

**Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя**

**Шельчук Аліна Олександрівна**

*УДК 303.01:303.447: 612.17*

**ФІЛЬТРОВИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ РИТМУ  
ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ У СИСТЕМАХ ТРИВАЛОГО  
МОНІТОРИНГУ**

163 – Біомедична інженерія

Автореферат дипломної роботи магістра

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,  
завідувач кафедри біотехнічних систем  
**Яворська Євгенія Богданівна,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя,

Захист відбудеться 24 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. На даний момент накопичено достатню кількість фактичного матеріалу, що свідчить про чіткий взаємозв'язок між станом вегетативної нервової системи (ВНС) та смертністю від серцево-судинних захворювань. Цей взаємозв'язок реалізується через більш високу схильність до серцевих аритмій хворих з порушенням ВНС. Саме ці факти стали імпульсом для розробки кількісних параметрів оцінки стану ВНС.

Одним з найбільш перспективних методів є оцінка варіабельності серцевого ритму (ВСР). До ряду беззаперечних переваг ВСР необхідно віднести його простоту, доступність, неінвазивність та високу інформативність. В наш час оцінка ВСР в клініках проводиться для прогнозування ризику раптової смерті у пацієнтів, що перенесли гострий інфаркт міокарда, а також для ранньої діагностики діабетичної полінейропатії. Дослідження ВСР є перспективними не лише в терапевтичній практиці. В анестезіології вивчається вплив засобів наркозу та анальгетиків на ВСР, дослідження в акушерстві та неонатології спрямовані на оцінку ризику внутрішньоутробної смертності. Вивчення ВСР відкриває значні можливості для оцінки коливань тонуусу ВНС у здорових та хворих людей.

Для опису коливань тривалості серцевих циклів в літературі існує безліч термінів, таких як варіабельність тривалості циклу, варіабельність R-R інтервалів, варіабельність серцевих періодів. Всі ці терміни в достатній мірі відображають той факт, що аналізується саме послідовність тривалостей R-R інтервалів, а не частота серцевих скорочень. Проте ні один термін не отримав такого розповсюдження як термін ВСР (в зарубіжній літературі *heart rate variability* — HRV).

Глибока оцінка стану ВНС, взаємозв'язку між ВСР та ВНС, стала можливою в 80-х роках як наслідок впровадження в клінічну практику методів спектрального аналізу серцевого ритму. Став загальноприйнятим той факт, що ВСР є незалежним предиктором смертності після гострого інфаркту міокарду. Початок 90-х років відзначився суттєвим прогресом методу, що було пов'язано з впровадженням нових цифрових високочастотних багатоканальних пристроїв 24-годинного запису ЕКГ (Холтерівський моніторинг).

В часовій області матеріалом для оцінки ВСР є як миттєві значення серцевого ритму, так і інтервали між послідовними нормальними комплексами QRS (норманорма або R-R інтервали). Для аналізу ВСР існують статистичні методи, засновані на оцінюванні різних статистичних характеристик послідовності R-R інтервалів, і геометричні методи, що полягають в оцінюванні форми і параметрів гістограми розподілу R-R інтервалів. В частотній області широке застосування знайшли методи спектрального аналізу, які дають можливість отримати інформацію про розподіл спектральної потужності (мінливості ритму) по частотах.

Перераховані вище методи аналізу ВСР побудовані на основі математичної моделі ВСР — стаціонарного ергодичного випадкового процесу.

Проте, існує низка впливів, які спричиняють нестационарність ВСР. На даний час немає методів аналізу ВСР, які б дозволяли в повній мірі враховувати її нестационарність. Всі існуючі методи аналізу ВСР, як правило, не беруть до уваги нестационарні частини кардіоритмограми.

Тому розробка математичної моделі ВСР, яка б враховувала нестационарність та ритмічність процесу та побудова на базі отриманої математичної моделі методу аналізу нестационарної ВСР є доцільними та актуальними.

