

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

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента **Хвостівського Миколи Орестовича**
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

Сучасний розвиток інформаційних технологій характеризується активним впровадженням методів математичного моделювання, інтелектуального аналізу даних, машинного навчання та штучного інтелекту в різні сфери людської діяльності, зокрема в медицину. Особливого значення набувають дослідження, спрямовані на створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у кардіології, оскільки серцево-судинні захворювання залишаються однією з провідних причин смертності та інвалідизації населення як в Україні, так і у світі. У зв'язку з цим важливим науково-прикладним завданням є підвищення ефективності автоматизованої кардіодіагностики на основі сучасних інформаційних технологій.

Електрокардіографія є одним із найбільш поширених, доступних та інформативних методів оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи. Водночас складна структура електрокардіосигналів, їх циклічний характер, наявність міжциклової варіабельності та вплив випадкових чинників істотно ускладнюють процес автоматизованого аналізу та інтерпретації діагностичної інформації. Більшість існуючих підходів зосереджені на дослідженні окремих характеристик електрокардіосигналів і недостатньо враховують взаємозв'язок між їх морфологічними та ритмічними ознаками, що обмежує можливості формування інформативного ознакового простору та знижує ефективність автоматизованого виявлення патологічних станів.

У зв'язку з цим актуальним науковим завданням є розроблення нових математичних моделей електрокардіосигналів, методів інтелектуального аналізу їх морфологічних і ритмічних характеристик та створення інформаційних технологій, які забезпечують комплексний аналіз електрокардіографічних даних, формування нових діагностично значущих ознак і підвищення достовірності автоматизованої кардіодіагностики.

Актуальність дисертаційної роботи Мосія Л.Є. зумовлена необхідністю розроблення математичних моделей та методів аналізу електрокардіосигналів, а

також створення інформаційної технології інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів, що дає змогу підвищити інформативність діагностичних показників, ефективність автоматизованої класифікації кардіологічних патологій та достовірність прийняття діагностичних рішень.

Тема дисертаційної роботи відповідає фокусу освітньо-наукової програми «Комп'ютерні науки» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, яка передбачає підготовку фахівців, здатних проводити самостійні наукові дослідження, розробляти нові методи аналізу даних, алгоритми та інформаційні технології для розв'язання складних науково-прикладних задач у сфері комп'ютерних наук.

Дисертаційне дослідження виконано в рамках науково-дослідних робіт, що виконуються у закладах вищої освіти та спрямовані на розвиток інформаційних технологій аналізу біомедичних сигналів, що підтверджує його відповідність сучасним науковим напрямом та практичним потребам галузі інформаційних технологій.

Отже, тема дисертаційної роботи є актуальною, має важливе наукове та прикладне значення і відповідає сучасним тенденціям розвитку комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

2. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно та характеризуються науковою новизною.

До результатів, що мають наукову новизну, належать:

- вперше запропоновано математичні моделі варіабельності електрокардіосигналів у вигляді функцій амплітудної та часової варіабельності характеристичних зубців електрокардіосигналу, які враховують міжциклову стохастичну динаміку амплітудних і часових параметрів кардіоциклу, що забезпечило формування нових інформативних статистичних ознак для автоматизованого аналізу та класифікації електрокардіосигналів;

- вперше розроблено інформаційну технологію інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів на основі математичної моделі електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною зонною структурою та моделей функцій амплітудної і часової варіабельності, що забезпечило підвищення інформативності аналізу електрокардіосигналів та ефективності автоматизованого виявлення патологічних змін серцево-судинної системи;

- набули подальшого розвитку методи ідентифікації та статистичного аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів шляхом врахування варіабельності характеристик сигналу на основі математичної моделі електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною зонною структурою, що дало змогу формувати більш інформативний ознаковий простір для задач комп'ютерної діагностики патологій серцево-судинної системи;

- набув подальшого розвитку метод класифікації електрокардіосигналів на основі статистичних характеристик функцій амплітудної та часової варіабельності із застосуванням алгоритмів машинного навчання та процедур оцінювання інформативності ознак, що забезпечило підвищення ефективності автоматизованого виявлення патологічних змін у роботі серцево-судинної системи та обґрунтування вагомості діагностичних показників.

