

Голові разової спеціалізованої вченої ради PhD 13223
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя
д.т.н., професору Литвиненку Ярославу Володимировичу

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора **Пастуха Олега Анатолійовича**

на дисертаційну роботу

Мосія Любомира Євгенійовича

«Моделі та методи інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак
електрокардіосигналів»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 12 «Інформаційні технології»

за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок з науковими напрямками, темами

Актуальність рецензованого дисертаційного дослідження перш за все зумовлена високою поширеністю серцево-судинних захворювань, які залишаються провідною причиною смертності у світі. Це означає, що підвищення точності, швидкості та доступності діагностики порушень серцевої діяльності є не лише науковим, а й важливим соціально-медичним завданням.

Електрокардіографія є одним із найпоширеніших, неінвазивних і відносно дешевих методів оцінювання функціонального стану серця. Водночас традиційний аналіз електрокардіограм значною мірою залежить від кваліфікації лікаря, якості запису та часу, необхідного для перегляду великих масивів сигналів. Особливо складним є виявлення прихованих, короточасних або нерегулярних порушень, які проявляються як у зміні морфології зубців і сегментів, так і в ритмічній структурі серцевих циклів. Саме тому інтелектуальний аналіз морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів є важливим актуальним напрямом, здатним забезпечити більш об'єктивне та відтворюване прийняття діагностичних рішень.

Попри значні досягнення у даному напрямі, слід зазначити, що наявні підходи не беруть до уваги варіабельності морфологічної структури електрокардіостигналів. Математичні моделі та методи варіабельності ритму зосереджені перш за все на аналізі RR-інтервалів і не забезпечують розрізнення часових проміжків між різними типами характерних хвиль. Саме тому створення нових математичних моделей, які дозволяють системно описувати й аналізувати варіабельність як амплітудних, так і часових параметрів електрокардіосигналу в межах кожного кардіоциклу, створення на їх основі методів інтелектуального аналізу морфологічних та ритмічних ознак є актуальним науковим дослідженням.

Наукові дослідження Мосія Л.Є. виконано відповідно до наукового напрямку міжнародної наукової школи «Моделювання та математичне забезпечення інтелектуалізованих інформаційних систем у медицині, техніці та економіці», яка функціонує на кафедрі комп'ютерних наук ТНТУ. Дослідження також проводилися в межах науково-дослідної роботи «Інтелектуальні моделі в кібер-фізичних системах медико-біологічних процесів», що виконується в Тернопільському національному медичному університеті імені І.Я. Горбачевського МОЗ України.

Тема дисертаційної роботи відповідає предметній області освітньо-наукової програми Комп'ютерні науки третього рівня вищої освіти у Тернопільському національному технічному університеті.

Таким чином, вважаю, що тема дисертаційного дослідження є актуальною. У роботі вирішено важливе наукове завдання підвищення ефективності медичної діагностики на основі розробленої нової математичної моделі із врахуванням функції амплітудної варіабельності та математичної моделі електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу з сегментною структурою, ідентифікації відповідних нових діагностичних ознак та алгоритмів прийняття діагностичних рішень, включно із сучасними методами машинного навчання.

2. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

У дисертації Мосія Л.Є. отримано такі основні наукові результати:

- вперше запропоновано математичну модель амплітудної варіабельності електрокардіосигналу у вигляді функцій амплітудної варіабельності -

стаціонарних випадкових послідовностей різниць амплітуд характерних хвиль електрокардіосигналу в послідовних кардіоциклах, що на відміну від існуючих моделей враховує повну амплітудну морфологічну структуру кардіоциклу та її міжциклову стохастичну динаміку. Це дозволило ідентифікувати відповідний комплекс морфологічних ознак - статистичних характеристик функцій амплітудної варіабельності, методи їх оцінювання та прийняття діагностичних рішень;

- вдосконалено метод ідентифікації інформативних ознак електрокардіосигналу на основі його моделі у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною зонною структурою, що на відміну від існуючих враховує дисперсію сигналу в межах циклу. Це дозволило ідентифікувати діагностичні ознаки електрокардіосигналу, які відображають варіабельність його морфологічної структури та запропонувати спосіб їх аналізу;
- набули подальшого розвитку методи класифікації на основі ознак, екстрагованих із функцій амплітудної варіабельності, із використанням сучасних методів машинного навчання. Запропонований підхід поєднує переваги наявних моделей і усуває їхні обмеження завдяки введенню нових характеристик варіабельності. Це забезпечує комплексний опис морфологічних і ритмічних властивостей ЕКС та створює основу для розроблення ефективних інформаційних технологій діагностики серцево-судинних захворювань.

