Голові разової спеціалізованої вченої ради
Державного університету
«Житомирська політехніка»
доктору технічних наук, професору
ЖУРАВСЬКОМУ Ю. В.

ВІДГУК
офіційного опонента
доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри комп'ютерних наук
Київського столичного університету імені Бориса Грінченка
БОНДАРЧУКА Андрія Петровича
на дисертаційну роботу

Мацієвського Вадима Анатолійовича
на тему **«Модель, методи, алгоритми та програмне забезпечення опрацювання результатів біомедичних показників»**,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 – Інформаційні технології
за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота Мацієвського Вадима Анатолійовича присвячена актуальній проблемі забезпечення достовірності автоматизованого опрацювання біомедичних показників в умовах, коли дані надходять від різнорідних засобів вимірювання. Стрімкий розвиток носимих сенсорів, систем дистанційного моніторингу пацієнтів та платформ Інтернету медичних речей (IoMT) зумовлює ситуацію, за якої одна аналітична система має одночасно опрацьовувати сигнали, зареєстровані з різною частотою дискретизації, розрядністю аналого-цифрового перетворення та рівнем завад. Це знаходить підтвердження у зростаючій кількості наукових публікацій та практичних розробок у сфері гармонізації гетерогенних медичних даних, нелінійного аналізу біосигналів і пояснюваного штучного інтелекту в системах підтримки прийняття клінічних рішень.

Важливою є й проблема апаратного зміщення даних, на яку звертає увагу здобувач. Різні засоби вимірювання вносять у результати систематичні відмінності, не пов'язані зі станом пацієнта, і без належної компенсації моделі машинного навчання можуть хибно сприймати їх як діагностично значущі ознаки. У наявних платформах таку компенсацію здебільшого виконує сама навчена модель, тому її неможливо перевірити окремо, а заміна або додавання

сенсора потребує повторного навчання моделі. Додаткові вимоги до програмного забезпечення зумовлені обмеженими обчислювальними ресурсами периферійних пристроїв та необхідністю обґрунтовувати автоматизовані висновки в медичній практиці, що робить актуальним розроблення обчислювально ефективних та інтерпретованих алгоритмів.

Отже, тема дисертаційного дослідження є своєчасною, актуальною та має вагоме науково-прикладне значення. Вирішення поставленого завдання сприятиме підвищенню достовірності предиктивних висновків програмних комплексів біомедичного моніторингу та спрощенню підключення нових джерел даних без перенавчання аналітичних моделей.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Аналіз дисертації та наукових публікацій Мацієвського В.А. дозволяє вважати, що ступінь обґрунтованості, цілісності та достовірності викладених наукових положень, висновків та рекомендацій не викликає сумнівів. Здобувач опрацював значний масив сучасних вітчизняних і зарубіжних джерел (153 найменування, переважна більшість – іноземною мовою), критично проаналізував наявні комерційні та відкриті платформи, а також методи обробки біосигналів і алгоритми інтелектуальної діагностики, що дало змогу чітко окреслити невирішену частину проблеми.

Матеріали дисертації викладено послідовно і системно, розділи взаємопов'язані між собою. Мета дослідження – розробка моделі, методів, алгоритмів та програмного забезпечення опрацювання результатів біомедичних показників у реальному часі для підвищення точності предиктивної діагностики та підтримки прийняття клінічних рішень – відповідає задекларованій темі. Поставлені завдання (аналіз сучасного стану опрацювання біомедичних показників; розроблення методу формування простору ознак на основі геометричних інваріантів фазового портрета біосигналу; розроблення інтелектуального алгоритму діагностики; розроблення узагальненої комбінованої моделі; програмна реалізація та тестування) логічно підпорядковані меті, що дозволило здобувачу отримати вагомі наукові результати.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

вперше: - розроблено метод формування простору ознак предиктивних програмних компонентів біомедичного моніторингу, який, на відміну від відомих методів екстракції ознак на основі часового та частотного аналізу, ґрунтується на обчисленні геометричних інваріантів фазового портрета

біосигналу, що забезпечує стійкість ознак до коливань частоти дискретизації та апаратних збоїв сенсорів;

- запропоновано модель інваріантного конвеєра опрацювання біомедичних показників, яка, на відміну від відомих моделей IoMT-платформ, де компенсація розбіжностей джерел даних виконується всередині навченої класифікаційної моделі, реалізує цю компенсацію окремим детермінованим етапом конвеєра;

- запропоновано метод автоматичного вибору тракту реконструкції фазового простору біосигналу за морфологічним критерієм у реальному часі, який, на відміну від відомого вибору методу реконструкції за апріорним типом сигналу, забезпечує узагальнюваність підходу на довільний квазіперіодичний біосигнал;

