

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії Любомир Євгенійович МОСІЙ, 1973 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 1997 році Тернопільську академію народного господарства за спеціальністю «Інформаційні системи в менеджменті», працює провідним інженером кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, Міністерство освіти і науки України, м. Тернопіль, виконав акредитовану освітньо-наукову програму Комп'ютерні науки.

Разова спеціалізована вчена рада, утворена наказом ректора Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Міністерства освіти і науки України, м. Тернопіль
від 24 квітня 2026 року № 4/7-183 у складі:

Голови разової

спеціалізованої вченої ради – Ярослава ЛИТВИНЕНКА, доктора технічних наук, професора, професора кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;

Рецензентів – Олега ПАСТУХА, доктора технічних наук, професора, професора кафедри програмної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;
Миколи ХВОСТИВСЬКОГО, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;

Офіційних опонентів – Романа ЮЗЕФОВИЧА, доктора технічних наук, професора, завідувача відділу № 9 Методів та засобів відбору й обробки діагностичних сигналів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України;
Павла РАДЮКА, доктора філософії (Ph.D.), доцента кафедри комп'ютерних наук Хмельницького національного університету,

на засіданні 07 липня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології

Любомиру МОСІЮ

на підставі публічного захисту дисертації «Моделі та методи інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів» за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Дисертацію виконано у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, Міністерство освіти і науки України, м. Тернопіль.

Наукові керівники: Михайло ФРИЗ, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя; Андрій СВЕРСТЮК, доктор технічних наук, професор, професор кафедри медичної інформатики Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського Міністерства охорони здоров'я України; професор кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису, який містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які вирішують важливу

науково-практичну задачу розроблення моделей та методів інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів для підвищення достовірності автоматизованого опрацювання та аналізу електрокардіографічної інформації, зокрема: застосовано математичну модель електрокардіосигналу у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною зонною структурою, що дає змогу одночасно враховувати морфологічні та ритмічні ознаки сигналу; обґрунтовано математичні моделі функції амплітудної варіабельності (ФАВ) та функції часової варіабельності (ФЧВ) електрокардіосигналу; розроблено методи статистичного оцінювання та валідації цих функцій; запропоновано методи класифікації електрокардіосигналів за морфологічними та ритмічними ознаками із застосуванням алгоритмів машинного навчання; розроблено інформаційну технологію опрацювання та аналізу електрокардіосигналів з урахуванням їх морфологічних та ритмічних ознак.

Дисертаційну роботу виконано згідно з напрямом науково-дослідних робіт міжнародної наукової школи «Моделювання та математичне забезпечення інтелектуалізованих інформаційних систем в медицині, техніці та економіці», яка функціонує на кафедрі комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Також дисертаційна робота пов'язана з дослідженням в рамках науково-дослідної роботи «Інтелектуальні моделі в кібер-фізичних системах медико-біологічних процесів», № держреєстрації 0125U000105, Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського Міністерства охорони здоров'я України (ТНМУ).

Наукова новизна полягає в застосуванні моделей та розробці методів інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів на основі математичного апарату циклічних випадкових процесів та засобів машинного навчання, а саме:

вперше:

- запропоновано математичні моделі варіабельності ЕКС у вигляді функції амплітудної варіабельності (ФАВ) – випадкової послідовності різниць амплітуд зубців ЕКС (P, Q, R, S, T) у послідовних кардіоциклах, та функції часової варіабельності (ФЧВ) – послідовності часових інтервалів між піками однойменних зубців ЕКС у послідовних кардіоциклах, що на відміну від існуючих моделей враховують амплітудну і ритмічну структуру кардіоциклу та їх міжциклову стохастичну динаміку. Це дає змогу ідентифікувати комплекси морфологічних та ритмічних діагностичних ознак на основі статистичних характеристик ФАВ і ФЧВ;

- запропоновано метод ідентифікації інформативних морфологічних ознак ЕКС на основі його моделі у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною зонною структурою, що на відміну від існуючих методів враховує розкиди амплітуди на циклах сигналу. Це дає змогу ідентифікувати діагностичні ознаки ЕКС, які відображають варіабельність морфологічної структури на циклах та запропонувати алгоритм їх аналізу і комп'ютерного моделювання;

отримали подальший розвиток:

- метод ідентифікації інформативних ритмічних ознак ЕКС на основі його моделі у вигляді циклічного випадкового процесу із сегментною зонною структурою, що на відміну від існуючих методів враховує розкиди тривалостей циклів і діагностичних зон циклічного сигналу. Це дає змогу ідентифікувати діагностичні ознаки ЕКС, які відображають варіабельність ритму на циклах та запропонувати алгоритм їх аналізу і комп'ютерного моделювання;

- метод класифікації серцево-судинних захворювань на основі виділених із функції амплітудної варіабельності морфологічних ознак із використанням алгоритмів машинного навчання та SHAP-аналізу, що дозволило обґрунтувати важливість діагностичних ознак та розширити діагностичні можливості кардіодіагностики.