3. Практична цінність одержаних результатів

Практичне значення результатів дослідження полягає у розробленні математичної моделі електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною зонною структурою, математичних моделей функцій амплітудної та часової варіабельності електрокардіосигналів, методів їх аналізу та інформаційної технології інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів, які забезпечують комплексний статистичний аналіз електрокардіографічних сигналів, формування інформативного ознакового простору та підвищення ефективності автоматизованої класифікації серцево-судинних патологій.

Запропоновані математичні моделі та методи аналізу функцій амплітудної і часової варіабельності дають змогу формувати нові діагностично значущі ознаки, які можуть бути використані у системах автоматизованої підтримки прийняття рішень для виявлення патологічних змін функціонування серцево-судинної системи.

Розроблена інформаційна технологія реалізована у вигляді програмного комплексу для статистичної обробки, аналізу та моделювання електрокардіосигналів, що забезпечує автоматизований аналіз морфологічних та ритмічних характеристик кардіоциклу, формування ознакового простору та підтримку процедур класифікації електрокардіографічних даних.

Результати дисертаційної роботи впроваджені:

– під час виконання науково-дослідної роботи «Інтелектуальні моделі в кіберфізичних 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 проектування та управління інформаційних систем».

Наявність актів впровадження підтверджує практичну значущість отриманих результатів та можливість їх використання у наукових дослідженнях, освітньому процесі та прикладних задачах аналізу біомедичних сигналів.

4. Повнота викладення результатів дослідження у наукових публікаціях

Основні наукові результати дисертаційного дослідження Мосія Л.Є. достатньо повно відображені у 20 наукових публікаціях автора. За темою дисертації опубліковано наукові статті у фахових наукових виданнях України, а також матеріали міжнародних і всеукраїнських наукових та науково-практичних конференцій. Опубліковані праці відображають ключові положення дисертаційної роботи, зокрема результати математичного моделювання електрокардіосигналів, розроблення методів ідентифікації морфологічних і ритмічних ознак та результати експериментальних досліджень ефективності запропонованої інформаційної технології.

Наукові результати, представлені у публікаціях автора, відображають основні етапи проведеного дослідження та відповідають змісту і структурі дисертаційної роботи. Матеріали дисертації апробовано на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях, що підтверджує наукову значущість та актуальність отриманих результатів.

Кількість і рівень наукових публікацій здобувача відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а їх зміст достатньо повно відображає основні результати дисертаційного дослідження.

Використання у дисертаційній роботі результатів досліджень інших авторів здійснено з дотриманням вимог наукової етики та містить коректні посилання на відповідні джерела. Порухень 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 обґрунтованими та достовірними. Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується використанням сучасного математичного апарату теорії випадкових процесів, методів статистичного аналізу, цифрової обробки сигналів та методів машинного навчання, які є загальновизнаними у сфері комп'ютерного аналізу біомедичних сигналів.

Теоретичні положення дисертації базуються на математичному представленні електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментно-зонною структурою, що дало змогу врахувати стохастичну природу сигналу та варіабельність його характеристичних параметрів у послідовних кардіоциклах. Запропоновані моделі функцій амплітудної та часової варіабельності обґрунтовано з позицій статистичного аналізу та підтверджено результатами статистичного аналізу та експериментальних досліджень на реальних електрокардіографічних даних.

Достовірність отриманих результатів підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями із використанням реальних електрокардіографічних даних, що дало змогу оцінити ефективність запропонованих методів формування інформативних ознак та їх застосування у задачах класифікації серцево-судинних патологій. Результати досліджень узгоджуються з сучасними науковими підходами до аналізу біомедичних сигналів та підтверджують доцільність використання розробленої інформаційної технології.

