

## ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

**ПРИХОДЬКА Сергія Борисовича**

на докторську дисертацію БОЙКО Наталії Іванівни за темою:

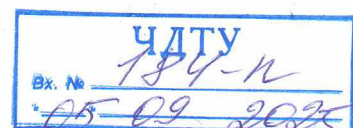
«Методологія багатовимірного аналізу мультимодальних даних», подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

### Актуальність теми дисертації

В наш час зі швидким розвитком інформаційних технологій мультимодальні дані все ширше застосовуються в різних галузях, від медичної діагностики та фінансового аналізу до інтелектуального транспорту. Об'єднання та аналіз мультимодальних даних можуть не тільки надати більш повну інформацію, але й підвищити точність та надійність прийняття рішень. Однак, як ефективно та точно інтегрувати та аналізувати дані з різних джерел, це стало ключовою проблемою в обробці мультимодальних даних. Традиційні методи об'єднання та аналізу даних мають багато обмежень при роботі зі складними мультимодальними даними, і, як правило, не дозволяють охопити глибокий зв'язок між різними модальними даними.

Інтелектуальний аналіз медичних даних є однією з важливих задач медичної діагностики. У випадках вивчення рідкісних захворювань, розробки персоналізованих схем лікування чи апробації нових методик дослідники працюють із великими вибірками, обробка яких ускладнює застосування класичних алгоритмів машинного навчання. Такі дані відзначаються високою розмірністю, гетерогенністю, нестабільністю та наявністю шумів, що потребує удосконалення існуючих і створення нових методів аналізу. Ці методи мають забезпечувати високу точність, здатність до узагальнення, стійкість до наявності шумів, а також дозволяти коректно інтерпретувати отримані результати. Отже, тема докторської дисертації є не лише науково обґрунтованою, а й практично важливою для вирішення актуальних завдань у тому числі медичної діагностики та інтелектуального аналізу мультимодальних даних.

Окрім того, дослідження в межах докторської дисертації виконувалися у складі науково-дослідних проєктів, що фінансувалися Міністерством освіти і науки України та Національним фондом досліджень України. Це підкреслює наукову й практичну значущість теми докторської дисертації.



## **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій**

Представлені в докторській дисертації наукові положення, висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими за рахунок проведених теоретичного та експериментального досліджень автора. Теоретичне підґрунтя базується на сучасних досягненнях у галузі машинного навчання, теорії штучних нейронних мереж, теорії ймовірностей та математичної статистики, а також на формалізованих математичних моделях. Кожне з наукових положень підтверджено аналітичними висновками, обґрунтуванням застосованих методів та відповідною алгоритмічною реалізацією.

Емпіричне підтвердження обґрунтованості отриманих результатів забезпечено численними експериментами як на модельних так і на реальних медичних даних. Для оцінювання ефективності запропонованих методів використано загальновизнані кількісні метрики (Accuracy, Precision, Recall, F1-міра), а також виконано порівняння з базовими та сучасними аналогами.

Результати докторської дисертації опубліковані у фахових вітчизняних і міжнародних рецензованих виданнях (крім видань держави, визнаної Верховною Радою України державою-агресором) та апробовані на міжнародних конференціях. Їх впроваджено в межах прикладних науково-дослідних проєктів в Україні, що підтверджує практичну цінність, достовірність та значущість отриманих результатів. Окремі розробки використано у діяльності підприємств України, що засвідчено відповідними актами впровадження. Це свідчить про реальну ефективність запропонованих методів у практичному застосуванні та підтверджує їх наукову обґрунтованість.

### **Наукова новизна результатів**

У докторській дисертації Бойко Н.І. на основі теоретичних узагальнень та експериментальних досліджень вирішено науково прикладну проблему розроблення методології багатовимірного аналізу мультимодальних даних, що дало змогу розробити інформаційну технологію для автоматизованої обробки, інтеграції та інтерпретації різномірної інформації. При цьому Бойко Н.І. отримано такі наукові результати:

1. Вперше запропонована концепція аналізу мультимодальних даних, яка полягає у виділенні ознак для кожної модальності та їх об'єднанні в єдиний багатовимірний простір ознак, яка, на відміну від існуючих, забезпечує формування окремих множин ознак із різних модальностей для розробки методів класифікації станів пацієнта, що дозволяє підвищити інформативність масивів вхідних даних та збільшити кількість правильно класифікованих станів;

2. Вперше сформульовано принципи багатовимірного аналізу мультимодальних даних, які полягають в інтеграції різнорідних ознак та модальних моделей у єдиній інформаційній технології, що забезпечує підвищення точності, надійності та адаптивності класифікаційних систем в умовах гетерогенності та неповноти медичних даних.

