаних результатів.** Одержані результати можуть бути використані в сучасних медичних діагностичних системах.

**Публікації.** Викладені в роботі результати доповідалися і обговорювалися на VII науково-технічній конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології».

**Структура та обсяг.** Дипломна робота складається із вступу, восьми розділів, висновку, викладених на 82 сторінках, списку використаних джерел з 21 назв на 2 сторінках, додатків на 4 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 87 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано 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 і семінарах.

У **першому розділі** «Генезис біосигналів. Діагностування патологічних станів за біосигналами» розглянуто питання генезису біосигналів та особливості діагностування за ними патологічних станів. Встановлено, що найбільш широко використовуваними для діагностування є сигнали, що несуть електричну природу. Тому насамперед розглянуто електрофізіологічні методи дослідження. Також проаналізовано параметри та характеристики різних типів біосигналів, а саме: електрокардіографічного, електроміографічного, електроретинографічного, електроенцефалографічного сигналів, голосових сигналів, сигналів пульсової хвилі.

У **другому розділі** «Аналіз математичних моделей ритмічних біосигналів» проведено аналіз параметрів різних типів біосигналів та сформульовано вимоги до математичної моделі.

Розглянуто означення, характеристики математичної моделі та етапи її побудови. Проаналізовано відомі математичні моделі біосигналів, що використовуються в сучасних діагностичних системах, а саме подання біомедичних сигналів як детермінованих процесів, випадкових (стохастичних) процесів та нестационарних випадкових процесів.

Проведений в попередньому розділі аналіз різних типів біосигналів дає змогу зробити висновок про те, що ритмічні та циклічні біосигнали на коротких проміжках часу, що визначаються конкретним типом біосигналу, можуть розглядатись як стаціонарний випадковий процес. Такі моделі зачасту і використовуються в сучасній діагностичній техніці. Однак, описані вище обмеження на ці моделі дають можливість висунути логічне припущення, що за своєю природою БС є нестаціонарними та потребують залучення відмінного математичного апарату ніж стаціонарний процес.

**У третьому розділі «Обґрунтування вибору математичної моделі ритмічних біосигналів та методів їх опрацювання»** На основі аналізу фізичної природи біосигналів та типів математичних моделей встановлено, що адекватна задачі діагностики модель біосигналів повинна мати засоби врахування їх властивостей: ритмічності, випадкової складової, та мати можливість оцінювання фазово-часової структури.

У термінах ЕТСС таким вимогам відповідає подання БС у вигляді ПКВП, що має можливість врахування і оцінювання таких властивостей.

Розглянуто методи опрацювання біомедичних сигналів, що визначаються енергетичною теорією стохастичних сигналів та поданням біосигналу у вигляді ПКВП.

**У четвертому розділі «Імітаційне моделювання та верифікація математичної моделі»** проведено верифікацію математичної моделі ритмічних біомедичних сигналів. Для верифікації математичної моделі у вигляді ПКВП шляхом тестування синфазного методу розроблено імітаційну модель біосигналу, а саме сигналу пульсової хвилі, яка б враховувала параметри норми та патологічних станів.

Модель у вигляді ПКВП враховує коливну структуру біосигналів. Для верифікації перевірено факт, що така модель даватиме можливість оцінювання і фазових змін у структурі біосигналу.

В зімітованому сигналі пульсової хвилі штучно створено фазовий зсув. Виявлено, що синфазний метод є чутливим до таких проявів патологічних станів у структурі біосигналів, зокрема на оцінках кореляційних компонент ці фазові зсуви проявляються у вигляді зміщення потужності сигналу на більш високі частоти.

**У п'ятому розділі «Спеціальна частина»** описано метрологічне забезпечення медико-біологічних досліджень та побудову прикладного програмного забезпечення для розв'язування наукової задачі.

**У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності»** на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить 56299,19 грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюються експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне, що складає 0,685 від максимального числа 1, а рекомендації по результатам виконання НДР можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів.