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження є побудова цифрових фільтрів для аналізу нестационарної варіабельності ритміки серця.*

Досягнення цієї мети вимагає розв'язання таких задач:

- аналітичний огляд існуючих методів аналізу ВСР для вибору напряму досліджень;
- розробка математичної моделі для створення методу аналізу нестационарної ВСР;
- побудова цифрового фільтра для аналізу нестационарної ВСР фільтровим методом.

*Об'єкт дослідження:* процес вимірювання характеристик, параметрів нестационарної ВСР.

*Предмет дослідження:* цифрові фільтри для визначення параметрів характеристик нестационарної ВСР.

*Методи дослідження* побудовано на базі методів цифрової фільтрації та цифрової обробки сигналів для визначення параметрів характеристик нестационарної ВСР, енергетичної теорії лінійних моделей стохастичних сигналів для побудови математичної моделі нестационарної ВСР. Для програмної реалізації алгоритмів опрацювання використано пакет прикладних програм MATLAB.

Наукова новизна отриманих результатів. Для аналізу нестационарної ВСР проведено параметричний синтез уніфікованих каскадів цифрових фільтрів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений метод та його застосування уможливило отримання фільтрових оцінок нестационарної ВСР.

Апробація результатів дослідження. Викладені в дипломній роботі результати доповідалися і обговорювалися на II Міжнародній студентській науково-технічній конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“ (м. Тернопіль, 2019 р.).

**Структура та обсяг.** Дипломна робота складається із вступу, восьми розділів, висновку, викладених на 99 сторінках, списку використаних джерел на 3 сторінках, додатків на 11 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 121 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** «Огляд методів аналізу варіабельності серцевого ритму» Встановлено, що відомі методи аналізу ВСР розглядають кардіоритмограму як ергодичний, стаціонарний в широкому сенсі випадковий процес.

Процес називається стаціонарним у широкому сенсі, якщо його середнє значення не змінюється в часі, а автокореляційна функція (математичне сподівання добутку  $x(t_1)x(t_2)$ )  $r_{xx}(t_1, t_2) = E[x(t_1)x(t_2)]$ , залежить лише від різниці  $t_2 - t_1$ . Це такі процеси, які протікають приблизно однорідно і мають вигляд безперервних коливань навколо деякого середнього значення.

При перевірці стаціонарності випадкового процесу звичайно поступають у такий спосіб: вихідну послідовність розбивають на  $N$  непересічних ділянок, для кожної з ділянок обчислюють середнє значення та автокореляційну функцію і перевіряють статистичну гіпотезу про рівність обчислених характеристик. Якщо гіпотеза не відкидається, то ділянка сигналу вважається стаціонарною.

Стаціонарний процес називають ергодичним, якщо при обчисленні його статистичних характеристик усереднення по ансамблю реалізацій у фіксований момент часу можна замінити усередненням за часом для однієї реалізації. Оскільки для одного пацієнта неможливо одночасно одержати кілька реалізацій кардіоритмограми, то приймається припущення про ергодичність її стаціонарних ділянок.

**У другому розділі** «Розробка математичної моделі для створення методу аналізу нестаціонарної ВСР» описано фактори, які спричиняють ВСР та її нестаціонарність, розглянуто механізми іннервації серця, внутрішні та зовнішні впливи на ВСР. Описано ПКВП як випадковий процес, що є моделлю природного ритмічного процесу. Зроблено логічний висновок про використання ПКВП як математичної моделі ВСР, а отже і застосування до аналізу ВСР методів аналізу ПКВП – фільтрового, когерентного та компонентного.

**У третьому розділі** «Опис методів аналізу серцевого ритму як випадкового процесу» Синфазний та компонентний аналізу періодично корельованих ВП розглянуто розглядати як частинні випадки більш загального методу — фільтрового, який полягає у множенні реалізації нестаціонарного випадкового процесу на періодичну функцію з періодом, рівним періоду корельованості періодично корельованих ВП, з подальшим усередненням.

Власне вигляд імпульсно-вагової функції  $h(u)$  визначає метод знаходження імовірнісних характеристик періодично корельованих ВП.

