

РЕЦЕНЗІЯ

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

Зараз у світі активно розвиваються системи моніторингу здоров'я дорослих і дітей на основі методів і алгоритмів обробки біомедичних сигналів. Оскільки майбутнє здоров'я людини безпосередньо закладається в утробі матері, то своєчасне виявлення захворювань плода може запобігти великій кількості смертей новонароджених. На жаль, нині методи та системи аналізу показників здоров'я плода практично відсутні. Тому тема дисертаційної роботи В'юницького Олега Геннадійовича «Вдосконалені методи обробки біомедичних сигналів для оцінки фізіологічних показників людини», яку саме й присвячено вирішенню проблеми діагностики фізіологічного стану, є безумовно актуальною.

Одним з методів визначення стану плода в утробі є дослідження абдомінальних сигналів, записаних на поверхні живота вагітної жінки. Однак цей метод має багато недоліків, пов'язаних із складністю відокремлення електрокардіограми плода із суміші абдомінального сигналу та завад, в складі якого також присутній сигнал електрокардіограми самої вагітної жінки. При цьому, потужність завадових компонент може мати стократне перевищення по відношенню до корисного сигналу – електрокардіограми плоду. Для придушення компонентів завад і посилення компонентів сигналу використовуються різні методи, зокрема методи аналізу незалежних компонент, методи фільтрації, їх комбінації, вейвлет-перетворення, методи розкладання сигналів на емпіричні моди, які можна поділити на одно- та багатоканальні методи. Ще однією проблемою під час вагітності є виникнення передчасних пологів, що пов'язане з виникненням еклампсії, коли систолічний артеріальний тиск перевищує 150 міліметрів ртутного стовпа. Одним із методів запобігання цього є довготривалий моніторинг артеріального тиску за допомогою манжетного тонометру. Однак цей підхід незручний, оскільки манжета постійно створює тиск на руку, викликає дискомфорт та не може застосовуватись впродовж тривалого часу. Іншим неінвазивним і безманжетним методом є моніторинг часу поширення пульсової хвилі, для реєстрації якого достатньо виконати обробку двох сигналів: сигналу електрокардіограми і сигналу фотоплетизмограми вагітної жінки.

Поєднуючи ці дві окремі системи для реєстрації та вивчення абдомінальних сигналів вагітних і систему для реєстрації фотоплетизмографічних сигналів, можна оцінити стан плода в утробі та стан вагітної жінки, прогнозувати ймовірність передчасних пологів через раптове підвищення артеріального тиску вагітної та значно зменшити смертність під час пологів. Тому існує нагальна потреба у розробці нових та вдосконалених існуючих методів обробки біомедичних сигналів, а саме абдомінальних та фотоплетизмографічних сигналів, записаних для вагітної жінки, які будуть враховувати ступінь завад, частотні параметри сигналів при їх обробці, нелінійні спотворення у сигналах, а також дозволять виявити фізіологічні показники людини.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Вивчення змісту дисертації В'юницького Олега Геннадійовича дозволяє зробити висновок про обґрунтованість та достовірність його наукових результатів. Вони забезпечуються використанням в якості вхідних та вихідних даних: записів абдомінальних сигналів та анотацій до них, зроблених досвідченими фахівцями, і результатів застосування запропонованих алгоритмів, порівняння яких з анотацією дає відомості про достовірність отриманого результату.

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».

Під час проведення досліджень здобувачем активно використовувалися сучасні методи математичної статистики, математичного та чисельного моделювання, методи спектрального та біспектрального аналізу сигналів, методи вейвлет-аналізу сигналів, методи регресійного аналізу, методи машинного

навчання та нелінійної фільтрації, що демонструє високий рівень підготовки здобувача.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

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 точністю 99,96% визначити їх позиції, що значно перевищує точність існуючих аналогів;

3) розроблено новий метод адаптивної нелінійної фільтрації, який дозволяє видалити 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 виділити додаткові крос-канали, які при використанні методів сліпого поділу джерел дозволяють визначити більшу кількість 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) виявлено нові характерні точки сигналу фотоплетизмограми, які дозволяють впровадити 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 тому система може використовуватись в медичній практиці.