Дисертація виконана державною мовою та оформлена згідно вимог, встановлених МОН. Дисертаційна робота викладена на 221 сторінці. Текст основної частини дисертації становить 5,46 авторських аркушів.

Здобувач має 20 наукових публікацій за темою дисертації, з них 12 у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, та 8 праць у матеріалах конференцій, з яких 4 індексуються у наукометричній базі Scopus:

1. Мосій Л. Є., Сверстюк А. С. Методи моделювання та класифікації електрокардіосигналів. Computer-integrated technologies: education, science, production. 2025. № 58. С. 104–115. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-58-12>.

2. Mosiy L., Sverstiuk A. Methods of electrocardiogram classification and their mathematical model in the form of a cyclic discrete random process. Computer systems and information technologies. 2025. No. 1. P. 88–99. <https://doi.org/10.31891/csit-2025-1-11>.

3. Сверстюк А., Мосій Л. Математична модель варіацій екстремумів характеристичних зубців електрокардіосигналів на основі дискретної функції амплітудної варіабельності. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2025. № 355(4). С. 404–413. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-355-57>.

4. Сверстюк А. С., Мосій Л. Є. Математичне моделювання амплітудної варіабельності електрокардіосигналів для інформаційної технології аналізу їх морфологічних та ритмічних ознак. Computer-integrated technologies: education, science, production. 2025. № 59. С. 228–240. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-59-29>.

5. Mosiy L., Sverstiuk A. Information Technology for Electrocardiographic Signal Analysis Based on Mathematical Models of Temporal and Amplitude Variability. Computer systems and information technologies. 2025. No. 2. P. 36–44. <https://doi.org/10.31891/csit-2025-2-4>.

6. Сверстюк А. С., Мосій Л. Є. Інформаційна технологія опрацювання та аналізу електрокардіосигналів з врахуванням їх морфологічних та ритмічних ознак. Computer-integrated technologies: education, science, production. 2025. № 60. С. 40–52. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-60-04>.

7. Sverstiuk A., Mosiy L. Results of application of information technology for processing and analysing electrocardiogram signals taking into account their morphological and rhythmic characteristics. Computer systems and information technologies. 2025. No. 3. P. 36–46. <https://doi.org/10.31891/csit-2025-3-4>.

8. Мосій Л., Сверстюк А. Методи машинного навчання для класифікації електрокардіосигналів за ритмічними та морфологічними ознаками. Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Інформаційні системи та мережі». 2025. № 18(2). С. 113–128. <https://doi.org/10.23939/sisn2025.18.2.113>.

9. Мосій Л. Є., Фриз М. Є. Статистична валідація моделі амплітудної варіабельності електрокардіосигналу. Ukrainian Journal of Information Technology. 2025. № 7(2). С. 50–57. <https://doi.org/10.23939/ujit2025.02.050>.

10. Сверстюк А. С., Мосій Л. Є. Багатофакторний регресійний аналіз для прогнозування кардіологічного діагнозу на основі функції амплітудної варіабельності. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2025. № 4. С. 136–145. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-181-4-136-145>.

11. Сверстюк А. С., Мосій Л. Є. Підхід до оцінювання електрокардіосигналів на основі багатофакторного регресійного аналізу функції часової варіабельності. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2025. № 5. С. 96–104. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-182-5-96-104>.

12. Мосій Л., Сверстюк А., Ремез А., Марковський В. Аналіз досліджень жорсткості армованих композитів в радіотехніці та медицині. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2025. № 357(5.2). С. 55–71. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-66>.

13. Sverstiuk A., Polyvana U., Mosiy L., Mosiy O., Butsiy R. Approaches to the development of information technology for ECG analysis to evaluate quality of life in Smart Cities. 3rd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2025). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 11-12, 2025. Vol 4057. P. 240–260.