3. Вперше розроблено метод інтеграції модальних даних, який полягає у поєднанні цих даних за певними ознаками, що, на відміну від існуючих буде точки спостереження шляхом адаптивного, погодженого та поетапного об'єднання даних із різних модальностей в єдиний вектор та поєднання цих векторів, що дозволяє створити із окремих точок спостереження за пацієнтом спільний масив вхідних даних та формувати модель-класифікатор;

4. Вперше розроблено метод побудови мультимодальної моделі, який полягає у побудові моделей окремих модальностей та використанні результатів моделювання для класифікації станів пацієнта, який на відміну від існуючих, інтегрує результати моделювання в єдину ієрархічну структуру, що дозволяє підвищити кількість правильно класифікованих станів пацієнта.

5. Одержав подальший розвиток метод вибору інформативних ознак, адаптований до гетерогенності джерел мультимодальних даних, завдяки формуванню багатовимірного ознакового простору з урахуванням їх кореляційної узгодженості, що дозволяє підвищити стійкість моделей машинного навчання.

6. Удосконалено метод оцінювання ефективності аналізу мультимодальних даних, який базується на комплексному порівнянні результатів експериментів за точністю, повнотою, F1-метрикою, часом обробки та стабільністю роботи моделей, що дає змогу об'єктивно визначати переваги запропонованої технології, збільшувати кількість правильно класифікованих станів та забезпечувати адаптацію системи до клінічних умов.

Зазначений перелік пунктів наукової новизни свідчить, що у докторській дисертації Бойко Н.І. отримано оригінальні результати, які мають як теоретичне, так і прикладне значення. Розроблені та удосконалені методи розширюють теоретичну основу в галузі аналізу мультимодальних даних.

Ключові положення дисертації, її висновки, пропозиції та рекомендації ґрунтуються на теоретичному аналізі, математичному моделюванні та експериментальній перевірці. Вони відзначаються науковою новизною, є достатньо обґрунтованими та мають практичну цінність.

### **Практичне значення результатів докторської дисертації**

Практичне значення результатів докторської дисертації Бойко Н.І. полягає у впровадженні розроблених методів і програмних засобів інтелектуального аналізу медичних даних великих обсягів у клінічну діагностику. Запропоновані методи багатовимірного аналізу мультимодальних даних забезпечують високу

точність і стійкість прогнозування в умовах, коли класичні алгоритми машинного навчання, зокрема й штучні нейронні мережі, є малоефективними через обмежену кількість спостережень, необхідних для їх навчання.

Дослідження виконано в межах прикладних науково-дослідних проєктів, а отримані результати впроваджено у діяльність низки науково-дослідних установ України. Розроблені методи та програмні засоби використано для моделювання, оцінювання та діагностування у завданнях з великими вибірками даних, де традиційні алгоритми втрачають ефективність. Впровадження підтверджується офіційними актами, що засвідчує готовність запропонованих рішень до практичного застосування у складі експертних систем підтримки прийняття рішень.

### **Оцінка змісту, структури та завершеності докторської дисертації**

Докторська дисертація Бойко Н.І. викладена на 396 сторінках друкованого тексту, з яких 308 сторінок становить основний зміст. Вона є завершеною науковою працею, яка включає анотацію, вступ, шість розділів з відповідними підрозділами, висновками до кожного розділу, загальні висновки до докторської дисертації, список використаних джерел і додатки. Докторська дисертація Бойко Н.І. містить 55 рисунків та 50 таблиць, 3 додатки. Список використаних джерел налічує 345 найменувань й викладений на 39 сторінках.

У вступі докторської дисертації подано загальний опис роботи, обґрунтовано її актуальність, окреслено зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Сформульовано мету та основні завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження. Окреслено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів. Наведено інформацію про публікації та апробацію за результатами докторської дисертації, а також індивідуальний внесок автора у роботи в співавторстві.

У першому розділі проаналізовано сучасні технології для роботи з мультимодальними даними, розглянуто математичні методи багатовимірної обробки та уточнено сутність і структуру таких даних. Визначено основні поняття, терміни та нормативні засади їх використання. За результатами аналізу отримано змогу виявити невирішені частини проблеми та сформулювати задачі дослідження.