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, а її результати свідчать про вагомий особистий внесок здобувача у науковий напрям телекомунікації та радіотехніки.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, 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** автором обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, сформульовано мету і завдання дослідження, а також описано 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 дорослих людей, а також показники плоду в утробі вагітної жінки, проаналізовано види біомедичних сигналів, за якими можна визначити ці показники. Проаналізовано існуючі моніторингові системи фізіологічних показників, розглянуто особливості обробки сигналів у цих системах, а також сформульовано їх основні проблеми і недоліки. Визначено задачі дослідження в дисертаційній роботі.

У **другому розділі** розглянуто основні існуючі бази абдомінальних сигналів, які можна використовувати у якості тестових даних для аналізу методів виділення

електрокардіограми плоду, а також проаналізовано властивості існуючих генераторів 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 у фіксованих смугах частот. Запропоновано новий вейвлет-біспектральний метод визначення позицій характерних точок ЕКГ сигналу, виконано визначення його чутливості. Запропоновано новий метод нелінійної одноканальної біспектральної фільтрації та виконано його порівняння із існуючими методами нелінійної фільтрації. Запропоновано новий метод крос-біспектральної обробки, який дозволяє суттєво спростити систему реєстрації абдомінальних сигналів, а також може використовуватись для багатоканальної обробки медичних сигналів. Продемонстровано 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 сигналів ритмограм, які застосовується для аналізу ефективності методів визначення за ними класифікаційних ознак. Представлено розроблені алгоритми оцінки параметрів сигналу ритмограми на основі вейвлет-біспектрального та вейвлет-бікогерентного методів. Запропоновано декілька нових класифікаційних ознак. Представлено результати комп'ютерного моделювання з визначення ефективності запропонованих методів обробки з використанням розроблених алгоритмів.

У **четвертому розділі** розглянуто бази даних електрокардіографічних та фотоплетизмографічних сигналів для тестування методів визначення артеріального тиску. Також продемонстровано способи попередньої обробки електрокардіографічних та фотоплетизмографічних сигналів. Представлено алгоритм пошуку характерних точок фотоплетизмографічного сигналу, а також визначення параметрів на основі цих позицій. Запропоновано нові класифікаційні ознаки, представлено результати кореляційного аналізу за цими ознаками та визначено оптимальні параметри методів для розрахунку значень артеріального тиску. Проведено розрахунок значень артеріального тиску за допомогою регресійних моделей з використанням одного параметру та розширеного набору параметрів. Продемонстровано розрахунок значень артеріального тиску за допомогою двох нейронних мереж, які навчені на класичних класифікаційних ознаках. Продемонстровано розрахунок значень артеріального тиску за допомогою однієї нейронної мережі, навченої на нових класифікаційних ознаках, запропонованих автором. Наведено порівняльний аналіз результатів використання нейронних мереж з результатами інших досліджень, а також визначення

відповідності отриманих результатів із існуючими стандартами до медичних систем.

У **висновках** наведено підсумкові результати проведених у дисертації наукових досліджень, що узагальнюють висновки за кожним з її розділів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог, сформульованих у наказі 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 англомовних 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, аналіз 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) Перший розділ перевантажено медичними термінами, що ускладнює сприйняття інформації з точки зору фахівців зі спеціальності Телекомунікації та радіотехніка, за якою, власне, й захищається дисертаційна робота.

2) Описані у другому розділі засоби покращення виділення кардіограми плода за рахунок попередньої фільтрації та використання біспектральної обробки застосовано лише до методу виділення на основі аналізу незалежних компонент при багатоканальній обробці. Було б доцільним проаналізувати можливість їх застосування й до інших методів виділення, зокрема більш простих одноканальних.

3) В дисертаційній роботі не наведено даних, наскільки запропоновані нові методи та модифікації відомих методів потребують більшої обчислювальної потужності та часу на проведення обробки. Такі оцінки були б дуже корисними з точки зору практичного застосування запропонованих методів.

4) Деякі з рисунків є нечіткими, погано сприймається надто маленький шрифт підписів, особливо на блок-схемах складних алгоритмів обробки.

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

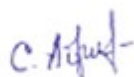
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії В'юницького Олега Геннадійовича на тему «Вдосконалені методи обробки біомедичних сигналів для оцінки фізіологічних показників людини» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим 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.

Рецензент:

Кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційно-комунікаційних
технологій ім. О. О. Зеленського
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»



Сергій АБРАМОВ

Підпис доцента Сергія Абрамова підтверджую

Вчений секретар
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Кандидат технічних наук, доцент



Тетяна БОНДАРЄВА

