

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

Зараз у цілому 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 дисертаційна робота В'юницького Олега Геннадійовича «Вдосконалені методи обробки біомедичних сигналів для оцінки фізіологічних показників людини» є безумовно актуальною.

Одним із методів визначення стану плоду в утробі вагітної жінки на поточний момент часу є дослідження неінвазійної електрокардіографії плоду або абдомінальних сигналів, зареєстрованих на абдомінальній поверхні вагітної жінки. Проте, цей метод має ряд недоліків, які пов'язані із важкістю виділення кардіограми плоду з абдомінального сигналу, через наявність у останньому великої кількості завадових компонент. Для придушення завадових компонент та виділення складових сигналу використовуються різні складні алгоритми, такі як 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. Інша проблема дослідження присвячена визначенню артеріального тиску вагітної жінки. Це дослідження пов'язано із виникненням під час вагітності захворювання еклампсії, що може проявитись раптово при підвищенні систолічного артеріального тиску вище 150 міліметрів ртутного стовбура. Одним із методів реєстрації є реєстрація артеріального тиску за допомогою манжетного тонометра. Однак, даний підхід не може використовуватись в продовж тривалого часу, оскільки відбувається постійне накачування манжети, що перетискає руку. Іншим неінвазивним і безманжетним методом – є моніторинг швидкості розповсюдження пульсової хвилі. Час поширення пульсової хвилі може визначати величину артеріального тиску. Для реєстрації часу поширення пульсової

хвилі достатньо виконувати запис двох сигналів: електрокардіографічного та фотоплетизмографічного сигналу вагітної жінки.

Комбінація цих двох окремих систем для реєстрації та дослідження абдомінального сигналу вагітної жінки та систем для реєстрації фотоплетизмографічного сигналу та неінвазійне вимірювання артеріального тиску, дозволять проводити комплексний моніторинг стану плоду в утробі та стану вагітної жінки, прогнозувати ймовірність передчасних пологів через раптове підвищення артеріального тиску вагітної та дозволить уникнути великої кількості смертності під час пологів. Тому, розробка методів, що дозволять виконувати обробку даних сигналів для визначення фізіологічних показників є актуальною задачею.

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:

- наукові положення, що виносяться на захист, висновки та рекомендації достатньою мірою обґрунтовані та апробовані;
- методи розрахунків 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 «КОЛІБРІ» (акт впровадження від 2 лютого 2023) при виконанні науково-дослідної роботи «Моніторинг комплексних станів за допомогою ЕКГ» для аналізу стану плоду в утробі вагітної жінки за допомогою багатоканальної електрокардіографії плоду;
- 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;

- впровадженню 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) В дисертаційній роботі вперше запропоновано метод попередньої оцінки абдомінального сигналу на основі біспектральної обробки сигналів, що дозволяє виконувати адаптивний розрахунок смуги частот при використанні лінійної фільтрації. Це забезпечує, по-перше, найкраще відношення сигнал/шум, починаючи від 0 дБВт, по-друге, покращити відношення сигнал/шум після фільтрації в середньому на 1,43 дБВт по відношенню до смуги частот 0,5 – 100 Гц, по-третє, покращення на відношення сигнал/шум 5,77 дБВт відповідно до смуги частот 2 – 46 Гц, по-четверте, отримати покращення відношення сигнал/шум на 11,93 дБВт відповідно до смуги частот 25 – 40 Гц;

2) В дисертаційній роботі вперше запропоновано метод визначення характерних точок електрокардіографічного сигналу на основі вейвлет-біспектральної обробки сигналів, що забезпечує збільшення ймовірності визначення R-характерної точки на 7,24% на відміну від стандартних методів, досягаючи ймовірності вірного визначення у 99,96% даних позицій;

3) В дисертаційній роботі вперше запропоновано метод адаптивної нелінійної фільтрації сигналів на основі біспектральної обробки. Цей метод забезпечує покращення в середньому на 1 дБВт результату фільтрації у діапазоні значень відношення сигнал/шум від -20 до 0 дБВт, однак при більшому відношенні сигнал/шум запропонований метод забезпечує гірший результат через внесок спотворень у початковий сигнал;

4) В дисертаційній роботі вперше запропоновано метод крос-біспектральної обробки абдомінальних сигналів, що дозволяє впровадити додаткові крос-канали, які можна використовувати в подальшій обробці. Результати оцінки ефективності запропонованого методу демонструють, що за умови початкового відношення сигнал/шум -20 дБВт запропонований метод дає найкращий результат та збільшує відношення сигнал/шум в середньому на 22 дБВт в порівнянні з існуючими методами. У діапазоні відношень сигнал/шум від -10 до 10 дБВт розроблені алгоритми забезпечують найкраще виділення ЕКГ сигналу на фоні завад, збільшуючи відношення сигнал/шум в середньому на 8,47 дБВт в порівнянні до