У другому розділі представлено теоретичні основи інформаційної технології багатовимірного аналізу мультимодальних медичних даних. Розглянуто формалізацію інформаційної технології багатовимірного аналізу мультимодальних медичних даних. Виконано формування дослідницької гіпотези як основи методології багатовимірного аналізу мультимодальних медичних даних. Запропоновано концепцію багатовимірного аналізу

мультиmodalних медичних даних, принципи інформаційної технології багатовимірного аналізу мультиmodalних медичних даних та методологію інформаційної технології багатовимірного аналізу мультиmodalних медичних даних.

У третьому розділі подано методи побудови структурованого простору ознак, що об'єднує дані різних модальностей для подальшої класифікації. Розглянуто формування ознак аудіосигналів (MFCC, НММ із глибинними мережами, SVM), зображень (SIFT, HOG, вейвлет-перетворення), а також медичних даних (ЕЕГ, ЕКГ, МРТ, клінічні показники) із застосуванням цифрової фільтрації, спектрального та просторово-частотного аналізу. Запропоновано методи очищення сигналів від шумів, виділення ознак із часових рядів, перетворення МРТ у табличний формат і нормалізацію клінічних даних. Усі модальності інтегруються в уніфіковану ознакову таблицю, що забезпечує збереження інформативності й створює основу для подальшого машинного навчання та розроблення медичних ІТ-систем.

У четвертому розділі обґрунтовано застосування формального концептуального аналізу (FCA) як теоретичної основи для структурування, узагальнення та інтерпретації мультиmodalних медичних даних. У роботі наведено приклади побудови формальних контекстів, концептів і відповідних решіток для множини пацієнтів, а також сформовано велику множину концептів для реальних даних. Для кожного концепту обчислюються критерії якості (точність, швидкість, стійкість до шуму), що дозволяє виконати багатокритеріальну оптимізацію та визначити Парето-оптимальну підмножину. Практичні експерименти підтвердили, що такий підхід дозволяє виявляти локальні патерни станів пацієнтів, будувати інтерпретовані правила та підвищувати ефективність автоматизованого аналізу медичних даних.

У п'ятому розділі подано методологію виявлення відповідностей між медичними даними шляхом інтеграції у спільний простір ознак. Розглянуто методи формалізації, узгодження та злиття модальностей, а також побудови класифікаційних моделей. Реалізовано підходи feature-level fusion і model-level fusion, ефективність яких підтверджено за допомогою канонічного дискримінантного аналізу. Результати експериментів засвідчили рівнозначну інформативність усіх модальностей та доцільність мультиmodalного підходу для підтримки клінічних рішень.

У шостому розділі розроблено інформаційну технологію багатовимірного аналізу мультиmodalних медичних даних на основі гібридної нейромережевої архітектури. Реалізовано два підходи інтеграції – feature-level fusion та model-level fusion. Найвищу ефективність показала модель feature-level fusion із точністю до 96% на валідаційних і 85% на тестових даних. Запропоноване

рішення забезпечує точну, інтерпретовану та адаптивну класифікацію клінічних станів і має перспективи практичного застосування в медичній діагностиці.

У висновках узагальнено результати дослідження, спрямованого на розв'язання актуальної наукової проблеми – розроблення методології багатовимірного аналізу мультимодальних медичних даних, яка забезпечує інтеграцію різнорідних джерел, формування уніфікованого простору ознак та підвищення точності класифікації станів пацієнтів у вибірках великих обсягів.

Список використаних джерел оформлено відповідно до стандарту IEEE. У додатках представлено графічні і табличні матеріали, а також акти впровадження результатів докторської дисертації Бойко Н.І.

### **Оцінка повноти викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації**

Основні наукові результати докторської дисертації висвітлені у 32 наукових публікаціях, з яких: 20 статей у наукових періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України (6 з яких у трьох різних періодичних виданнях, включених до категорії «А» та проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus); 10 статей у наукових періодичних виданнях інших держав з наряду, з якого підготовлено дисертацію (9 з яких у виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus) та дві (два) монографії (розділи у колективних монографіях).

На мій погляд, до наукових публікацій, в яких висвітлені основні наукові результати докторської дисертації, не може бути зарахована стаття «6. Vuklyuk Ya., Nevinskyi D., Boyko N. GeoCity – a new dynamic-spatial model of urban ecosystem. J. Geogr. Inst. Cvijic. 2023. Vol. 73(2). P. 187–203. (0,72 д.а.). DOI: <https://doi.org/10.2298/IJGI2302187V>. ISSN 2683-3867 (індексована в наукометричній базі Scopus (Q3 by Scimago Journal & Country Rank))», інформація про яку наведена на с.14. Це тому, що рубрики цього журналу «Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic SASA» не стосуються спеціальності інформаційні технології. Крім того, для цього журналу ISSN:0350-7599, а не «ISSN 2683-3867», як зазначено у дисертації.