**У четвертому розділі** «Програмна реалізація цифрового фільтра для аналізу нестаціонарного серцевого ритму» для обґрунтування вибору типу проектного ЦФ, в розділі проведено порівняльний аналітичний огляд відомих типів фільтрів, подано їхні частотні характеристики. На основі проведеного огляду вибрано для практичної реалізації ЦФ типу Чебишева. Для вибраного фільтра приведено методику його розрахунку (структурного синтезу). На основі наведеної методики побудовано алгоритм роботи скрипта (програми) та власне розроблено скрипт для структурного синтезу ЦФ, побудови його характеристик та емуляції роботи.

**У п'ятому розділі** «Спеціальна частина» описано методику досліджень серцево-судинної системи.

**У шостому розділі** «Обґрунтування економічної ефективності» на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить 75067,53 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» висвітлено питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

У восьмому розділі «Екологія» проаналізовано питання екологічного характеру.

У додатках наведено тексти програм, розроблені для ПК (ОС Windows XP).

## ВИСНОВКИ

Поширені на сьогоднішній день методи аналізу ВСР побудовані на основі математичної моделі ВСР — стаціонарного ергодичного випадкового процесу. На даний час немає методів аналізу ВСР, які б дозволяли в повній мірі враховувати її нестаціонарність. Всі існуючі методи аналізу ВСР, як правило, не беруть до уваги нестаціонарні частини кардіоритмограми, спеціально виключаючи їх з аналізу.

Періодично корельований випадковий процес є моделлю природного процесу, яка об'єднує в одному математичному об'єкті стохастичність та повторюваність, є логічним розвитком та узагальненням відомих результатів по теорії стохастичних коливань. Власне ПКВП передбачає три методи визначення імовірнісних характеристик нестаціонарних процесів: когерентний, компонентний та фільтровий. Останній є найбільш загальним і з точки зору лінійної фільтрації об'єднує два перших.

Фільтровий метод аналізу ПКВП полягає в застосуванні множини декомпозиційних (проекційних) ідеальних смугових фільтрів зі смугами пропускання? адже демодульована гармонікою частоти  $k\Lambda$  відповідна фільтрова вирізка за допомогою фільтру із ПКВП збігається з  $k$ -ю його стаціонарною компонентою з фінітним спектром.

В роботі розглянуто методіку розрахунку ЦФ типу Чебишева, за якою розраховано фільтр для аналізу нестаціонарної варіабельності ритміки серця.

Для практичної реалізації фільтра створено скрипт на мові MATLAB. З його допомогою обраховано коефіцієнти каскадів та порядок фільтра, емульовано роботу фільтра та отримано його амплітудо-частотну та імпульсно-вагову функції.

## АНОТАЦІЯ

Шельчук Аліна Олександрівна. Фільтровий метод аналізу ритму електрокардіосигналу у системах тривалого моніторингу. – Рукопис.

Дипломна робота магістра за спеціальністю 163 – біомедична інженерія, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

В роботі проведено аналітичний огляд існуючих методів аналізу варіабельності серцевого ритму (ВСР), розглянуто фактори, які спричиняють ВСР та її нестационарність. Зроблено логічний умовивід про необхідність використання періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП) як математичної моделі ВСР для побудови методів її аналізу як нестационарного процесу. Розглянуто фільтровий метод аналізу нестационарної ВСР та побудовано цифровий фільтр для даного методу.

Ключові слова: електрокардіосигнал, математична модель, серцева ритміка, фільтровий метод.

## ANNOTATION

Shelchuk A A filter method for electrocardiogram rhythm analysis in long-term monitoring systems. – Manuscript.

Master's thesis work on specialty 163 – biomedical engineering, Ternopil National Technical University named after Ivan Pul'uj, Ternopil, 2019.

In this paper an analytical review of existing methods of heart rate variability (HRV) analysis are given and different factors which cause HRV and its non-stationarity. The logical conclusion about necessity of use of periodically correlated stochastic process (PCSP) as mathematical model of HRV for construction of methods of HRV analysis as non-stationary process is made. Filter method of non-stationary HRV analysis is considered and digital filter for this method is constructed.

Keywords: electrocardiogram, mathematical model, cardiac rhythm, filtering method.

