

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Буція Романа Андрійовича

на тему *«Моделювання та методи ефективного опрацювання циклічних сигналів в нейроінтерфейсних та кардіодіагностичних системах»*,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань
Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Актуальність теми дисертації.

Створення високоточних неінвазивних нейроінтерфейсів, систем діагностики функціонального стану серця та систем динамічної біометричної аутентифікації стає ключовим завданням в області сучасної науки та інженерії. Зокрема, розробка інтерфейсів мозок-комп'ютер (ІМК), що використовують електроенцефалографічні (ЕЕГ) сигнали для зв'язку між людським мозком та комп'ютерними системами, набуває особливої актуальності. Підвищення точності та оптимізація алгоритмів обробки ЕЕГ є важливими для забезпечення надійної комунікації та контролю систем.

Попри значний прогрес у цій галузі, існують численні виклики та невирішені питання, які потребують подальших досліджень. Зокрема, важливою є розробка більш точних моделей та методів для розпізнавання та класифікації біомедичних сигналів, зокрема ЕЕГ та ЕКГ сигналів, які мають складну динамічну циклічну структуру. Існуючі стохастичні математичні моделі біомедичних сигналів у переважній більшості не враховують змінність їх ритму, що зумовлює зниження точності опрацювання цих сигналів в цифрових системах.

Сучасні дослідження показують, що ритмоадаптивні методи аналізу можуть значно підвищити точність систем моніторингу здоров'я, біометричної ідентифікації та нейроінтерфейсів. Ці методи дозволяють більш ефективно адаптувати системи до змін у ритмі біомедичних сигналів, що є критично важливим для підвищення їхньої надійності.

Отже, актуальність даної дисертаційної роботи визначається потребою у розробці нових математичних моделей та ефективних методів опрацювання циклічних стохастичних біомедичних сигналів. Такі розробки допоможуть удосконалити сучасні системи нейроінтерфейсів, кардіодіагностики та біометричної аутентифікації, забезпечуючи високу точність їхнього функціонування.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розроблено нову математичну модель для сукупності ЕЕГ сигналів, зареєстрованих в умовах багаторазового повторення ментальних керуючих впливів, яка включала стохастичність, циклічність, мінливість та спільність ритму досліджуваних біосигналів, з метою покращення аналізу ймовірнісних та статистичних характеристик в неінвазивних нейроінтерфейсних системах.

2. Верифіковано нові методи обробки сукупності ЕЕГ сигналів для виявлення ментальних керуючих впливів в неінвазивних нейроінтерфейсних системах, зосередившись на покращенні характеристик точності та часової обчислювальної складності.

3. Розроблено ритмоадаптивний метод біометричної аутентифікації особи за її ЕКГ, базований на математичній моделі ЕКГ як циклічного випадкового процесу, що забезпечував високу точність аутентифікації за характеристиками, такими як Accurasy, Balanced Accurasy та F1-score.

4. Визначено оптимальні вектори інформативних ознак для нейроінтерфейсних систем та систем біометричної аутентифікації особи за ЕКГ, використовуючи перші 40 спектральних коефіцієнтів розкладу статистичних оцінок початкових моментних функцій ЕЕГ та ЕКГ сигналів.

Аналіз тексту дисертації та автореферату свідчить про науково обґрунтований системний підхід до наукової проблеми. Сформульована аргументовано актуальність роботи, визначені об'єкт та предмет дослідження, підібраний необхідний для досягнення мети інструментарій. Сформульовані в роботі наукові положення, теоретичні та практичні результати мають належний ступінь обґрунтованості.

В дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю. Здобувач провів компаративний аналіз відомих наукових та технологічних досягнень в галузі моделювання та опрацювання циклічних біомедичних сигналів, що дозволило виявити їх недоліки та сформулювати наукове завдання дисертаційної роботи. Було розроблено нову математичну модель сукупності ЕЕГ сигналів, зареєстрованих в умовах багаторазового повторення ментальних керуючих впливів, яка враховує стохастичність, циклічність, мінливість та спільність ритму досліджуваних біосигналів, з метою підвищення ефективності методів опрацювання ЕЕГ сигналів в неінвазивних нейроінтерфейсних системах. Здобувач верифікував нові методи опрацювання сукупності ЕЕГ сигналів

для виявлення ментальних керуючих впливів, зосередившись на покращенні характеристик точності та часової обчислювальної складності.

