

ВІДГУК

офіційного опонента

Власюка Анатолія Павловича

на дисертаційну роботу Зозулі Андрія Миколайовича

на тему «**Моделювання та методи статистичного опрацювання ритмокардіосигналів із підвищеною роздільною здатністю**»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації. Серцево-судинні захворювання є одними із найпоширеніших та найнебезпечніших захворювань сучасної людини. При застосуванні медичних діагностичних та терапевтичних комп'ютеризованих систем суттєво підвищується ефективність та якість надання кардіологічних послуг населенню. При таких дослідженнях важливим є аналіз серцевого ритму.

Ефективність даного кардіологічного методу суттєво залежить від використання сучасних інформаційно-вимірювальних та діагностичних комп'ютеризованих систем, які дозволяють здійснювати автоматизацію оцінювання діагностичних ознак та прийняття медичних рішень про ритм серця людини за зареєстрованими кардіосигналами, переважно, електрокардіосигналами.

Основною складовою таких автоматизованих систем є математичне забезпечення, яке і визначає точність та достовірність проведення діагностики за електрокардіосигналами. Якість математичного забезпечення суттєво визначається якістю математичної моделі досліджуваних сигналів. Тому дана дисертаційна робота Зозулі Андрія Миколайовича є актуальною оскільки стосується розробки нової математичної моделі та методів статистичного опрацювання ритмокардіосигналів із підвищеною роздільною здатністю, які, за рахунок відображення його часової стохастичної динаміки та доповнення новими діагностичними ознаками, дають змогу підвищити рівень інформативності аналізу серцевого ритму у комп'ютерних системах функціональної діагностики стану серця.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їхня достовірність. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації повною мірою обґрунтовані, оскільки логічно випливають із результатів, отриманих за допомогою: моделювання та опрацювання електрокардіосигналів на основі розроблених методів автоматичного формування та статистичного аналізу

векторного ритмокардіосигналу, а також нових діагностичних ознак, які призначені для клінічного використання з метою проведення автоматизованої високоінформативної діагностики стану серцево-судинної системи людини. Логічна послідовність етапів проведених досліджень зумовлює коректність викладених положень. Достовірність отриманих результатів базується на обґрунтованості зроблених припущень. Достовірність отриманих результатів також підтверджують впровадження їх у медичну практику, зокрема, в ТОВ "Медичний центр «МЕВІЗ»".

Наукова новизна дисертаційної роботи:

1. В роботі розроблено математичну модель ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю та проведена її верифікація. Модель подано у вигляді вектора стаціонарних та стаціонарно пов'язаних випадкових послідовностей, яка завдяки врахуванню стохастичної часової динаміки серцевого ритму, дає змогу підвищити рівень інформативності автоматизованого аналізу серцевого ритму.

2. Розроблено метод автоматичного формування із електрокардіосигналу ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю, який ґрунтується на статистиці Бродського-Дарховського, що дозволяє автоматизувати процес аналізу серцевого ритму в комп'ютерних системах функціональної діагностики стану серця людини.

3. Створені статистичні методи аналізу ритмокардіосигналів із підвищеною роздільною здатністю, які базуються на їх новій математичній моделі у вигляді вектора стаціонарних та стаціонарно пов'язаних випадкових послідовностей. Також, обґрунтовано та застосовано методи статистичного оцінювання автокореляційних та взаємкореляційних функцій компонент векторного ритмокардіосигналу.

4. Обґрунтовано застосування матриці спектральних щільностей потужності стаціонарних компонент ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю як діагностичні ознаки, які, за рахунок відображення стохастичної часової динаміки серцевого ритму, доповнюють відомі діагностичні ознаки за векторним ритмокардіосигналом.

Значення одержаних результатів для науки і практики. Завдяки новій математичній моделі та нових методів опрацювання векторного ритмокардіосигналу розвинуто теорію математичного моделювання та аналізу серцевого ритму в інформаційних діагностичних системах в кардіологічній практиці. На основі цих теоретичних результатів розроблено систему комп'ютерних програм для автоматизованого формування та статистичного

аналізу ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю. Покладені в їх основу методи автоматичного формування та статистичного аналізу векторного ритмокардіосигналу, а також обґрунтовані нові діагностичні ознаки призначені для клінічного використання з метою проведення автоматизованої високоінформативної діагностики стану серцево-судинної системи та адаптивно-регулятивних можливостей організму людини із використанням сучасних комп'ютеризованих діагностичних систем в сфері кардіології та для проведення дослідницької роботи в науково-експериментальних лабораторіях медичного та фізіологічного напрямів.

