

## ВІДГУК

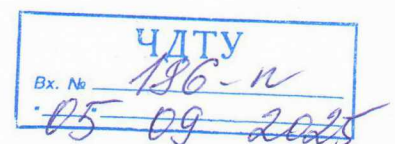
офіційного опонента, доктора технічних наук, професора КОМАРА Мирослава Петровича на дисертаційну роботу БОЙКО Наталії Іванівни: «Методологія багатовимірною аналізу мультимодальних даних», яку подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

### **Актуальність теми дослідження та зв'язок з науковими програмами, планами та темами**

У сучасних клінічних дослідженнях, де в багатьох прикладних задачах кількість доступних спостережень є обмеженою, особливої наукової та практичної значущості набуває завдання багатовимірною аналізу мультимодальних даних. У таких умовах традиційні методи машинного навчання часто демонструють низьку ефективність. Основними причинами є високий ризик перенавчання через надмірну кількість параметрів відносно обсягу даних, обмежена здатність моделей до узагальнення, а також складності у налаштуванні й валідації багатокomпонентних архітектур штучних нейронних мереж.

Наявні підходи до багатовимірною аналізу мультимодальних даних, зокрема інтеграція через спільний простір ознак або об'єднання модальних моделей, здатні частково компенсувати вказані обмеження завдяки зменшенню варіативності, підвищенню стійкості та покращенню здатності моделей до узагальнення. Водночас їхнє застосування у випадках роботи з великими обсягами даних супроводжується низкою істотних труднощів. Серед них варто виокремити значну ресурсоемність ітеративних процедур навчання, високу чутливість до вибору гіперпараметрів, а також проблематичність забезпечення відтворюваності результатів. Ці чинники є особливо критичними у завданнях класифікації медичних даних, де точність і надійність моделей безпосередньо впливають на коректність клінічних та наукових висновків.

З огляду на зазначені виклики постає необхідність у створенні методології, яка дозволить розробити інформаційну технологію з високими показниками точності, повноти та швидкодії для багатовимірною аналізу мультимодальних даних. У цьому контексті перспективним напрямом є застосування моделей зберігання й передачі мультимодальної інформації у поєднанні з методами



машинного навчання для обробки даних різних типів. Подібний підхід може стати основою для побудови ефективних інструментів інтелектуального аналізу в умовах, коли традиційні методи не забезпечують належного рівня узагальнення.

Отже, розроблення нових методів багатовимірного аналізу мультимодальних даних є не лише науково виправданим завданням, але й визначальним кроком для підвищення точності, відтворюваності та ефективності аналітичних процесів у сучасній медицині. Актуальність дисертаційної роботи додатково підтверджується активною науковою діяльністю Бойко Н.І., яка брала участь у виконанні низки дослідницьких проєктів, спрямованих на розвиток методів інтелектуального аналізу великих масивів даних. Зокрема, результати досліджень були отримані в межах держбюджетних науково-дослідних робіт Національного університету «Львівська політехніка», серед яких: «Інформаційні технології формування психофізичного портрета в умовах стресових ситуацій», «Технології та системи оброблення і зберігання персоналізованих військових медичних даних», «Розроблення інформаційної технології оцінювання та прогнозування надійності програмного забезпечення методами машинного навчання», «Методи та засоби штучного інтелекту для запобігання поширенню туберкульозу у військовий час». Додатково тематика дисертації розвивалася в рамках госпдоговірних досліджень — «Машинне навчання для вивчення біомаркерів старіння людини з метою збільшення тривалості життя», «Розроблення методу визначення важливих характеристик з існуючих баз даних», а також прикладних проєктів, профінансованих Національним фондом досліджень України. Залучення до цих ініціатив засвідчує високу практичну значущість і вагомість теми дисертаційної роботи у сфері інтелектуального аналізу великих даних.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі**

Обґрунтованість та достовірність отриманих наукових результатів у дисертаційній роботі забезпечується коректним то послідовним використанням сучасного теоретичного апарату та строгим дотриманням методологічних принципів математичного моделювання й машинного навчання. Основні положення дослідження формалізовані із застосуванням відомих методів та теорій. Розроблені методи ґрунтуються на чітко сформульованих гіпотезах, логічно пов'язаних із властивостями оброблюваних даних, що забезпечує

коректність побудови та функціонування поданих методів у межах поставлених задач.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на комп'ютерні програми, отримані за результатами дисертаційного дослідження, засвідчують факт створення автором оригінального програмного забезпечення, яке реалізує розроблені, удосконалені чи розвинуті методи аналізу мультимодальних даних. Наявність таких охоронних документів підтверджує не лише завершеність і працездатність розроблених алгоритмів, а й практичну придатність до використання в реальних прикладних задачах.