Додатковим підтвердженням достовірності результатів є їх апробація на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях, обговорення на наукових семінарах, а також впровадження отриманих результатів у науково-дослідній діяльності та навчальному процесі.

Таким чином, сформульовані у дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації є логічно обґрунтованими, методично коректними 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.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету і завдання дослідження, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про апробацію результатів дослідження та публікації автора.

У **першому** розділі проведено аналіз сучасного стану досліджень у галузі автоматизованого аналізу електрокардіосигналів, розглянуто існуючі підходи до аналізу морфологічних характеристик електрокардіосигналів, методи оцінювання варіабельності серцевого ритму, а також сучасні методи машинного навчання та інформаційні технології обробки біомедичних сигналів. На основі проведеного аналізу визначено основні проблеми існуючих підходів та обґрунтовано необхідність розроблення нових моделей і методів аналізу електрокардіосигналів.

У **другому** розділі розроблено математичну модель електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною зонною структурою та математичні моделі функцій амплітудної і часової варіабельності характеристичних зубців електрокардіосигналу. Запропоновані моделі враховують міжциклову стохастичну динаміку параметрів кардіоциклу та забезпечують формування інформативних статистичних ознак для автоматизованого аналізу електрокардіографічних даних.

У **третьому** розділі представлено інформаційну технологію інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів, яка включає етапи попередньої обробки сигналів, статистичного аналізу, формування ознакового простору та підготовки даних для подальшого застосування методів машинного навчання. Наведено структуру та особливості реалізації розробленої інформаційної технології.

У **четвертому** розділі наведено результати експериментальних досліджень та апробації запропонованих моделей, методів і інформаційної технології. Проведено аналіз інформативності сформованих статистичних ознак та класифікацію електрокардіосигналів із використанням методів машинного навчання, що підтвердило ефективність запропонованого підходу для виявлення патологічних змін серцево-судинної системи.

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 та інші матеріали, необхідні для підтвердження отриманих результатів.

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.

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

8. Зауваження до дисертації

Поряд із загалом високим науковим рівнем виконаної дисертаційної роботи, її теоретичною обґрунтованістю та практичною спрямованістю, у роботі можна відзначити окремі положення дискусійного характеру та рекомендаційні зауваження:

1. Проведений у роботі аналіз сучасних підходів до автоматизованого аналізу електрокардіосигналів доцільно було б доповнити більш розгорнутим порівнянням із сучасними методами обробки біомедичних сигналів, що базуються на використанні технологій глибокого навчання. Такий аналіз дав змогу би більш повно оцінити переваги та обмеження запропонованих моделей і методів

2. Запропонована математична модель електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментно-зонною структурою потребує більш детального аналізу її стійкості до впливу шумових складових та артефактів реєстрації сигналу. Це зумовлено тим, що електрокардіосигнали у реальних умовах вимірювання можуть містити різні типи завад, які можуть впливати на точність оцінювання параметрів сигналу та, відповідно, на результати подальшого аналізу.

3. Опис алгоритмічної реалізації інформаційної технології інтелектуального аналізу електрокардіосигналів подано дещо узагальнено, що ускладнює повну відтворюваність запропонованого підходу. Більш детальне представлення процедур формування ознакового простору, попередньої обробки сигналів та відбору статистичних характеристик підвищило б методичну прозорість запропонованої інформаційної технології.

4. Результати класифікації електрокардіосигналів доцільно було б доповнити більш розгорнутим порівняльним аналізом із результатами аналогічних досліджень, представлених у сучасній науковій літературі. Таке порівняння дало змогу б більш повно оцінити ефективність запропонованих методів та обґрунтувати їх конкурентоспроможність серед існуючих підходів до автоматизованого аналізу електрокардіографічних сигналів.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер і не знижують 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 розроблення моделей, методів та інформаційної технології інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів на основі математичного моделювання, статистичного аналізу та методів машинного навчання.

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, 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», галузь знань 12 «Інформаційні технології».

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри біотехнічних систем
Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя

Микола ХВОСТИВСЬКИЙ