- запропоновано метод ентропійної оцінки заповнення фазової площини шляхом нормування ентропії розподілу точок стану на максимальну ентропію сітки, який, на відміну від існуючих, забезпечує обмеженість метрики діапазоном [0; 1] та стійкість ознаки до пропусків у потоці даних;

удосконалено: - алгоритмічну логіку конвеєра трансформації даних у складі програмних сервісів забезпечення інтероперабельності гетерогенних медичних даних шляхом виділення баєсівської корекції джерел в окремий мікросервіс етапу первинної обробки данних;

- розрахунок фазового коефіцієнту варіації форми як застосування класичного коефіцієнта варіації до радіус-векторів фазової траєкторії відносно центроїда, що дозволяє виявляти мікроаритмії та нестаціонарні перешкоди безпосередньо в процесі потокової обробки сигналу.

набули подальшого розвитку: архітектурно-алгоритмічні рішення підсистеми підтримки прийняття клінічних рішень шляхом гібридизації предиктивних векторів рекурентної нейромережі та детермінованих продукційних експертних правил над розробленими фазовими критеріями, що забезпечило верифікованість та прозорість висновків; підходи до розподілу обчислювального навантаження у розподілених програмних комплексах охорони здоров'я за рахунок винесення цифрової смугової фільтрації та поциклової сегментації сигналів на периферійний рівень.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

- розроблено програмні алгоритми обчислення запропонованих фазових критеріїв, які функціонують у режимі потокової обробки;

- реалізовано хмарний мікросервіс предиктивного аналізу та декларативну базу знань діагностичної системи на основі продукційних експертних правил, що забезпечує інтерпретованість висновків штучного інтелекту;

- реалізовано програмне забезпечення обробки біомедичних показників та проведено серію експериментів, що дозволило підтвердити здатність апаратно-інваріантної системи компенсувати апаратну розбіжність джерел даних при підключенні різнорідних сенсорів та публічних наборів даних, коректно усувати спотворення фазових критеріїв на етапі попередньої обробки сигналу та функціонувати в режимі потокової обробки, придатному для застосування в реальному часі.

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректним застосуванням апарату теорії динамічних систем, цифрової обробки сигналів, математичної статистики та машинного навчання; узгодженістю аналітичних оцінок з результатами обчислювальних експериментів, зокрема підтвердженням лінійної обчислювальної складності конвеєра профілюванням; ретельно продуманою методикою експериментів із заздалегідь зафіксованими критеріями прийняття, базою порівняння та статистичною перевіркою значущості; повним набором автоматизованих тестів програмної реалізації. Окремо слід відзначити коректну позицію здобувача щодо меж застосовності отриманих результатів, зокрема умов виконання інваріанта апаратної незалежності.

Апробація результатів дослідження проводилась у закладах охорони здоров'я (ТОВ «Медичний центр Асклепій Плюс», КУ «Обласна клінічна лікарня ім. О. Ф. Гербачевського» Житомирської обласної ради) та в освітньому процесі Державного університету «Житомирська політехніка», що підтверджено відповідними довідками. Основні положення роботи доповідались на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях. Тому апробація результатів дисертації є достатньою.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Маційовського В.А. повністю відповідає паспорту спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують важливе науково-прикладне завдання в галузі інженерії програмного забезпечення. Ці результати свідчать про вагомий особистий внесок здобувача в розвиток методів і програмних засобів опрацювання біомедичних даних.

Аналіз тексту дисертації, наукових публікацій здобувача, опису його особистого внеску в праці, підготовлені у співавторстві, а також звіту подібності, сформованого за допомогою програми StrikePlagiarism, засвідчує відсутність ознак академічного плагіату, фабрикації та фальсифікації. Запозичені ідеї, методи та положення інших авторів супроводжуються коректними посиланнями на першоджерела, а внесок здобувача в колективні публікації чітко визначено у вступі до дисертації. Здобувач також зазначає, що засоби штучного інтелекту застосовувалися лише як допоміжний інструмент для графічного оформлення окремих схем за авторським описом, тоді як постановка завдань, проведення експериментів, інтерпретація результатів і формулювання висновків виконані ним самостійно.

Таким чином, вважаю, що дисертаційна робота Мацієвського Вадима Анатолійовича є самостійним науковим дослідженням, виконаним з дотриманням принципів академічної доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал дисертації викладено послідовно, логічно та доступно із використанням загальноприйнятої термінології у галузі інженерії програмного забезпечення та інформаційних технологій.

Дисертація складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, об'єкт, предмет, завдання та методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення результатів, наведено інформацію про апробацію та публікації здобувача.