існуючих методів. Перевагою розробленого методу є гарантована визначеність каналу ЕКГ сигналу після виконання процедур фільтрації;

5) Удосконалено метод виділення ЕКГ плоду із абдомінального сигналу за допомогою використання запропонованих методів. Це дозволяє збільшити ймовірність визначення R-характерних точок електрокардіограми плоду на 1,27% за умови застосування однакової кількості каналів. При використанні меншої кількості початкових каналів ймовірність визначення зменшується лише на 0,61%, проте система реєстрації при цьому суттєво спрощується;

6) В дисертаційній роботі вперше запропоновано методи аналізу сигналу ритмограми на основі вейвлет-біспектральної та вейвлет-бікогерентної обробки сигналів, та вперше запропоновано дві нові класифікаційні ознаки, які відрізняються для пацієнтів із патологіями та без патологій. Дисперсія першої класифікаційної ознаки для пацієнтів з патологіями дорівнює 0,0026, а для пацієнтів без патологій 0,0032. В свою чергу, середньоквадратичне відхилення для пацієнтів з патологіями дорівнює 0,051, а для пацієнтів без патологій – 0,059. Величини запропонованої ознаки дорівнюють $0,4094 \pm 0,051$ та $0,2994 \pm 0,059$ для пацієнтів з патологіями та без патологій, відповідно. Дисперсія значень другої класифікаційної ознаки для пацієнтів з патологіями дорівнює $1,72 \cdot 10^{-10}$, а для пацієнтів без патологій $4,42 \cdot 10^{-10}$. В свою чергу, середньоквадратичне відхилення для пацієнтів з патологіями дорівнює $1,34 \cdot 10^{-5}$, а для пацієнтів без патологій – $2,11 \cdot 10^{-5}$. Таким чином, можна зробити висновок, що величини другої ознаки дорівнюють $80,6 \cdot 10^{-5} \pm 1,34 \cdot 10^{-5}$ та $3,4 \cdot 10^{-5} \pm 2,11 \cdot 10^{-5}$ для пацієнтів з патологіями та без патологій, відповідно. Дані ознаки можуть бути використані для подальшої класифікації патологій;

7) Удосконалено метод визначення значень систолічного та діастолічного артеріального тиску шляхом розрахунку п'яти нових характерних точок та чотирнадцяти нових класифікаційних ознак фотоплетизмографічного сигналу. Результати експериментальних досліджень демонструють, що точність визначення значень артеріального тиску при використанні нових класифікаційних ознак збільшується в порівнянні з існуючими результатами інших авторів. В дисертаційній роботі вперше запропоновано нову нейронну мережу для визначення значень артеріального тиску, точність визначення значень артеріального тиску якої відповідає стандартам AAMI та BHS.

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 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** 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 проведеним 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 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, 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) У розділі 2, у підрозділі 2.6 при дослідженні вдосконаленого методу виділення електрокардіограми плоду з абдомінального сигналу з використанням розроблених автором нових методів, висвітлені результати порівняння з одним із комбінованих методів, який базується на методах нелінійної фільтрації, методах аналізу незалежних компонент та сліпого поділу джерел, проте не вказані результати порівняння з методами на основі нейронних мереж, опис яких було представлено у підрозділі 1.3.6 дисертаційної роботи.

2) У розділі 3 роботи представлено дослідження виявлення наявності патологій за допомогою запропонованих вейвлет-біспектрального та вейвлет-бікогерентного методів, вказані нові класифікаційні ознаки, які можуть свідчити про наявність патології. Проте, немає визначення самого класу або типу патології.

3) У розділі 4 роботи автор розробив прямі нейронні мережі, які виконують розрахунок артеріального тиску за набором входних класифікаційних ознак, які визначаються завчасно. Проте, існують згорткові нейронні мережі, які автор не використовував і не розглядав. Цей тип нейронних мереж здатний автоматично визначати класифікаційні ознаки у входних даних, а як входні дані може бути використаний сам сигнал без попередньої 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.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електронних засобів
інформаційно-комп'ютерних технологій
Національного університету
«Львівська політехніка»



Роман ГОЛЯКА

М.П.

Підписав/ав
Взяв/ла



Р. Бригадєвська