Отримані результати дисертаційної роботи використовувались при виконанні науково-дослідної роботи, зокрема в рамках наукових тем: ДІ 86-2000 "Розробка основ теорії та засобів вимірювальних полів зображень природних водних середовищ токсичними речовинами, які існуючими методами та засобами не виявляються", де здобувачу належить розробка програмного забезпечення для імітаційного моделювання ритмічних сигналів; РК 0116U000793 «Розробка обчислювальних технологій та методів моделювання для дослідження нестационарних процесів», де здобувачу належить розробка математичної моделі ритму циклічних сигналів; РК 0116U000796 «Розробка та аналіз засобів теоретико-ігрового моделювання стратегій збалансованого технологічного розвитку територій», де здобувачу належить аналіз методів та засобів теоретико-ігрового моделювання.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у ТОВ "Медичний центр «МЕВІЗ»", в навчальний процес Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та в науково-дослідну роботу Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського.

Повнота викладу в опублікованих працях. Наукові результати, наведені у дисертаційній роботі, опубліковано у 18 наукових публікаціях: зокрема: 1 стаття у закордонному науковому періодичному виданні, 9 статей у наукових фахових періодичних виданнях України, 7 публікації у матеріалах наукових конференцій. Із них 3 публікації входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, а 8 публікацій входять до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus. Отримано свідоцтво реєстрації авторського права на комп'ютерну програму.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів з висновками, загального висновку, списку використаної літератури з 124 найменувань і 4 додатків. Написана на 199 сторінках, в тому числі 103 сторінки основного тексту та чотири додатки.

У *вступі* обґрунтовується актуальність теми, формулюється мета та основні задачі дослідження, подається короткий зміст роботи.

У *першому* розділі проведений компаративний аналіз відомих математичних моделей та методів аналізу серцевого ритму в комп'ютерних системах функціональної медичної діагностики, розглянуто відомі детерміновані та стохастичні підходи до моделювання та аналізу серцевого ритму в автоматизованих інформаційних системах на базі класичного ритмокардіосигналу та ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю. Розглянуто відомі методи автоматизованого формування реалізацій ритмокардіосигналів (ритмокардіограм) із електрокардіосигналів (електрокардіограм). Проведено аналіз відомих детермінованих математичних моделей та методів аналізу серцевого ритму у вигляді лінійної та експоненційної функціональних залежностей, які переважно використовуються для експрес-аналізу серцевого ритму за умови фізичних навантажень пацієнта.

Враховуючи виявлені недоліки існуючих моделей та методів аналізу серцевого ритму, сформульовано ряд вимог до нової математичної моделі серцевого ритму та сформульовано наукове завдання даного дисертаційного дослідження.

У *другому* розділі, ґрунтуючись на математичній моделі електрокардіосигналів у вигляді умовного циклічного випадкового процесу дискретного аргументу, побудовано нові математичні моделі, які використовуються для формалізації та статистичного аналізу серцевого ритму із підвищеною роздільною здатністю. Зокрема, побудовано вектор та матрицю випадкових послідовностей, які відображають часові тривалості між однотипними та різнотипними фазами електрокардіосигналу, що сформувало логічні підстави для узгодженості стохастичної моделі серцевого ритму та стохастичної моделі електрокардіосигналу, а також уможливило дослідження часової стохастичної динаміки серцевого ритму із підвищеною роздільною здатністю на основі методів математичної статистики.

Виходячи із висновків розділу відзначено, що нова модель ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю є значно інформативнішою у порівнянні із відомою його моделлю у вигляді вектора випадкових величини, оскільки нова модель у частинному випадку, якщо її компоненти є стаціонарними випадковими послідовностями із незалежними значеннями, то вона трансформується у вектор випадкових величини.

У *третьому* розділі розроблено метод автоматичного формування ритмокардіограми із підвищеною роздільною здатністю, шляхом сегментування та детектування типових зон електрокардіограми. Цей метод повністю

автоматизує процес аналізу серцевого ритму в комп'ютерних системах функціональної діагностики стану серця людини, ґрунтується на статистиці Бродського-Дарховського та має вищу точність у порівнянні із аналогічним методом, який ґрунтується на використанні різницевої функції першого порядку. Підтверджено статистичні гіпотези про стаціонарність компонент ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю, що забезпечило верифікацію його нової математичної моделі у вигляді вектора стаціонарних та стаціонарно пов'язаних випадкових послідовностей.

