

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

**ПОВРОЗНИК НАТАЛЯ ІВАНІВНА**

УДК 519.216:612.16

**ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПУЛЬСОВОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ  
АЛГОРИТМІВ ОПРАЦЮВАННЯ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ**

8.05090204 «Біотехнічні та медичні апарати та системи»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль  
2017

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

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри біотехнічних систем  
**Хвостівський Микола Орестович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя,

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

Захист відбудеться 23 лютого 2017 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 роботи.** По даним ВОЗ (2016 р.) у всьому світі смертність від серцево-судинних захворювань (ССЗ) займає перше місце (30% від усіх захворювань), за даними World Health Statistics (2016 р.) - 9,7% захворювань судин, 12,2% захворювань серця. Високі показники захворюваності судинної системи людини, ураження людей все більш молодого віку, роблять цю проблему однією з найважливіших в сучасній охороні здоров'я.

Для розв'язання задач визначення параметрів судин і способів оцінки їх стану застосовують фотоплетизмографічний метод (Валтнерис А.Д., Савицкий Н.И. та ін.), який базується на аналізі форми сигналу пульсового сигналу (ПС), і є домінуючим представником доступних фізіологічних підходів.

На основі параметрів ПС можна судити про зміни гемодинамічних характеристик, ритму серця, швидкості кровонаповнення в досліджуваній частині тіла людини.

Належне опрацювання ПС за допомогою фотоплетизмографічних систем (ФС) (PulseTrace PCA2 (США), ЭЛДАР (Росія), Endo-Pat2000, (Ізраїль) та інші) дає змогу виявити функціональні зміни у серцево-судинній системі (ССС) та вибрати методику проведення профілактичних заходів, а у випадку виявлення патологічних порушень, запобігти розвитку хвороби відповідним лікуванням. Ефективне опрацювання ПС залежить від наявності адекватної до такої задачі його математичної моделі і розробленої на її основі комп'ютерної імітаційної моделі як засобу для тестування алгоритмів опрацювання ПС у фотоплетизмографічних системах, оскільки імітаційна модель дає змогу задавати у своїй структурі апріорні дані про характерні властивості сигналу.

Аналіз відомих комп'ютерних імітаційних моделей ПС показав, що у їх структурах не враховано зміну його фазових параметрів, що є важливим для задачі своєчасної діагностики стану судин людини. Зокрема, імітаційна модель ПС у вигляді:

- лінеаризовані рівняння Нав'є-Стокса в циліндричних координатах (Благітко Б., Заячук І., Пирогов О.) – не враховує випадковість;
- гармонічної трифазної моделі (відображає природу породження пульсацій в кровеносній системі в межах одного періоду) (В.В.Гнілицький, Н.В.Мужицька) - не враховує випадковість та періодичність;
- гармонічного осцилятора з експоненціальним зниканням (враховує періодичність ПС) (Акулов Ю.П., Михайлов Н.Ю., Толмачев Г.Н.) – не враховує випадковість;
- адитивної суміші детермінованої і випадкової складових (враховує випадковість ПС) (Самков С.В., Черненко А.И.) – не враховує періодичність.
- у вигляді періодично подовжених сум двох функцій із заданими законами нормального розподілу (Хвостівська Л.В.) (враховує періодичність та випадковість) – не враховує зміну фазових показників впродовж серцевих циклів.

Розроблення комп'ютерної імітаційної моделі ПС, яка би врахувала у своїй структурі періодичність (циклічність процесу, який задається роботою серця людини), випадковість (зміна амплітудних та часових параметрів за рахунок

внутрішніх та зовнішніх завад) та зміну фази коливання (нестабільність циклічності роботи кровоносної системи) для задачі верифікації методів опрацювання сигналів в фотоплетизмографічних системах є актуальною науковою задачею.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є розроблення імітаційної моделі пульсового сигналу для тестування алгоритмів опрацювання фотоплетизмографічних систем.

Досягнення цієї мети вимагає розв'язання таких задач:

1. Провести огляд відомих математичних моделей пульсового сигналу з метою вибору напрямку наукового дослідження.
2. Розробити імітаційну модель пульсового сигналу, яка уможливило врахування випадковості, періодичності та зміни фази коливання.
3. Розробити програмне забезпечення для проведення процесу імітаційного моделювання пульсового сигналу.
4. Провести процес імітаційного моделювання пульсового сигналу та оцінити точність імітування.