**У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** розглянуто стійкість роботи цехів по виготовленню електронної медичної

апаратури, заходи захисту виробничого персоналу, надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик.

У **восьмому розділі** «Екологія» проаналізовано Актуальність охорони навколишнього середовища і екології, вплив промислових електромагнітних полів на біосферу, заходи щодо усунення шкідливого впливу електромагнітних хвиль.

## **ВИСНОВКИ**

1. Проведено аналіз літературних джерел та обґрунтовано актуальність теми роботи;

2. Проаналізовано фізичну природу та параметри ряду біомедичних сигналів, таких як електрокардіографічні сигнали, фонокардіографічні, реографічні, реокардіографічні, реовазографічні, механокардіографічні, ехокардіографічні, сфінгографічні, електроенцефалографічні сигнали та сигнали м'язової системи.

3. Аналіз різних типів біосигналів показав, що адекватним задачі діагностики зображенням їх є стохастичний нестационарний процес. Виявлено, що функціональні порушення, спричинені патологічними станами, призводять до появи в біосигналах нестационарності, при зображенні їх як кусково чи локально стаціонарних процесів, або зміни типу нестационарності. Тому, адекватним задачі медичної діагностики є подання біосигналів як стохастичного нестационарного процесу. У термінах енергетичної теорії стохастичних (випадкових) сигналів цим вимогам задовольняє модель у вигляді періодично корельованого та споріднених із ним випадкових процесів.

4. Обґрунтовано вибір математичної моделі ритмічних біосигналів у вигляді періодично корельованого та споріднених із ним випадкових процесів.

5. Проведено верифікацію математичної моделі ритмічних біомедичних сигналів. Для верифікації розроблено імітаційну модель біосигналу, а саме сигналу пульсової хвилі, яка б враховувала у своїй структурі його основні параметри. Для верифікації перевірено факт, що математична модель у вигляді ПКВП даватиме можливість оцінювання окрім коливної природи і фазові зміни у структурі біосигналу. Виявлено, що когерентний метод є чутливим до таких проявів патологічних станів у структурі біосигналів, зокрема на оцінках кореляційних компонент ці фазові зсуви проявляються у вигляді зміщення потужності сигналу на більш високі частоти.

## **ПЕРЕЛІК ПРАЦЬ**

1. Махніцький М. Обґрунтування вибору математичної моделі ритмічних біосигналів / М. Махніцький // Матеріали VII науково-технічної конфції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 11 – 12 грудня 2019 р.). – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – с.13.

## АНОТАЦІЯ

Махніцький М.Т. Обґрунтування вибору математичної моделі ритмічних біосигналів. – Рукопис. Кваліфікаційна робота магістра, Тернопільський національний технічний університети імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

Кваліфікаційну роботу магістра присвячено питанням обґрунтування вибору математичної моделі ритмічних біосигналів для задач діагностування патологічних станів організму людини. Проведено аналіз фізичної природи ряду біосигналів, таких як електрокардіосигнал, сигнал пульсової хвилі, реографічний сигнал тощо та встановлено що їм притаманна коливна структура. Обґрунтовано вибір математичної моделі такого роду сигналів у вигляді періодично корельованого випадкового процесу, що є природною моделлю коливних процесів. Проведено верифікацію математичної моделі.

Ключові слова: біосигнал, математична модель, періодично корельований випадковий процес.

## ABSTRACT

Machnitsky M.T. Grounding the choosing the mathematical model of rhythmic biosignals. - Manuscript.

Qualifying Work, Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil, 2019.

The master's qualification work is devoted to the problems of grounding of selection of the mathematical model of rhythmic biosignals for the problems of diagnosing of pathological conditions of the human body. The physical nature of a number of biosignals, such as electrocardiogram, pulse wave signal, rheographic signal, etc., has been analyzed and the oscillatory structure is inherent in them. The choice of mathematical model of this kind of signals in the form of a periodically correlated random process, which is a natural model of oscillatory processes, is substantiated. The mathematical model is verified.

Key words: biosignals, mathematical model, periodically correlated random process.