3. Практична цінність одержаних результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні інтелектуальної системи медичної діагностики, що базується на основі запропонованих морфологічних та ритмічних ознак, а також методів прийняття діагностичних рішень. Отримані результати можуть бути використані також і у задачах розробки інтелектуальних діагностичних систем в інших областях, зокрема, пов'язаних із діагностикою на основі аналізу фотоплетизмограм, фонокардіосигналів, та ін. біомедичних сигналів, де важливо враховувати в комплексі варіабельність ритмічної та морфологічної структури досліджуваного сигналу.

Отримано акти впровадження дисертаційної роботи, які засвідчують, що результати використано на практиці наступним чином:

– під час виконання науково-дослідної роботи «Інтелектуальні моделі в кібер-фізичних системах медико-біологічних процесів» (№ державної реєстрації 0125U000105), що виконується у Тернопільському національному медичному університеті імені І. Я. Горбачевського;

– у діяльності ТОВ «НВП «ІНФОТЕХМЕД» (м. Тернопіль) при дослідженні та розробленні інформаційних засобів обробки та аналізу біомедичних сигналів;

– у навчальному процесі кафедри медичної інформатики Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського при викладанні дисциплін «Інформаційні технології у фармації» та «Медична фізика з медичною інформатикою та статистикою»;

– у навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя при викладанні дисципліни «Моделі, технології проєктування та управління інформаційних систем» для здобувачів третього рівня вищої освіти освітньо-наукової програми «Комп'ютерні науки».

4. Повнота викладення результатів дослідження у наукових публікаціях, дотримання вимог академічної доброчесності

Наукові результати дисертаційного дослідження Мосія Л.Є. опубліковано у 20-и наукових працях, з яких 12 – статті у фахових виданнях України категорії Б, 4 публікації у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються наукометричною базою Scopus.

В опублікованих працях матеріали дисертаційного дослідження опубліковані в повній мірі. За кількістю та якістю наукових публікацій дисертаційна робота повністю відповідає вимогам чинного «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Використання в дисертаційному дослідженні наукових напрацювань інших авторів здійснено відповідно до норм наукової етики та супроводжується належними

посиланнями на відповідні джерела. Опублікування наукових результатів дисертанта у рецензованих виданнях, де матеріали проходять перевірку на відсутність неправомірних запозичень, є додатковим свідченням дотримання принципів академічної доброчесності.

Порушень принципів академічної доброчесності, зокрема фактів академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації наукових результатів, у дисертаційній роботі не встановлено.

5. Ступінь обґрунтованості та достовірність сформульованих в дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі Мосія Л.Є., є достатньо науково обґрунтованими та достовірними. Обґрунтованість результатів забезпечується тим, що автор використовує сучасний математичний апарат теорії випадкових процесів, оптимальні методи оцінювання параметрів та статистичні методи перевірки гіпотез, алгоритми машинного навчання, які є загальновизнаними та використовуються у багатьох наукових працях такого характеру. Також теоретичні положення, які покладено в основу математичної моделі електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу з сегментною зонною структурою узгоджуються з відомими в літературних джерелах властивостями електрокардіосигналів, особливостями їх формування.

Достовірність сформульованих в дисертації положень підтверджується тим, що експериментальні результати отримано на основі сигналів загальнодоступної бази даних реальних електрокардіосигналів, яка тривалий час використовується фахівцями для тестування алгоритмів обробки електрофізіологічних сигналів. Результати досліджень узгоджуються з сучасними науковими підходами до аналізу біомедичних сигналів та підтверджують доцільність використання розробленої інформаційної технології.

Додатковим свідченням достовірності отриманих результатів є їх апробація на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях, обговорення під час наукових семінарів, а також упровадження в науково-дослідну діяльність і освітній процес.

Отже, сформульовані в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації є логічно вмотивованими, методично обґрунтованими та підтвердженими результатами теоретичних і експериментальних досліджень.

6. Оцінка змісту дисертації

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, що складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Структура роботи є логічною та відповідає поставленим у дослідженні завданням. Результати проведених здобувачем досліджень відповідають темі дисертації. Здобувач у достатній мірі володіє методологією наукової діяльності.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено його мету та основні завдання, окреслено об'єкт і предмет дослідження, сформульовано наукову новизну й практичну цінність одержаних результатів, а також наведено відомості про апробацію результатів і публікації автора..

У **першому** розділі проведено аналіз літературних джерел з тематики наукового дослідження. Проведено аналіз основ формування ритмічних та морфологічних ознак електрокардіосигналу. Проведено порівняльний аналіз математичних моделей та методів ідентифікації інформативних ознак. Звернуто увагу на ті моделі і методи, що дозволяють врахувати мінливість ритму та варіабельність морфологічної структури досліджуваних сигналів. Сформовано вимоги до нової моделі та постановку задачі.