**Об'єкт дослідження:** процес імітаційного моделювання пульсового сигналу для тестування алгоритмів опрацювання фотоплетизмографічних систем.

**Предмет дослідження:** імітаційна модель пульсового сигналу.

**Методи дослідження.** Для програмної реалізації імітації пульсового сигналу використано теорію випадкових процесів та пакет прикладних програм MATLAB 2014a.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

Вперше розроблено імітаційну модель пульсового сигналу у вигляді періодично подовжених сум двох функцій нормального розподілу із урахуванням випадковості, періодичності та зміни фази коливання дає можливість за відомими медичними параметрами моделювати сигнали патологій і норм для задачі тестування результатів опрацювання пульсових сигналів у фотоплетизмографічних системах.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у тому, що комп'ютерна програма імітування пульсового сигналу, яка розроблена на базі імітаційної моделі дає змогу провести процедуру тестування алгоритмів опрацювання фотоплетизмографічних систем, які є невід'ємною складовою медико-діагностичних установ.

**Апробація.** Викладені в дипломній роботі результати доповідалися і обговорювалися на ІХ Всеукраїнській студентській науково-технічній конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ (м. Тернопіль, 2016р.).

**Структура та обсяг.** Дипломна робота складається із вступу, восьми розділів, висновку, викладених на 113 сторінках, списку використаних джерел з 61 назв на 7 сторінках, додатків на 30 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 142 сторінки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі шляхом аналізу та порівняння відомих математичних моделей пульсового сигналу з новою 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 «Огляд відомих математичних моделей пульсового сигналу» проаналізовано наукові праці різних авторів, присвячені досліджуваній проблематиці.

Проведено порівняльний аналіз та класифікацію відомих математичних моделей пульсових сигналів та методів їх аналізу, що використовуються для задач автоматизованої діагностики функціонального стану судин людини за допомогою комп'ютерних фотоплетизмографів.

В результаті аналізу обґрунтовано необхідність досліджень математичної моделі сигналу, яка би враховувала інформативні ознаки і узгоджувалася із фізичною природою досліджуваної пульсового сигналу, яка є складним сигналом.

Враховуючи механізм породження пульсового сигналу і той факт, що для відомих задач розпізнавання функціонального стану судин людини за пульсовими хвилями необхідні дані є у фазово-часовій структурі сигналу, тому доцільно проаналізувати його характеристики, і на базі чого обґрунтувати вибір адекватної математичної моделі для задачі імітаційного моделювання.

У другому розділі «Математична модель пульсового сигналу» згідно аналізу властивостей характеристик пульсового сигналу та описаних властивостей періодично корельованих випадкових процесів впливає, що математична модель процесу такого класу дає змогу адекватно описати сигнал, а саме врахувати поєднання випадковості та періодичності сигналу, а тому і розробити методи визначення інваріантних інформаційних ознак пульсового сигналу виходячи із статистики таких сигналів для задач своєчасної діагностики стану судин людини.

У третьому розділі «Метод імітаційного моделювання» розроблено імітаційну модель пульсового сигналу у вигляді періодично подовжених сум двох функцій нормального розподілу із урахуванням випадковості, періодичності та зміни фази коливання дає можливість за відомими медичними параметрами моделювати сигнали патологій і норм для задачі тестування алгоритмів опрацювання пульсових сигналів у фотоплетизмографічних системах.

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження процесу імітування пульсового сигналу для тестування алгоритмів опрацювання фотоплетизмографічних систем» із застосуванням засобу програмного забезпечення MATLAB реалізовано програму із графічним інтерфейсом користувача, яка імітує пульсовий сигнал з урахуванням періодичності, випадковості та зміни фази хвиль. Програма імітації ПС на базі періодично подовжених сум двох функцій нормального розподілу із урахуванням випадковості, періодичності та зміни фази коливання дає можливість за відомими медичними параметрами вірогідно імітувати пульсові сигнали по відношення до

експериментальних сигналів, що є адекватними при тестуванні алгоритмів опрацювання пульсових сигналів у фотоплетизмографічних системах.

