

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
В'юницького Олега Геннадійовича
на тему «Вдосконалені методи обробки біомедичних сигналів для оцінки
фізіологічних показників людини»,
яка представлена на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації

Тема дисертаційної роботи В'юницького Олега Геннадійовича «Вдосконалені методи обробки біомедичних сигналів для оцінки фізіологічних показників людини» є актуальною, оскільки зараз активно розвиваються системи моніторингу здоров'я дорослих і дітей, але методів і систем аналізу показників здоров'я плода практично немає. Ці системи потрібні, оскільки майбутнє здоров'я людини безпосередньо закладається в утробі матері, а своєчасне виявлення захворювань може запобігти великій кількості смертей новонароджених.

В даний час одним з методів визначення стану плода в утробі вагітної жінки є неінвазивна електрокардіографія плода або дослідження абдомінальних сигналів, записаних на поверхні живота вагітної. Однак цей метод має багато недоліків, пов'язаних із складністю виділення електрокардіограми плода з сигналу черевної порожнини через наявність великої кількості компонентів перешкод у складі абдомінального сигналу. Для придушення компонентів перешкод і посилення компонентів сигналу використовуються різні складні алгоритми, зокрема методи аналізу незалежних компонент, методи фільтрації, їх комбінації, вейвлет-перетворення, методи розкладання сигналів на емпіричні моди, методи кореляції, неадаптивні методи. В свою чергу, їх можна поділити на одно каналні методи виділення та багатоканальні методи. Ще однією проблемою дослідження є вимірювання тиску у вагітних. Це дослідження пов'язане з виникненням еклампсії під час вагітності. Еклампсія може виникнути раптово, коли систолічний артеріальний тиск перевищує 150 міліметрів ртутного стовпа. Одним із методів реєстрації є реєстрація артеріального тиску за допомогою манжетного тонометра. Однак цей підхід не можна використовувати протягом тривалого періоду часу, оскільки манжета постійно надувається і створює тиск на руку. Іншим неінвазивним і безманжетним методом – є моніторинг швидкості розповсюдження пульсової хвилі. Час поширення пульсової хвилі може визначати величину артеріального тиску. Для реєстрації часу проходження пульсової хвилі достатньо зареєструвати два сигнали: сигнал електрокардіограми і сигнал фотоплетизмограми вагітної жінки.

Поєднуючи ці дві окремі системи для реєстрації та вивчення абдомінальних сигналів вагітних і систему для реєстрації фотоплетизмографічних сигналів і неінвазивного вимірювання артеріального тиску, можна оцінити стан плода в утробі та стан вагітної жінки, прогнозувати ймовірність передчасних пологів через раптове підвищення артеріального тиску вагітної та уникнути великої кількості смертності під час пологів. Тому існує нагальна потреба у розробці методів, які можуть обробляти ці сигнали для визначення фізіологічних показників людини під час вагітності.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Вивчення змісту дисертації В'юницького Олега Геннадійовича свідчить про обґрунтованість та достовірність наукових положень, та висновків. Достовірність і обґрунтованість наукових результатів забезпечується використанням в якості вхідних та вихідних даних: записів абдомінальних сигналів та анотацій до них і результатів застосування запропонованих алгоритмів, порівняння яких з анотацією дає відомості про достовірність отриманого результату. Також виконується порівняння отриманих результатів із результатами, що отримали інші автори, що також демонструє достовірність отриманих значень.

Також можна віднести використання методів розрахунків, що базуються на методах математичної статистики, математичного та чисельного моделювання, методах спектрального та біспектрального аналізу сигналів, методах вейвлет-аналізу сигналів, методах регресійного аналізу, методах машинного навчання та методах нелінійної фільтрації, що демонструє високий рівень підготовки здобувача.

