

ВІДГУК

офіційного опонента 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.

Розробка ефективних неінвазивних нейроінтерфейсів, систем медичної діагностики та динамічної біометричної аутентифікації на основі біомедичних сигналів стає все більш важливим завданням у сучасній науці та інженерії. Особливо актуальним є створення ефективних нейроінтерфейсів, які дозволяють здійснювати прямий зв'язок між людським мозком та комп'ютерами через ЕЕГ та інші нейронні сигнали. Покращення цих систем вимагає оптимізації алгоритмів для розпізнавання патернів і класифікації ЕЕГ сигналів, що забезпечує точність взаємодії та управління технічними системами.

Незважаючи на значний прогрес, залишаються численні невирішені питання, які потребують подальших досліджень. Це стосується, зокрема, розробки більш адекватних математичних моделей і точних методів для аналізу ЕЕГ та ЕКГ сигналів, що мають складну циклічну структуру. Сучасні методи цифрового опрацювання біомедичних сигналів часто не здатні повноцінно враховувати їх стохастичність і циклічність, що призводить до помилок у функціонуванні систем. Тому, значну увагу варто приділити ритмоадаптивним методам аналізу, які можуть значно підвищити точність роботи систем моніторингу здоров'я та біометричної ідентифікації. Ці методи дозволяють адекватно враховувати зміни в ритмах біосигналів, що є критично важливим для діагностики та аутентифікації.

У цьому контексті, актуальність дисертаційної роботи на тему *«Моделювання та методи ефективного опрацювання циклічних сигналів в нейроінтерфейсних та кардіодіагностичних системах»* очевидна. Робота зосереджена на розробці передових математичних моделей і методологій для аналізу біомедичних сигналів, що використовуються в нейроінтерфейсах, кардіології та системах біометричної ідентифікації, спрямована на підвищення точності діагностики та аутентифікації.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше була розроблена та верифікована нова математична модель сукупності ЕЕГ сигналів з різних електродів, реєстрованих під час багаторазових ментальних керуючих впливів оператора неінвазивного нейроінтерфейсу, у формі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів.

2. На базі цієї математичної моделі сукупності ЕЕГ сигналів було вперше обґрунтовані методи їх ритмоадаптивного статистичного опрацювання. Це дозволило ідентифікувати ряд потенційно чутливих до ментального впливу характеристик ЕЕГ, значущих для роботи оператора нейроінтерфейсу.

3. Також було розроблено високоефективний ритмоадаптивний метод біометричної аутентифікації особи за її ЕКГ на основі математичної моделі ЕКГ у формі циклічного випадкового процесу.

4. В межах ритмоадаптивного підходу до статистичного опрацювання циклічних біомедичних сигналів було обґрунтовано вибір оптимальних векторів інформативних ознак.

Достовірність та обґрунтованість результатів дослідження досягнуті завдяки використанню перевірених аналітичних та експериментальних методів, включно із статистичним аналізом, теорією випадкових процесів та чисельним моделюванням. Це дало змогу точно аналізувати та інтерпретувати біомедичні циклічні сигнали. Теоретичні моделі підтверджені порівнянням із реальними даними, особливо в умовах роботи неінвазивних нейроінтерфейсів та систем біометричної ідентифікації.

Математичні моделі та методи, розроблені в рамках роботи, були підтверджені численними експериментами, які забезпечили відтворюваність результатів та їх практичне застосування. Висновки дослідження відповідають об'єктивній реальності досліджуваних явищ і підкріплені порівняннями з існуючими науковими працями, що підтверджує їх наукову релевантність та значимість.

Наукова новизна полягає у впровадженні ритмоадаптивних методів аналізу та класифікації, що забезпечують більш точне врахування стохастичних та динамічних властивостей біомедичних сигналів, що демонструє високу точність класифікації. Результати наочно представлені

через таблиці, графіки та діаграми, забезпечуючи зрозумілість та переконливість даних. Вирішені завдання сприяють вирішенню актуальних наукових і практичних питань, вносячи суттєвий вклад у розвиток науки та техніки.

Таким чином, в дисертаційній роботі наукове завдання вирішено повністю, а автор демонструє глибоке розуміння наукових методів і підходів.

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

Дисертаційна робота здобувача Буція Р.А. є вагомим внеском у галузі прикладної математики, повністю відповідає Стандартам вищої освіти зі спеціальності 113 Прикладна математика та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Математика та статистика.