У п'ятому розділі «Спеціальна частина» описано метрологічне забезпечення медико-біологічних досліджень при реєстрації пульсового сигналу та проведено обґрунтування вибору пакету Matlab як програмного забезпечення для розв'язання 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 40273,08 грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюється 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» проаналізовано негативний вплив шкідливих і небезпечних факторів під час роботи з персональним комп'ютером при виконання науково-дослідної роботи та описано заходи особистої безпеки персоналу цехів, лабораторії по виготовленню електронної медичної апаратури. Також проаналізовано способи реалізації заходів медичного захисту у разі надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру.

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

У додатках наведено тексти програм, розроблені для ПК (ОС Windows 7,8,10).

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розв'язано актуальну наукову задачу розроблення імітаційної моделі пульсового сигналу для тестування алгоритмів опрацювання фотоплетизмографічних систем.

При цьому отримано такі результати:

1. У результаті проведеного порівняльного аналізу відомих комп'ютерних імітаційних моделей пульсового сигналу сформульовано основні вимоги до моделі: врахування випадковості, періодичності та зміни фази коливання для задач вірогідного тестування алгоритмів опрацювання фотоплетизмографічних систем.

2. Розроблено імітаційну модель пульсового сигналу у вигляді періодично подовжених сум двох функцій нормального розподілу із урахуванням випадковості, періодичності та зміни фази коливання дає можливість за відомими медичними параметрами моделювати сигнали патологій і норм для задачі тестування алгоритмів опрацювання пульсових сигналів у фотоплетизмографічних системах.

3. Розроблено програму із графічним інтерфейсом користувача для імітації пульсових сигналів з метою тестування алгоритмів опрацювання пульсових сигналів у фотоплетизмографічних системах.

4. Установлено, що отримані імітовані реалізації пульсових сигналів

забезпечують повне відтворення форми експериментальних сигналів за часовими та амплітудними параметрами прямої та відбитої хвиль, що підтверджує факт вірогідності імітування та адекватності тестування алгоритмів опрацювання фотоплетизмографічних систем.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Поврозник Н. І. Музикотерапія та пульсовий сигнал в задачах відновлення психоемоційного стану людини / Поврозник Н. І. // Матеріали ІХ Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 20-21 квітня 2016 року — Т. : ТНТУ, 2016 — Том 1. — С. 227-228. — (Секція: Радіоелектронні біотехнічні системи).

## АНОТАЦІЯ

Поврозник Наталя Іванівна. Імітаційна модель пульсового сигналу для тестування алгоритмів опрацювання фотоплетизмографічних систем. – Рукопис.

Дипломна робота магістра за спеціальністю 8.05090204 – Біотехнічні та медичні апарати та системи, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2017.

У дипломній роботі розроблено комп'ютерну імітаційну модель пульсового сигналу у вигляді періодично подовжених сум двох функцій нормального розподілу із урахуванням випадковості, періодичності та зміни фази коливання. Імітаційна модель дає можливість за відомими медичними параметрами моделювати сигнали патологій і норм для задачі для задачі верифікації методів опрацювання сигналів в фотоплетизмографічних системах.

Розроблено програмне забезпечення в середовищі Matlab з метою автоматизації процесу імітування пульсових сигналів.

**Ключові слова:** пульсовий сигнал, математична модель, імітаційна модель, алгоритм та метод імітаційного моделювання, верифікація, фотоплетизмографічна система, програмне забезпечення, Matlab.

## ANNOTATION

Povroznyk Natalia. The pulse signal simulation model to test processing algorithms photoplethysmograph systems. – Manuscript.

Thesis work of master's degree after speciality 8.05090204 are the Biotechnical and medical vehicles and systems, Ternopil national technical university of the name of Ivan Pylyu, Ternopil, 2017.

In the thesis work developed a computer simulation model of pulse signal as periodically extended amounts of two functions of normal distribution, taking into account the randomness, periodical and phase change fluctuations. A simulation model enables the known medical model parameters and signals pathologies and norms rules for task verification methods processing in fotopletyzmohrafichnyh signal processing systems.

The software is developed in Matlab environment to automate the process of imitation pulse signals.

**Key words:** pulse signal, mathematical model, simulation model, method and algorithm simulation, verification, photoplethysmograph systems, software, Matlab.