Достовірність отриманих результатів підтверджується чітко організованою та методично коректною верифікацією, що включала чисельне моделювання з використанням процедур крос-валідації та аналізу різноманітних показників ефективності під час розв'язання задач класифікації на модельних та реальних медичних вибірках великих обсягів. Автором здійснено ґрунтовний порівняльний аналіз точності та здатності до узагальнення поданих у дисертації методів у зіставленні з класичними алгоритмами машинного навчання, включно з базовими штучними нейронними мережами. Додатковим підтвердженням достовірності результатів є їх успішне впровадження на низці практичних застосувань, що документально засвідчено відповідно актами впровадження та використання.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Автором дисертаційної роботи вирішено важливу теоретичну проблему розроблення методології багатовимірного аналізу мультимодальних даних, що дало змогу розробити інформаційну технологію для автоматизованої обробки, інтеграції та інтерпретації різноманітної інформації. В основі її вирішення покладено сукупність нових наукових положень, наукова новизна й оригінальність яких не викликає сумнівів.

Зокрема автором 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.

Бойко Н.І. вперше сформулювала принципи багатовимірного аналізу мультимодальних даних, які полягають в інтеграції різноманітних ознак та модальних моделей у єдиній інформаційній технології, що забезпечує

підвищення точності, надійності та адаптивності класифікаційних систем в умовах гетерогенності та неповноти медичних даних.

Також, автором вперше розроблено метод інтеграції модальних даних, який полягає у поєднанні цих даних за певними ознаками, що, на відміну від існуючих будує точки спостереження шляхом адаптивного, погодженого та поетапного об'єднання даних із різних модальностей в єдиний вектор.

Окрім цього, Бойко Н.І. вперше розробила метод побудови мультимодальної моделі, який полягає у побудові моделей окремих модальностей та використанні результатів моделювання для класифікації станів пацієнта.

Автор розвинув метод вибору інформативних ознак, адаптований до гетерогенності джерел мультимодальних даних, завдяки формуванню багатовимірного ознакового простору з урахуванням їх кореляційної узгодженості для підвищення стійкості моделей машинного навчання.

Також ним 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.

### **Практичне значення результатів дисертаційного дослідження**

Розроблені, удосконалені та розвинуті в дисертаційній роботі методи й засоби відзначаються сукупністю властивостей, які забезпечують їхню практичну придатність для вирішення завдань багатовимірного аналізу мультимодальних даних у реальних умовах застосування. Передусім, ці методи демонструють високі показники точності у задачах класифікації, що має вирішальне значення у клінічній та діагностичній практиці, де навіть незначні похибки можуть призвести до некоректних висновків і ризикованих рішень.

Окрім цього, запропоновані методи багатовимірного аналізу мультимодальних даних характеризуються стійкістю до аномалій та викидів, які нерідко трапляються у медичних наборах даних внаслідок обмежених експериментальних умов, технічних недосконалостей вимірювального обладнання чи впливу людського фактору. Завдяки впровадженню авторських підходів до виявлення, корекції та інтерпретації аномальних значень вдалося зменшити вплив шуму й неповноти даних, підвищивши стабільність та надійність побудованих моделей.

Завдяки цим підходам запропоновані методи не лише підвищують якість і достовірність результатів аналізу, але й відзначаються масштабованістю та здатністю до інтеграції у сучасні медичні інформаційні системи. Це створює умови для їх практичного впровадження у клінічну діяльність, де потрібна оперативна обробка великих обсягів різномірних даних і підтримка прийняття обґрунтованих рішень.

Ще однією суттєвою перевагою розроблених методів є їхня висока обчислювальна ефективність, досягнута завдяки ітеративному характеру алгоритмів навчання. Це відкриває можливості для застосування запропонованих рішень у режимі реального часу або в середовищах із обмеженими обчислювальними ресурсами, що має особливу актуальність для медичних закладів, мобільних діагностичних систем та вбудованих медичних пристроїв.

У результаті поєднання трьох ключових характеристик – точності, стійкості та швидкодії — запропоновані методи довели свою ефективність у розв'язанні низки прикладних задач у різних галузях. Це підтверджується наявними актами впровадження та успішним використанням у практичних умовах.

### **Зміст дисертації та відповідність її встановленим вимогам**

Дисертаційне дослідження Бойко Н.І., є завершеним науковим дослідженням, що охоплює повний спектр теоретичних, методичних та прикладних аспектів поставленої проблеми. Робота викладена на 396 сторінках, з яких 308 сторінок становить основний текст. Структурно дисертація складається з вступу, шести розділів, кожен з яких містить підрозділи та підсумкові висновки, а також загальних висновків, списку літератури та додатків. Матеріал дисертації ілюстровано 55 рисунками та 50 таблицями та доповнено трьома додатками. Перелік використаних джерел налічує 345 позицій, розміщених на 39 сторінках, що свідчить про глибоке опрацювання літератури.