На підставі детального аналізу звіту про перевірку на текстові співпадіння можна стверджувати, що дисертаційна робота Буція Романа Андрійовича виконана на високому рівні, без ознак плагіату. Використання наукових результатів, ідей, та текстів інших дослідників чітко документується із посиланнями на первинні джерела, що свідчить про дотримання автором високих стандартів наукової доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота виконана українською мовою з послідовним та доступним викладенням матеріалу, що забезпечує чітке та зрозуміле роз'яснення наукових понять. Автор демонструє глибоке розуміння теми, використовує загальноприйнятту наукову термінологію і забезпечує логічну структуру викладу, що сприяє легкості сприйняття та розуміння дослідження широким колом фахівців. Завдяки цьому, текст роботи стає інтуїтивно зрозумілим не тільки для спеціалістів у галузі, але й для тих, хто вперше зустрічається з даними питаннями, що розширює коло потенційних читачів і сприяє більш широкому обговоренню отриманих результатів.

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* дисертації обґрунтовано актуальність дослідження, встановлено зв'язок роботи з науковими темами, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, а також перелічено методи, які використовувалися для досягнення цілей дослідження. В роботі сформульовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, описано особистий вклад здобувача, а також наведено відомості про апробацію та публікації результатів.

У *вступі* дисертаційної роботи чітко обґрунтована, мета та завдання визначені, об'єкт та предмет дослідження, методи дослідження, необхідні для досягнення мети. Автор сформував наукову новизну та практичне значення роботи, зазначив свій особистий внесок та надав докази апробації та публікації результатів дослідження.

Перший розділ присвячено огляду сучасних технологій аналізу біосигналів, зокрема ЕЕГ та ЕКГ, які є ключовими в медичній діагностиці та біометричній аутентифікації. Акцент робиться на покращенні математичних моделей та методів збору та аналізу даних за допомогою носимих технологій.

В *другому розділі* обговорюється потреба у багатоциклових дослідженнях для ефективної роботи нейроінтерфейсів та розроблено математичну модель ритмоадаптивного опрацювання ЕЕГ сигналів та їх статистичний аналіз.

Третій розділ зосереджений на критичних етапах обробки ЕЕГ сигналів у нейроінтерфейсних системах, включаючи їх реєстрацію, попереднє опрацювання, глибокий статистичний аналіз та класифікацію, що важливо для точної ідентифікації ментальних керуючих впливів.

У *четвертому розділі* проаналізовано методи ритмоадаптивного опрацювання ЕКГ і СКГ сигналів, акцентуючи увагу на ефективності біометричної аутентифікації та медичної діагностики на основі цих сигналів.

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

Перевірка дисертації на наявність академічного плагіату показала високу оригінальність тексту. Результати аналізу підтверджують відсутність текстових запозичень та неправомірного використання наукових результатів інших дослідників. Усі використані матеріали належно цитовані, з

відповідними посиланнями на первинні джерела, що засвідчує дотримання академічної доброчесності та наукової етики автором 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 кuartилів (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.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Робота не містить достатньої інформації про потенційні похибки оцінювання на основі експериментальних даних, що ускладнює оцінку точності та надійності висновків.

2. Текст дисертаційної роботи містить декілька технічних помилок, а саме на сторінці 74 в рисунках 3.5 та 3.6 доцільно було б розділити розряди комами для покращення читабельності та сприйняття даних. Також рекомендується змінити співвідношення сторін рисунку 3.8, щоб забезпечити кращу візуалізацію і розуміння представленої інформації.

3. У дисертації відсутнє обговорення етичних аспектів збору та обробки біомедичних даних, що є критично важливим для досліджень з використанням людських суб'єктів.

4. Автор не забезпечив достатніх пояснень технічних параметрів програмного забезпечення, використаного в експериментальній частині роботи, що ускладнює реплікацію результатів.

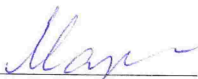
Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

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, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для розвитку математичного моделювання та методів статистичного опрацювання циклічних сигналів. 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

Офіційний опонент


(підпис)

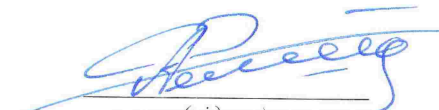
Надія МАРЧЕНКО

Завідувач кафедри
інтелектуальних
кібернетичних систем


(підпис)

Олександр ЛИТВИНЕНКО

В.о. декана факультету
комп'ютерних
наук та технологій


(підпис)

Андрій ФЕСЕНКО

М.П.

«18» липня 2024 року