У **другому розділі** охарактеризовано математичну модель електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною зонною структурою, яка дає змогу враховувати циклічність, варіабельність ритму, сегментну організацію ЕКС і випадковий характер змін його морфологічної структури, описуваної в термінах багатовимірних функцій розподілу та моментних функцій, для подальшої ідентифікації морфологічних ознак у розроблюваній інформаційній технології. Також наведено означення та досліджено властивості функції амплітудної варіабельності, що забезпечує аналіз приростів амплітуд локальних екстремумів характерних хвиль і дає змогу виокремлювати комплекс морфологічних ознак, а також функції часової варіабельності, призначеної для аналізу часових інтервалів між точками локальних екстремумів цих хвиль, що

забезпечує ідентифікацію комплексу ритмічних ознак у межах розроблюваної інформаційної технології.

У **третьому розділі** розглянуто метод статистичного аналізу електрокардіосигналів на основі моделі циклічного випадкового процесу із сегментною зонною структурою, що дало змогу оцінювати математичне сподівання та дисперсію сигналу для ідентифікації морфологічних ознак і аналізу їх варіабельності. Запропоновано структурну схему інформаційної технології інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак ЕКС, проаналізовано функції її складових та взаємозв'язки між ними. Наведено результати застосування розроблених методів і програмних засобів, які підтвердили ефективність використання морфологічних і ритмічних ознак у задачах медичної діагностики. Також за допомогою дискретного перетворення Фур'є виконано спектральний аналіз математичного сподівання та дисперсії ЕКС у межах одного циклу, що дало змогу виявити характерні діагностичні спектральні патерни для різних кардіологічних патологій.

Четвертий розділ присвячено використанню методів машинного навчання для вирішення задачі прийняття діагностичних рішень на основі ідентифікованих морфологічних та ритмічних ознак. Автором здійснено порівняльний аналіз найважливіших методів класифікації та обґрунтовано вибір оптимального варіанту. Охарактеризовано властивості точності обраного методу класифікації.

У **висновках** узагальнено основні результати дисертаційної роботи та сформульовано наукові і практичні положення, отримані у процесі дослідження.

Список використаних джерел охоплює значну кількість наукових праць вітчизняних та зарубіжних авторів, що свідчить про ґрунтовний аналіз сучасного стану досліджень у даній предметній області.

У **додатках** подано допоміжні матеріали, що доповнюють основний зміст роботи, зокрема відомості про апробацію результатів дослідження, список публікацій автора за темою дисертації, акти впровадження результатів дослідження.

7. Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні, має логічну структуру та відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, зокрема, вимогам чинного Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії.

Тематика, зміст та отримані результати дослідження відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 «Інформаційні технології».

8. Зауваження до дисертації

1. У дисертації здійснюється оцінювання функції ритму моделі електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу з використанням його сегментної зонної структури. А також йдеться про можливість оцінювання функції ритму на основі аналізу часових відліків, що відповідають піковим значенням характерних зубців сигналу. Доцільно було б продемонструвати переваги та недоліки обох підходів.

2. Вирішуючи задачу встановлення конкретного виразу для щільності розподілу функції амплітудної варіабельності автор обмежується лише перевіркою статистичної гіпотези про те, що цей розподіл є нормальним. Натомість, варто було б розглянути й інші гіпотези, принаймні для тих випадків патологічних станів, для яких гіпотеза про нормальність функції амплітудної варіабельності була відхиленою.

3. Після означення функції амплітудної варіабельності (формула (2.50)) автор зазначає, що "Відповідно до способу побудови ФАВ та розглянутих властивостей ЦВП, можна стверджувати, що вона є стаціонарною випадковою послідовністю – результати експериментальної перевірки цього твердження методами статистичних гіпотез наведено в наступному розділі". При цьому ніде не наведено означення поняття "стаціонарності", не вказано чи йдеться про стаціонарність у вузькому чи широкому сенсі. Відповідно, не зрозуміло що саме перевіряє автор у третьому розділі і яким чином результати перевірки впливають на коректне застосування запропонованих методів і моделей.

Наведені зауваження не знижують рівня наукової новизни та практичної цінності дисертаційної роботи.

9. Висновки:

1. Дисертаційна робота Мосія Любомира Євгенійовича на тему «Моделі та методи інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій розв'язано важливу науково-практичну задачу підвищення ефективності діагностики серцевих патологій шляхом моделі та методів інтелектуального аналізу інформативних ознак, що враховують циклічність і варіабельність морфологічної та ритмічної структури ЕКС.

2. За тематикою, змістом та науковими результатами дисертаційна робота відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 «Інформаційні технології».

3. Вважаю, що дисертаційна робота «Моделі та методи інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів» відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (із змінами) та Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Мосій Любомир Євгенійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» в галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Рецензент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмної інженерії
Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя



Підпис
засвідчую:
Підписання відділу

Олег Пастух

Олег Пастух

Олег ПАСТУХ