Також, з цієї причини не може бути зараховані ще три статті: «9. Boyko N. Models of binary classification of the semantic colouring of texts. Innovaciencia. 2023. Vol. 11(1). P. 1–23. (1 д.а.). DOI: <https://doi.org/10.15649/2346075X.3553>. E- ISSN 2346-075X (індексована в наукометричній базі Scopus (Q4 by Scimago Journal & Country Rank))», «10. Boyko N. The model of backpropagation algorithm realization in parallel mode for big data solutions. Journal of the Balkan Tribological Association. 2023. Vol. 29. Issue 5. P. 689–704. (0,68 д.а.). ISSN 1310-4772. URL:

[https://scibulcom.net/en/article/15\\_gfGV3mMkYgTAEk60Qczd](https://scibulcom.net/en/article/15_gfGV3mMkYgTAEk60Qczd) (індексована в наукометричній базі Scopus (Q4 by Scimago Journal & Country Rank))» та «16. Boyko N. Study of multimodal identification algorithms using modern methods and tools of multivariate analysis. Journal of Ecohumanism. 2024. Vol. 3(5). P. 99–114. (0,68 д.а.). DOI: <https://doi.org/10.62754/joe.v3i5.3877>. ISSN 2752 6798 (індексована в наукометричній базі Scopus)», інформація про які наведена на с.14, 15 та 16 відповідно.

Також слід відмітити таке. Хоча автор на с.41 дисертації та на с.9 реферату зазначає, що «4 статті опубліковано в журналах з Q1-Q2», але у списку опублікованих праць за темою дисертації (с.13-27 дисертації) вказівки на Q1 відсутні, є на Q2-Q4. Перевірка відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank також показала відсутність публікацій в журналах з Q1.

До наукових публікацій, які додатково відображають наукові результати докторської дисертації, відносяться такі: 12 матеріалів конференцій, 11 з яких – у виданнях, що індексуються в наукометричній базі даних Scopus; 7 монографій, а також три навчальних посібники та п'ять авторських свідоцтв на твір.

Усі положення докторської дисертації Бойко Н.І. та основні результати дослідження є самостійним науковим доробком автора. У публікаціях, підготовлених у співавторстві, особистий внесок здобувача чітко визначено та повністю відображено.

Отже, повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відповідає чинним вимогам, що висуваються до докторських дисертацій.

### **Оцінка відсутності/наявності академічного плагіату, фабрикації та фальсифікації у докторській дисертації**

Докторська дисертація Бойко Н.І. виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності та не містить ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів. Усі наукові результати, викладені в дисертації, є самостійним доробком автора. Використання положень, ідей, методів, даних або фрагментів текстів інших дослідників супроводжуються коректними бібліографічними посиланнями.

### **Оцінка результатів, висвітлених в дисертації, які виносилися на захист дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук**

Наукові положення, дослідження та результати, які виносилися на захист дисертації Бойко Н.І. за темою «Формування інформаційних потоків та управління ними в логістичній системі торговельних підприємств» на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 08.00.04 – економіка та управління підприємствами (економіка торгівлі та послуг),

захищеної на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.840.01 при Львівській комерційній академії 2009 року, не виносяться на захист у поданій докторській дисертації Бойко Н.І. за темою «Методологія багатомодального аналізу мультимодальних даних» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

### **Відповідність змісту реферату основним положенням дисертації**

Реферат докторської дисертації Бойко Н.І. за темою «Методологія багатомодального аналізу мультимодальних даних» за своїм змістом повністю відповідає основним положенням та висновкам дисертації, відображає її структуру та логіку викладення матеріалу.

### **Відповідність докторської дисертації паспорту спеціальності**

Зміст докторської дисертації Бойко Н.І. за темою «Методологія багатомодального аналізу мультимодальних даних» відповідає профілю докторської ради Д 73.052.04 при Черкаському державному технологічному університеті та паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології у частині його формули та напрямків досліджень, зокрема:

- Розроблення наукових і методологічних основ створення та застосування інформаційних технологій та інформаційних систем для автоматизованої переробки інформації й управління.
- Розроблення інформаційних технологій для аналізу та синтезу структурних, інформаційних і функціональних моделей об'єктів і процесів, що автоматизуються.
- Розроблення моделей і методів автоматизації виконання функцій і завдань виробничого й організаційного управління у звичайних і багаторівневих структурах на основі створення та використання нових інформаційних технологій.