В роботі використовуються методи полі-спектрального аналізу сигналів, використання яких дозволяє виділити ряд нових характерних класифікаційних ознак, що суттєво покращують результати досліджень та є ознакою новизни роботи.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується: результатами відповідних експериментальних досліджень, порівнянням отриманих результатів із результатами інших авторів, числовими даними, поданими у відповідних таблицях та продемонстрованих на рисунках у роботі, впровадженням результатів роботи в компанії ТОВ НК «КОЛІБРИ» (акт впровадження від 2 лютого 2023) при виконанні науково-дослідної роботи «Моніторинг комплексних станів за допомогою ЕКГ» для аналізу стану плода в утробі вагітної жінки за допомогою багатоканальної електрокардіографії плода, впровадженням результатів роботи у міському перинатальному центрі Харківської Міської Ради (акт впровадження від 20 лютого 2023) при виконанні науково-дослідної роботи «Розробка і впровадження в медичну практику телемедичної системи фетального хотлерівського моніторингу» для підвищення достовірності та точності діагностики при оцінці функціонального стану плода і матері в ході вагітності, впровадженням результатів роботи в компанії

ТОВ «ХАІ-МЕДИКА» (акт впровадження від 23 березня 2023) при виконанні науково-дослідної роботи «Розробка методів оцінки стану судинної системи людини на основі електроімпедансних вимірювань та нових методів просторово-часової обробки електрогістерографічних сигналів».

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- 1) розроблено новий метод попередньої оцінки абдомінального сигналу, який дозволяє визначити частотні параметри сигналу та отримати необхідну смугу частот, при використанні лінійної фільтрації, що дозволяє підвищити на 1,43 дБВт відношення сигнал/шум на відміну від інших методів;
- 2) розроблено новий метод визначення характерних точок електрокардіографічних сигналів, який дозволяє з більшою точністю визначити їх позиції, точність якого складає 99,96%;
- 3) розроблено новий метод адаптивної нелінійної фільтрації, який дозволяє видалити додатково залишки завад у абдомінальному сигналі після використання лінійної фільтрації;
- 4) розроблено новий метод крос-біспектральної обробки абдомінального сигналу, який дозволяє додатково видалити завади із абдомінального сигналу та розрахувати додаткові крос-канали, які при використанні методів сліпого поділу джерел дозволяють вирахувати більше незалежних джерел. Результати оцінки ефективності запропонованого алгоритму демонструють, що розроблений алгоритм у діапазоні SNR від -10 до 10 дБВт найкраще виділяє на фоні завад ЕКГ сигнал, збільшуючи відношення сигнал/шум в середньому на 8,47 дБВт по відношенню до інших методів;
- 5) комбінація розроблених методів дозволяє покращити та вдосконалити метод виділення електрокардіограми плоду з абдомінального сигналу, або дозволяє спростити систему реєстрації абдомінальних сигналів удвічі, проте з втратами точності визначення позиції R-характерних точок електрокардіограми плоду після її виділення на 0,61%;
- 6) розроблено нові методи вейвлет-біспектральної та вейвлет-бікогерентної оцінки сигналу ритмограми, які дозволяють виділити дві нові характерні ознаки, які можуть бути використані в діагностичних цілях;
- 7) визначено нові характерних точок сигналу фотоплетизмограми, які дозволяють визначити чотирнадцять нових класифікаційних ознак для визначення значень артеріального тиску, підвищуючи точність його визначення;
- 8) розроблено нову нейронну мережу, яка дозволяє усунути проблематику калібрування системи від людини до людини, а також додатково підвищити точність визначення значень артеріального тиску. Точність, при цьому, відповідає двом стандартам та ця система може використовуватись в медичній практиці.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

Значимість отриманих результатів для науки полягає в розробці нових методів обробки біомедичних сигналів, з використанням методів на основі біспектральної обробки сигналів, методах машинного навчання, що є вкладом у розвиток медичної апаратури завдяки розширенню методологічного апарату по обробці медичних даних.