14. Мосій Л. Є., Сверстюк А. С. Підхід до розроблення інформаційної технології експертного аналізу морфологічних ознак кардіосигналів на основі дискретної функції амплітудної варіабельності. Міжнародна науково-технічна конференція «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвячена 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 28–29 травня 2025 р., Тернопіль. С. 213–215.

15. Сверстюк А., Мосій Л. Підхід до розроблення інформаційної технології аналізу кардіосигналів на основі моделей циклічного дискретного випадкового процесу з часовою функцією ритму та функцією амплітудної варіабельності». II Всеукраїнська науково-практична конференція «Інноваційні підходи до розвитку технологій та економіки», 06 червня 2025 р., на базі Закарпатського навчально-наукового центру, Закарпатська обл., м. Свалява. С. 322–326.

16. Mosiy L., Sverstiuk A. Mathematical modeling of electrocardiographic signals using temporal rhythm and amplitude variability functions. MSSE2025 – International Young Scientists Conference on Materials Science and Surface Engineering, September 24-26, 2025, Lviv, Ukraine. P. 295–298.

17. Мосій Л. Є. «Статистичні методи валідації моделі амплітудної варіабельності електрокардіосигналу». XIV Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11-12 грудня 2025 р., Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль. С. 310–311.

18. Tymoshchuk D., Didych I., Sverstiuk A., Mosiy L., Palianytsia Y. AutoML PyCaret and SHAP Explainable AI for ECG Signal Classification Based on Amplitude Variability. ExplAI-2025: Advanced AI in Explainability and Ethics for the Sustainable Development Goals, November 07, 2025, Khmelnytskyi, Ukraine. CEUR Workshop Proceedings. Vol. 4141. P. 1–15.

19. Mosiy L., Fryz M., Palianytsia Y., Mlynko B., Mosiy O. Mathematical Modeling and Statistical Validation of the Amplitude Variability Function of Electrocardiographic Signals. ITTAP'2025: The 5th International Conference on Information Technologies: (ITTAP-2025), October 22-24, 2025, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland. CEUR Workshop Proceedings. Vol. 4146. P. 151–159.

20. Tymoshchuk D., Sverstiuk A., Tymoshchuk V., Mosiy L., Bahrii-Zaiats O. AutoML-Driven ECG Classification of Cardiac Pathologies with Explainable AI. Profit AI'25: 5th International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence, October 15-17, 2025, Liverpool, UK. CEUR Workshop Proceedings. Vol. 4164. P. 440–453.

У дискусії взяли участь голова, рецензенти, офіційні опоненти, інші присутні та висловили зауваження:

Ярослав ЛИТВИНЕНКО, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (голова разової спеціалізованої вченої ради) відзначив належний науковий рівень дисертаційного дослідження та дав позитивну оцінку отриманим результатам, які розв'язали важливу науково-практичну задачу розроблення моделей та методів інтелектуального аналізу морфологічних і ритмічних ознак електрокардіосигналів.

Роман ЮЗЕФОВИЧ, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу № 9 Методів та засобів відбору й обробки діагностичних сигналів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України (офіційний опонент), вказав на обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, представлених у дисертаційній роботі, однак висловив наступні зауваження:

- у роботі доцільно було б розглянути кореляційні і спектральні властивості характерних реальних кардіосигналів;
- означення (стор. 61) невдало сформульовано;
- структурна схема (рис. 3.1, стор. 90) є перевантаженою і занадто громіздкою для розуміння;
- автор місцями недостатньо чітко використовує математичні терміни (“...дисперсія моделі...” замість “...величина дисперсії даних у моделі...”);
- відносні похибки слід було представити у відсотках;
- автор вживає термін “характерні хвилі”. Не зрозуміло, що мається на увазі;
- у висновках розділу 3 автор говорить про функціонал, але сам вигляд функціоналу не поданий;
- наведений у Додатку К Фрагмент програмного коду розробленого ПЗ не є інформативним для даної роботи;
- по тексту зустрічаються граматичні, орфографічні та стилістичні помилки.