### **Зауваження та дискусійні питання:**

1. Хоча назва дисертації: «Методологія багатомодального аналізу мультимодальних даних», але у формулюваннях п'яти з шести пунктів наукових результатів вказується або «медичних даних», або «станів пацієнта», або «спостереження за пацієнтом», або «клінічних умов». Тому виникає питання щодо можливості застосування запропонованої методології до аналізу мультимодальних даних з інших галузей, наприклад, фінансів, інтелектуального транспорту та ін.

2. На с.35 дисертації зазначено: «Мета докторської дисертації – підвищення якості аналізу мультимодальних даних...». Але при формулюванні

пунктів наукових результатів не зазначається про «підвищення якості аналізу мультимодальних даних».

3. В дисертації четвертий пункт наукових результатів є таким: Вперше «розроблено метод побудови мультимодальної моделі, який полягає у побудові моделей окремих модальностей та використанні результатів моделювання для класифікації станів пацієнта...». З цього формулювання не зрозуміло, по-перше, що собою представляє ця модель, а, по-друге, як пов'язана побудова мультимодальної моделі з результатами її моделювання.

4. В дисертації зазначено: «Об'єктом дослідження є процеси аналізу мультимодальних даних.» Але в дисертації чітко не перелічуються ці процеси.

5. На с.136 дисертації наведено формулу (2.15), за якою здійснюється максимізація інформаційної технології  $T$ . З (2.15) не зрозуміло, що собою представляє  $T$ , – змінну або вектор.

6. У підрозділі 3.1 с.149 наведено «залежність звуку від частоти коливань» у вигляді формули (3.1). Автор не пояснює, чому використовується саме ця формула та яку характеристику звукового сигналу вона визначає. Також варто було б зробити акцент на інтерпретації наведених коефіцієнтів, тобто які саме властивості сигналу вони відображають та як це впливає на подальшу класифікацію. Останнє також стосується формул (3.5)-(3.10).

7. Таблиця 5.2 (с. 214) підрозділу 5.1 подає загальні статистичні характеристики (середнє, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації), проте інтерпретація ознак як «низька», «помірна» чи «висока варіативність» виглядає дещо узагальненою. Доцільно було б уточнити, за якими критеріями (пороговими значеннями CV) виконувалася така класифікація.

8. Таблиця 6.2 (с. 291) підрозділу 6.2 подає оцінки (mean, std, min, max, квартилі), однак: не вказано кількість спостережень (розмір вибірки), на основі якої обчислені показники, та одиниці виміру.

9. У тексті дисертації зустрічаються деякі помилки з оформлення, стилістичні та орфографічні неточності. Так, Перелік умовних позначень та скорочень (с.31) оформлений не за абеткою; список використаних джерел оформлений не за абеткою, а посилання в тексті на елементи цього списку зроблені так начебто він оформлений за абеткою; при посиланні на деякі формули номер вказується без дужок, зокрема, на с.201 «формула 2.11»; на деякі формули, які мають номери, відсутні посилання у тексті, наприклад, формула (3.2) на с.149; деякі таблиці не мають нумерації, зокрема, таблиця на с.293; на с.270 «системи класифікації станів пацієнта», на с.301 «навчання частині даних»; назва підрозділу 6.1 «6.1. Розроблення архітектурного вирішення системи».

Зазначені зауваження та недоліки не впливають на науковий рівень, новизну та практичне значення отриманих автором результатів.

### Загальні висновки

Докторська дисертація Бойко Наталії Іванівни за темою: «Методологія багатовимірної аналізу мультимодальних даних», є кваліфікаційною науковою працею, виконаною автором самостійно, яка за змістом відповідає паспорту наукової спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології. Докторська дисертація містить наукові положення та нові науково обґрунтовані результати, одержані здобувачем особисто, які мають теоретичну та практичну цінність; містить обґрунтовані висновки на основі одержаних здобувачем результатів; характеризується єдністю змісту; відповідає принципам академічної доброчесності.

Докторська дисертація Бойко Н.І. відповідає вимогам «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17.11.2021 р. «Деякі питання присудження (позбавлення) наукових ступенів» (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024, № 928 від 30.07.2025), Наказу Міністерства освіти і науки № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019) та Наказу Міністерства освіти і науки № 1220 від 23.09.2019 р. «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук» (із змінами, внесеними згідно з наказами Міністерства освіти і науки № 496 від 27.05.2022, № 285 від 08.03.2024), а її автор, Бойко Наталія Іванівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри програмного забезпечення  
автоматизованих систем

Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова,

доктор технічних наук, професор



Сергій ПРИХОДЬКО

*Сергій Приходько*

*Бойко Наталія Іванівна*