Практична цінність роботи полягає у тому, що розроблені науково-обґрунтовані методи дозволяють підвищити ефективність обробки медичних сигналів, що дозволяє як отримати нові результати досліджень, так і спростити системи реєстрації медичних сигналів.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача В'юницького Олега Геннадійовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка та напрямам досліджень відповідно до освітньої програми телекомунікації та радіотехніка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям телекомунікації та радіотехніки.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота В'юницького Олега Геннадійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, яка відповідає особливостям стилю наукових досліджень, визначається адекватним застосуванням термінів і понять, що характерні для стандартної фахової та наукової термінології. Дослідження є цілісною роботою, в якій досягнуті тематична повнота та розкриття головної наукової ідеї автора. Подані в роботі наукові та практичні положення логічно викладені та достатньо обґрунтовані.

Дисертація складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 253 сторінки друкованого тексту, у тому числі основний текст на 181 сторінках, 21 таблиця, 142 рисунка, 303 найменувань літературних джерел та 3 додатки.

У вступі автор обґрунтував актуальність обраної теми дослідження, сформував мету і завдання дослідження, а також наукову новизну та практичне значення

отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи та особистий внесок автора.

У **першому розділі** розглянуто основні фізіологічні показники та біомедичні сигнали, які необхідні для їх розрахунку. Проаналізовані існуючі системи для оцінки фізіологічних показників для дорослих людей, а також розглянуто системи для моніторингу цих показників для плоду в утробі вагітної жінки. Розглянуто особливості обробки сигналів для отримання показників, а також вказані проблеми при обробці цих сигналів, які визначають основні задачі для дослідження в роботі.

У **другому розділі** розглянуто основні бази даних для виконання дослідження з виділення електрокардіограми плоду із абдомінального сигналу, а також продемонстровано генератори штучних абдомінальних сигналів. Запропоновано новий алгоритм біспектральної оцінки абдомінального сигналу для визначення його частотних параметрів, представлено результати фільтрації у адаптивній смузі частот і виконано порівняння результатів фільтрації з відомими смугами частот. Запропоновано новий вейвлет-біспектральний метод визначення позицій характерних точок ЕКГ сигналу, виконано визначення його чутливості. Запропоновано новий метод нелінійної одно каналної біспектральної фільтрації та виконано його порівняння із існуючими методами нелінійної фільтрації. Запропоновано новий метод крос-біспектральної обробки, який може суттєво спростити систему реєстрації абдомінальних сигналів, а також може використовуватись для багатоканальної обробки медичних сигналів. Результати демонструють його перевагу над методами сліпого поділу джерел при використанні однакової кількості вхідних каналів. Запропоновано покращений алгоритм виділення електрокардіограми плоду із абдомінального сигналу, проведено експериментальні дослідження та порівняння з існуючими методами.

У **третьому розділі** розглянуто бази даних для виконання аналізу сигналів ритмограм та визначення їх класифікаційних ознак. Представлено розроблені алгоритми оцінки параметрів сигналу ритмограми на основі вейвлет-біспектрального та вейвлет-бікогерентного методів. Запропоновано розрахунки нових класифікаційних ознак. Представлено результати комп'ютерного моделювання щодо дослідження показників запропонованих методів обробки з використанням розроблених алгоритмів.

У **четвертому розділі** розглянуто бази даних для виконання дослідження визначення значень артеріального тиску за параметрами електрокардіографічних та фотоплетизмографічних сигналів. Також продемонстровано способи попередньої обробки електрокардіографічних та фотоплетизмографічних сигналів. Представлено алгоритм пошуку характерних точок фотоплетизмографічного сигналу, а також параметрів на основі цих позицій. Представлено розрахунок нових класифікаційних ознак. Представлено результати кореляційного аналізу запропонованих класифікаційних ознак та визначено оптимальні параметри для

розрахунку значень артеріального тиску. Проведено розрахунок значень артеріального тиску за допомогою регресійних моделей з використанням одного параметру та розширеного набору параметрів. Продemonстровано розрахунок значень артеріального тиску за допомогою двох нейронних мереж, які навчені на класичних класифікаційних ознаках. Продemonстровано розрахунок значень артеріального тиску за допомогою однієї нейронної мережі, навченої на нових класифікаційних ознаках, запропонованих автором. Продemonстровано порівняльний аналіз результатів використання нейронних мереж з результатами інших досліджень, а також визначення відповідності отриманих результатів із існуючими стандартами до медичних систем.