Павло РАДЮК, доктор філософії (Ph.D.), доцент кафедри комп'ютерних наук Хмельницького національного університету (офіційний опонент), позитивно оцінивши загальний науковий рівень дисертації та виокремивши її практичну цінність, зауважив:

- у підрозділі 1.4 дисертації сформульовано шість вимог до математичних моделей та методів аналізу ЕКС (стор. 56–57). У табл. 1.1 наведено порівняння детермінованих, стохастичних моделей, ЦВП, ФАВ, ФЧВ та ЦВП із сегментною зонною структурою (стор. 58). Водночас доцільно було б подати формалізовану шкалу вагомості цих критеріїв, оскільки в таблиці використано лише бінарні позначення наявності або відсутності властивостей;

– у підрозділі 2.5.1 функцію амплітудної варіабельності визначено як різницю амплітуд однойменних зубців P, Q, R, S, T у поточному та попередньому кардіоциклах за формулою (2.50) на стор. 84. Окремо наведено механізм обробки артефактних значень через останній валідний цикл за формулою (2.51) на стор. 85. Проте в роботі недостатньо кількісно оцінено, як похибки виявлення піків P, Q, R, S, T або зміщення меж кардіоциклів впливають на значення ФАВ і ФЧВ;

– у розділі 3 експериментальна верифікація проведена на реальних записах електрокардіосигналів, зокрема з використанням бази PhysioNet, як вказано на стор. 111–112. Проте опис формування вибірки, балансу між класами, характеристик пацієнтів, відведень та умов попереднього опрацювання міг би бути докладнішим. Це дало б змогу точніше оцінити межі узагальнення отриманих результатів на інші групи пацієнтів і типи електрокардіографічних записів;

– статистичну валідацію ФАВ подано достатньо докладно: результати перевірки стаціонарності наведено в табл. 3.5 (стор. 115), нормовані автокореляційні функції – на рис. 3.14 (стор. 116), а результати тесту Андерсона-Дарлінга – у табл. 3.6 (стор. 118). Однак у межах розділу 3 не завжди достатньо пояснено, як суперечливі результати різних статистичних критеріїв впливають на подальший вибір ознак. Доцільно було б ширше прокоментувати практичні наслідки випадків, коли одна характеристика визнається прийнятною за одним критерієм і непринятною за іншим;

– у четвертому розділі отримано високі значення точності класифікації після попередньої обробки даних. Зокрема результати класифікації морфологічних ознак наведено в табл. 4.1–4.4 на стор. 130–132, а ритмічних ознак – у табл. 4.5–4.8 на стор. 132–134. Разом із тим бажано було б докладніше описати процедуру розподілу даних на навчальну та тестову частини, запобігання потраплянню фрагментів одного пацієнта до різних вибірок, а також подати довірчі інтервали або результати багаторазової перехресної перевірки. Це посилює переконливість висновків щодо стійкості класифікаційних моделей;

– інтерпретація діагностичної значущості окремих статистичних ознак, що описана в підрозділі 4.2.4, зокрема асиметрії та ексцесу функції амплітудної варіабельності, є цікавою і перспективною. Однак клінічне тлумачення цих ознак у зв'язку з усталеними електрокардіографічними критеріями подано стисло. Варто було б доповнити роботу ширшим обговоренням того, як отримані математичні ознаки можуть бути пояснені лікарю-кардіологу та зіставлені з традиційними діагностичними показниками;

– розроблений у межах дисертації програмний комплекс «Статистична обробка та моделювання циклічних сигналів» описано з погляду функціональних можливостей у додатку І. Водночас у тексті бракує розгорнутого аналізу обчислювальної складності, часу опрацювання типового запису, вимог до апаратного середовища та сценаріїв роботи з великими масивами електрокардіографічних даних. Такий аналіз був би корисним для оцінювання готовності програмного комплексу до ширшого практичного застосування.

Олег ПАСТУХ, доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (рецензент), не применшуючи наукового здобутку дисертації та підкресливши важливість отриманих результатів, зауважив:

– 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;

– 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;

– 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.

Микола ХВОСТИВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (рецензент), не применшуючи наукового здобутку дисертації та підкресливши вагомість одержаних результатів, зауважив:

- 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;

- 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;

- 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;

- 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.

Проте, варто підкреслити, що вказані зауваження ніяк не зменшують наукову та практичну цінність отриманих результатів дисертаційного дослідження і жодним чином не впливають на загальну позитивну та схвальну оцінку дисертаційної роботи.

Результати відкритого голосування:

«За» 5 членів ради,
«Проти» 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує Любомиру МОСІЮ ступінь доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова разової спеціалізованої вченої ради



Ярослав ЛИТВИНЕНКО

(власне ім'я та прізвище)