У першому розділі проведено аналіз стану проблеми опрацювання біомедичних показників у розподілених середовищах IoMT: визначено групи суперечливих вимог до таких систем (інтероперабельність, латентність, верифікованість, захист персональних даних), розглянуто нормативну базу, проаналізовано наявні платформи, класифіковано методи обробки біосигналів та алгоритми інтелектуальної діагностики. Обґрунтовано доцільність застосування методів фазового простору за умови розроблення кількісних критеріїв, придатних до автоматичної програмної інтерпретації.

У другому розділі запропоновано алгоритмічну логіку первинної обробки даних на основі байєсівської корекції джерел та багатомірної імпутації пропусків, метод формування простору ознак на основі фазового портрета біосигналу з критеріями IDA, NFD та FCV, інтелектуальний алгоритм діагностики на основі поєднання мережі LSTM та бази продукційних

правил з доведенням її повноти й несуперечливості, а також узагальнену модель апаратно-інваріантного конвеєра з формалізованим критерієм підключення нового джерела даних без перенавчання.

У третьому розділі представлено обґрунтування технологічного стеку та мікросервісної архітектури, архітектурні діаграми в нотації C4, алгоритми у вигляді блок-схем і програмну реалізацію прототипу платформи. Описано експериментальну базу та результати серії експериментів щодо стійкості критеріїв до частоти дискретизації і втрат пакетів, ефективності корекції джерел, усунення завад, калібрування порогів продукційних правил та профілювання обчислювального ядра.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 12 наукових працях здобувача, серед яких: 2 публікації у виданнях, що індексуються в міжнародній наукометричній базі Scopus, 2 статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б», та 8 публікацій у матеріалах наукових конференцій.

Таким чином, основні наукові результати, що описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:

1. Інваріантність критерію IDA до частоти дискретизації експериментально перевірено лише для частот 125, 250 та 500 Гц, тоді як частина носимих сенсорів, зокрема браслети, реєструє фотоплетизмограму з частотою 64 Гц. У роботі не досліджено, чи зберігається інваріантність критерію за таких низьких частот з урахуванням похибки п'ятиточкової схеми чисельного диференціювання (2.5), і не визначено мінімально допустиму частоту дискретизації для коректного обчислення фазових критеріїв.

2. За результатами експерименту з усунення завад для міографічного шуму та комбінованої завади відхилення IDA після обробки залишається на рівні 10,40–13,54 %, що перевищує власну похибку критерію, і такі вікна пропонується позначати прапорцем якості. Проте в роботі не оцінено частку вікон, які можуть бути виключені в реальних умовах використання носимих пристроїв (під час руху пацієнта), а також вплив такого виключення на

безперервність моніторингу та роботу підсистеми підтримки прийняття клінічних рішень.

3. Порогові значення продукційних правил визначаються на контрольній підвибірці. У роботі доцільно було б детальніше описати процедуру перекалібрування порогів для інших груп пацієнтів (з урахуванням віку, супутніх захворювань) та можливість їх індивідуалізації для конкретного пацієнта в процесі тривалого моніторингу.

4. У тексті дисертації вживається низка англомовних запозичень і калькованих термінів («батч», «денойзинг», «ablation-аналіз», «patient-wise крос-валідація» тощо), для частини яких існують усталені українські відповідники. Термінологію не уніфіковано, а відповідники для більшості таких термінів не наведено в переліку умовних скорочень.

5. Дисертація містить окремі редакційні недоліки. У тексті трапляються посилання на підрозділ 3.4, якого немає в структурі роботи. Серед перспективних напрямів досліджень, наведених наприкінці загальних висновків, помилково повторно вказано той самий напрям – перевірку фазових критеріїв на клінічно розмічених даних.

На мою думку, вказані зауваження та рекомендації не знижують загальної наукової і практичної цінності дисертаційної роботи Мацієвського Вадима Анатолійовича.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Мацієвського Вадима Анатолійовича на тему «Модель, методи, алгоритми та програмне забезпечення опрацювання результатів біомедичних показників» виконана на належному науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує важливе науково-прикладне завдання забезпечення достовірного опрацювання біомедичних показників, отриманих від гетерогенних джерел даних, у програмних комплексах біомедичного моніторингу в реальному часі з інтерпретованими висновками та можливістю підключення нових джерел без перенавчання предиктивної моделі, що має суттєве значення в сфері інженерії програмного забезпечення. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6-9 «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 від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Мацієвський Вадим Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри
комп'ютерних наук
Київського столичного
університету імені Бориса
Грінченка Андрій БОНДАРЧУК

«28» жовтня 2026 року

КИЇВСЬКИЙ СТОЛИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ БОРИСА ГРІНЧЕНКА
Код ЄДРПОУ 45307965
ВЛАСНИЙ ПІДПИС
А. Бондарчук
(ім'я)
ЗАСВІДЧУЮ
(посада)