Розроблено статистичні методи опрацювання ритмокардіосигналів із підвищеною роздільною здатністю, які ґрунтуються на їх новій математичній моделі у вигляді вектора стаціонарних та стаціонарно пов'язаних випадкових послідовностей. Проведено ряд статистичних експериментів для перевірки гіпотези про нормальність розподілу стаціонарних компонент векторного ритмокардіосигналу за критерієм згоди Пірсона. Результати цих експериментів не суперечать гіпотезі про нормальність розподілу векторного ритмокардіосигналу. Обґрунтовано множину нових діагностичних ознак в комп'ютерних системах медичної діагностики за векторним ритмокардіосигналом для оцінювання стану регулятивних механізмів серцево-судинної системи та організму в цілому.

У *четвертому* розділі подані результати у вигляді системи комп'ютерних програм для опрацювання ритмокардіосигналів із підвищеною роздільною здатністю, що автоматизувало створені методи формування та статистичного аналізу векторного ритмокардіосигналу. Цю систему комп'ютерних програм втілено у багатофункціональний програмний комплекс для моделювання та автоматизованого аналізу широкого класу циклічних сигналів серця для потреб функціональної медичної діагностики, що модернізувало та розширило функціональні можливості існуючого програмного комплексу та дало змогу в автоматичний спосіб здійснювати аналіз серцевого ритму із підвищеною інформативністю. Власне модернізація програмного комплексу полягає у його дооснащенні новими блоками, а саме, блоком автоматизованого формування векторного ритмокардіосигналу (ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю), блоком статистичного аналізу векторного ритмокардіосигналу, а також блоком спектрального аналізу статистичних оцінок векторного ритмокардіосигналу.

Оформлення дисертації та автореферату

Дисертаційна робота написана грамотно. Матеріали досліджень подано логічно, послідовно та доказово. Оформлення автореферату та дисертації повністю відповідає вимогам, рекомендованим Міністерством освіти і науки

України. Текст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи, а дисертація – паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Зауваження до дисертації:

1. В першому розділі дисертації наведено приклади оцінювання ритму на основі кусково-лінійної інтерполяції, проте не розглянуті методи оцінювання ритмічної структури (дискретної функції ритму) на основі змішаних інтерполяцій (квадратичного та кубічного сплайнів), описаних в роботах Литвиненка Я.В. Робота помітно виграла якщо були б враховані зазначені результати.
2. У третьому розділі дисертації рисунок 3.2 (стор. 74) містить англійські позначення. При такому поданні необхідно зазначити англійське джерело, з якого він запозичений.
3. У тексті дисертації необхідно навести формули, за якими визначались абсолютні та відносні похибки, подані на рисунку 3.5 (стор. 77).
4. У тексті автореферату на рисунку 4, б дуже дрібні позначення із-за цього утруднено їх читання.
5. У тексті автореферату (під рисунком 4.1) необхідно було навести опис позначень, які використовуються на даній структурній схемі. Також є описка в нумерації цього рисунку - він має бути рис. 5.

Зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Зозулі Андрія Миколайовича є завершеною науковою працею, в якій отримано нові наукові та прикладні результати, а саме, розроблено нові математичні моделі та методи статистичного опрацювання ритмокардіосигналу із підвищеною роздільною здатністю (векторного ритмокардіосигналу), які, за рахунок відображення його часової стохастичної динаміки та доповнення новими діагностичними ознаками, дають змогу підвищити рівень інформативності аналізу серцевого ритму у комп'ютерних системах функціональної діагностики стану серцево-судинної системи та адаптивно-регуляторних механізмів організму людини в цілому.

За актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення поставлених наукових та практичних задач, новизною і ступінню обґрунтованості отриманих результатів, практичних висновків та рекомендацій робота задовольняє вимогам «Порядку присудження наукових

ступенів», а її автор Зозуля Андрій Миколайович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри економіко-математичного
моделювання та інформаційних технологій,
Національного університету «Острозька академія»



Власюк А.П.

ПІДПИС
ПІДТВЕРЖУЮ
НАЧАЛЬНИК ВІДДІЛУ
КАДРІВ НАУ «ОА»

Власюк



Власюк