Також було розроблено ритмоадаптивний метод біометричної аутентифікації особи за її ЕКГ, що забезпечує високу точність аутентифікації. Здобувач обґрунтував оптимальні вектори інформативних ознак для нейроінтерфейсних систем та систем біометричної аутентифікації особи за ЕКГ з точки зору характеристик точності та часової обчислювальної складності. Нарешті, розроблені математичні моделі та методи були імплементовані в систему комп'ютерних програм на мові Python, що дозволяє автоматизувати процеси фільтрації завад, оцінювання ймовірнісних характеристик, проведення спектральних розкладів та класифікації циклічних біомедичних сигналів в неінвазивних нейроінтерфейсних системах, системах медичної діагностики та системах біометричної аутентифікації особи.

Отже, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності, продемонструвавши здатність до проведення складних досліджень, розробки нових методів та їх успішної верифікації та імплементації.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Буція Р.А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 113 Прикладна математика та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Математика та статистика.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інформаційні технології.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Буція Романа Андрійовича 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.

Дисертаційну роботу написано українською мовою. Вона виконана якісно, із застосуванням логічних переходів та узагальнень, викладена науковим стилем грамотною українською мовою. Загальноприйнята

термінологія та спеціальні терміни використані відповідно до їх значення з необхідними поясненнями.

Дисертаційна робота Буція Романа Андрійовича складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Структура дисертації є узгодженою та послідовною, наявний причинно-наслідковий зв'язок між її елементами. Повний обсяг дисертації становить 196 сторінок, з яких 135 сторінок основного тексту.

У **вступі** обґрунтовано актуальність дослідження, визначено мету та завдання, об'єкт та предмет дослідження, перелік методів, наукову новизну, практичне значення результатів та особистий внесок здобувача, подано відомості про апробацію та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасних технологій аналізу біосигналів, зокрема циклічних сигналів ЕКГ і ЕЕГ, важливих для медичної діагностики, біометричної аутентифікації та нейроінтерфейсів. Розглянуто методи збору біомедичних даних, включаючи носимі та дистанційні технології, з акцентом на підвищенні точності аналізу.

У **другому розділі** розглянуто властивості векторної ЕЕГ, потребу в багатоциклових дослідженнях та використанні статистичних методів для моделювання циклічної структури ЕЕГ. Описано побудову вектора циклічних ритмічно пов'язаних процесів для виявлення ментальних впливів.

У **третьому розділі** розглянуто етапи опрацювання ЕЕГ сигналів у нейроінтерфейсних системах, включаючи реєстрацію, фільтрацію, статистичний аналіз та класифікацію. Описано розроблене програмне забезпечення на Python для автоматизації процесів аналізу та візуалізації даних.

У **четвертому розділі** досліджено методи статистичного ритмоадаптивного опрацювання ЕКГ та СКГ сигналів для медичної діагностики та біометричної аутентифікації. Показано ефективність біометричної аутентифікації за ЕКГ сигналами та автоматизованої діагностики аритмії. Завершується розділ дискусією результатів класифікації та потенціалом подальших досліджень у сфері неінвазивних нейроінтерфейсних систем.

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 15 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 5 статей у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого та другого квартилів (Q1, Q2) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank і Journal Citation Reports. Також результати дисертації були апробовані на 8 наукових фахових конференціях.

Опубліковані праці та отримані в них наукові результати відповідають вимогам Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Автор не розглянув можливі обмеження запропонованої математичної моделі.

2. Автор не розглянув етичні аспекти збору та обробки біомедичних даних, що є важливим для досліджень, які залучають людських суб'єктів.

3. Автор не надав достатніх пояснень технічних параметрів програмного забезпечення, використаного в експериментальній частині, що ускладнює повторення результатів.

4. Автор не приділив достатньо уваги обґрунтуванню вибору параметрів класифікаторів, які використувувалися в експериментах.

5. Автор не дослідив вплив шумів та артефактів на точність аналізу біомедичних сигналів.

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 Буція Романа Андрійовича на тему «Моделювання та методи ефективного опрацювання циклічних сигналів в нейроінтерфейсних та кардіодіагностичних системах» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням. 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 Буцій Роман Андрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика

Рецензент:

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач відділу прикладної
інформатики Інституту телекомунікацій
і глобального інформаційного
простору НАН України

В. О. Васянін

Підпис Васяніна Володимира Олександровича засвідчую:
Учений секретар ИТГІП НАНУ
К.т.н., с.н.с. Клименко В. І.

«22» серпня 2024 року