Завершується дисертація **висновками**, і яких узагальнено матеріали, отримані автором згідно проведенням дисертаційним дослідженням. Короткі висновки також мають після кожного розділу.

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

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

За матеріалами дисертації опубліковано 21 наукову працю, з яких 4 – це статті у наукових періодичних виданнях іншої держави (США), які індексуються в SCOPUS, та віднесені до четвертого квартилю (Q4) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank; 1 – стаття у науковому періодичному виданні України, що індексується у SCOPUS, та віднесена до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, а також включеного на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, що рекомендовані до друку Вченою радою Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» та пройшли рецензування; 16 – публікації у матеріалах конференцій, серед яких 5 у матеріалах міжнародних англomовних конференцій, що включені до міжнародної наукометричної бази SCOPUS.

Основні положення дисертаційної роботи публікувались в виданнях журналу за тематикою роботи (Клінічна інформатика та телемедицина, 2017, Харків, Україна), доповідалися і обговорювалися на міжнародній конференції «IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology» (2017, Київ, Україна), міжнародній конференції «IEEE Signal Processing Symposium» (2017, Ячранка, Польща), міжнародній конференції «IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies» (2018, Київ, Україна), міжнародній конференції «IEEE 15th-16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering» (2020, 2022, Львів-Славське, Україна), науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» (2018, 2019, Харків, Україна), науково-практичній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних

технологій» (2019, Тернопіль, Україна), міжнародній конференції «Traditional and Innovative Approaches to Scientific Research» (2020, Луцьк, Україна), міжнародній конференції «Scientific Support of Technological Progress of the XXI Century» (2020, Чернівці, Україна), міжнародній конференції «Modern science: concepts, theories and methods of basic and applied research» (2021, Відень, Австрія), міжнародній конференції «Digital Theme UK-Ukraine Research Twinning Conference» (2023, Україна).

Наукові публікації здобувача містять опис наукових досліджень, проведених в рамках дисертаційного пошуку, аналізу сутності проблеми, методів і результатів проведених досліджень, а також обґрунтовані висновки. В наукових публікаціях здобувача не виявлено порушень принципів академічної доброчесності, висновки є оригінальними.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

- 1) Розроблені автором методи можуть використовуватись лише для обробки завчасно записаних сигналів, відсутня демонстрація обробки в режимі реального часу.
- 2) У розділі 2, підрозділі 2.4 продемонстровано метод біспектральної фільтрації електрокардіографічного сигналу. Для його використання необхідно завчасно проводити додатково біспектральну оцінку електрокардіографічного сигналу, що ускладнює процедуру обробки.
- 3) У розділі 2, підрозділі 2.4 на сторінці 134 у таблиці 2.8 представлено порівняння розробленого одно каналного нелінійного методу фільтрації на основі біспектральної обробки сигналів з іншими нелінійними фільтрами, такими як – усереднювальний, медіанний та вейвлет-фільтри різних типів. Однак, існують також інші методи на основі нейронних мереж. Було б доцільно провести порівняння із цими методами обробки.
- 4) Демонстрація ефективності фільтрації запропонованих методів проводилась з використанням штучних згенерованих абдомінальних сигналів. Однак, сам вдосконалений метод аналізувався, використовуючи реальні записи із бази даних. Ефективність фільтрації також можна було б продемонструвати, використовуючи реальні записи.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії В'юницького Олега Геннадійовича на тему «Вдосконалені методи обробки біомедичних сигналів для оцінки фізіологічних показників людини» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації. 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 В'юницький Олег Геннадійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Офіційний опонент

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

Є. Б. Яворська

Підпис Є. Б. Яворської засвідчую.

Проректор з наукової роботи
ТНТУ імені Івана Пулюя,
доктор технічних наук, професор



П.О. Марущак