Обсяг, структура, оформлення матеріалів дослідження в цілому відповідають вимогам «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою КМУ № 1197 від 17 липня 2021р., та вимогам наказу МОН України від 12 січня 2017 року № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Автореферат підготовлено відповідно до вимог чинного законодавства та нормативних документів, і він повністю відображає зміст, структуру та основні

наукові результати дисертаційної роботи. Документ складено українською мовою з дотриманням норм сучасної української наукової мови, з використанням фахової термінології, притаманної галузі інформаційних технологій.

У тексті автореферату коректно викладено ключові положення дисертаційного дослідження, зокрема мету, завдання, наукову новизну, практичну значущість, методологічну основу, результати теоретичних досліджень і прикладної апробації. Зміст автореферату повністю узгоджується з основним текстом дисертації, а подані формулювання не суперечать і не спотворюють зміст положень, які винесено на захист.

### **Повнота викладення результатів досліджень у наукових публікаціях за темою докторської дисертації**

Усі ключові положення дисертаційного дослідження, включно з постановкою задач, формалізацією методів, аналітичними обґрунтуваннями, результатами чисельного моделювання та прикладами практичного застосування, відображено у структурованому корпусі наукових публікацій. Загальний публікаційний доробок автора за тематикою дисертації становить 60 наукових праць. До нього входять:

- 9 монографій, 1 з яких – одноосібна;
- 19 статей опубліковано у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS та Web of Science Core Collection, з них: 4 статті опубліковано в журналах з Q1-Q2, 10 статей – в журналах з Q3-Q4;
- 14 публікацій – в наукових фахових виданнях України;
- 12 публікацій – матеріали конференцій, 11 з яких – у виданнях, що індексуються в наукометричній базі даних SCOPUS;
- 5 авторських свідоцтва на твір.

Публікації охоплюють усі етапи дослідження – від розробки нових методів багатовимірного аналізу мультимодальних даних до їх впровадження у реальні клінічні задачі. У статтях, опублікованих у рецензованих журналах та матеріалах наукових конференцій, детально висвітлено характеристики розроблених методів, результати їх порівняльної оцінки з базовими методами машинного навчання при роботі з великими даними. У більшості наукових публікацій, а також у тексті дисертаційної роботи чітко зазначено особистий внесок автора в спільних дослідженнях.

Таким чином, результати дисертаційного дослідження Бойко Н.І. у повному обсязі представлені в опублікованих наукових працях, що відповідають вимогам до результатів опублікування результатів дисертаційної роботи, яка подається на здобуття ступеня доктора наук, а також демонструють цілісність виконаної наукової роботи.

### **Ступінь використання матеріалів і висновків кандидатської дисертації**

Наукові результати, положення та висновки, викладені в дисертації Бойко Н.І. на тему «Методологія багатовимірного аналізу мультимодальних даних», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології, є результатом самостійного дослідження й не містять матеріалів попередньої дисертації автора «Формування інформаційних потоків та управління ними в логістичній системі торговельних підприємств», захищеної у 2009 році у спеціалізованій вченій раді К 35.840.01 при Львівській комерційній академії.

### **Відсутність (наявність) академічного плагіату, фабрикації та фальсифікації**

У дисертаційній роботі Бойко Н.І. не зафіксовано випадків академічного плагіату, а також відсутні будь-які ознаки фабрикації чи фальсифікації результатів наукового дослідження. Робота підготовлена з дотриманням норм академічної доброчесності відповідно до вимог статті 42 Закону України «Про освіту». У випадку використання ідей, методик або фрагментів тексту інших науковців, це завжди супроводжується належним посиланням на джерело, або оформлюється як пряма цитата із використанням лапок і вказівок на першоджерело.

### **Відповідність дисертаційної роботи паспорту спеціальності**

Тема, науковий зміст та суть дисертаційної роботи Бойко Н.І. «Методологія багатовимірного аналізу мультимодальних даних» повною мірою відповідає науковому профілю докторської ради Д 73.052.04 при Черкаському державному технологічному університеті, а також безпосередньо узгоджується з пунктами, визначеними паспортом спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології.

Зокрема, робота охоплює розроблення теоретичних підходів та методологічних основ до побудови інформаційної технології багатовимірного аналізу мультимодальних даних, що відповідає пункту: «розроблення наукових і методологічних основ створення та застосування інформаційних технологій та інформаційних систем для автоматизованої переробки інформації й управління».

Окрім того значна частина дослідження присвячена аналізу, моделюванню, навчанню та оптимізації розробленої інформаційної технології, що прямо відповідає пункту: «розроблення інформаційних технологій для аналізу та синтезу структурних, інформаційних і функціональних моделей об'єктів і процесів, що автоматизуються».

### **Дискусійні питання та зауваження до роботи**

1. У першому розділі, автор коректно визначає ключові поняття «мультимодальні дані», «гетерогенність», «багатовимірний аналіз». Водночас варто було б окремо акцентувати на відмінності між multimodal data та multisource data, оскільки у міжнародній літературі ці терміни використовуються по-різному.
2. У схемі (Рис. 2.12) підрозділу 2.5 (с. 143) загальний життєвий цикл технології показано достатньо повно, але можна було б розширити пояснення ролі етапу самоадаптації та онлайн-навчання, які в тексті згадані лише наприкінці.
3. У підрозділі 3.3 детально подано підходи до виділення ознак із зображень. Разом з тим, було б доречно коротко згадати новітні методи на основі глибинних згорткових мереж, що є сучасним стандартом у комп'ютерному зорі.
4. У підрозділі 3.4 змістовно висвітлюється процес інтеграції даних різних модальностей. Водночас корисним було б узагальнити підхід у вигляді узагальненої схеми чи алгоритму, що наочно демонстрував би етапи уніфікації та подальшого формування ознакового простору.
5. У підрозділі 4.3 Таблиця 4.6 (с. 202) містить результати розрахунку критеріїв для перших десяти концептів. Було б корисно супроводити їх короткою візуалізацією (наприклад, графічним відображенням Парето-фронт), що підвищило б наочність та полегшило розуміння компромісів між критеріями.
6. Таблиця 5.3 (с. 220) підрозділу 5.1, пропонує «рекомендовані методи обробки» ознак залежно від коефіцієнта варіації. Однак зв'язок між

рівнем варіативності та вибором конкретної трансформації (логарифмування, winsorization, Z-нормалізація) бажано було б аргументувати більш чітко, з посиланням на літературні джерела чи експериментальні результати.

7. Підрозділ 5.2 містить значну кількість формальних визначень та математичних записів, однак бракує проміжних пояснень “зв’язками словами”. Варто додати більш плавні переходи між описом побудови простору ознак, застосуванням CDA та формалізацією функції втрат. Є повтори у поясненнях щодо CDA (двічі подається схожий опис пошуку вектору  $w$ ). Доцільно уникнути дублювань і залишити лише один узгоджений варіант.
8. До рисунків (5.10–5.14) підрозділу 5.3 наведено опис, але бракує аналітичних пояснень, що саме видно на візуалізаціях та як це інтерпретується для лікаря.
9. На Рис. 6.15 (с. 307) підрозділу 6.3 бракує розмірностей векторів і кількості параметрів, що робить схему менш інформативною.

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

### **Загальні висновки**

Дисертаційна робота Бойко Наталії Іванівни на тему «Методологія багатовимірного аналізу мультимодальних даних» є самостійно виконаним, цілісним та завершеним науковим дослідженням, що присвячене вирішенню актуальної теоретичної проблеми – розроблення методології для створення інформаційної технології багатовимірного аналізу мультимодальних даних. Робота вирізняється високим рівнем методологічної послідовності та логічної структурності.

Зміст дисертаційної роботи Бойко Н.І. повністю узгоджується з визначеною метою дослідження та відображає його послідовну логіку. Сформульовані в роботі наукові положення, висновки та рекомендації є належним чином обґрунтованими й підтверджені аналізом широкого кола сучасних наукових джерел, а також результатами практичної верифікації, проведеної за участі медичних установ. Структура та наповнення дисертації демонструють цілісність, внутрішню узгодженість та завершеність роботи, а також повністю відповідають вимогам паспорта спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології.

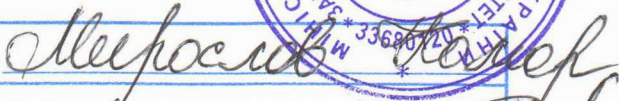

Реферат дисертації в повній мірі відображає основні наукові положення, викладені у ній, її наукову новизну і практичну значимість, відповідає змісту дисертації.

У цілому, дисертаційна робота Бойко Н.І. за темою: «Методологія багатовимірної аналізу мультимодальних даних» відповідає вимогам пунктів 7-9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021, № 1197, що є підставою для присудження її автору, Бойко Наталії Іванівні, наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент

д.т.н., професор, професор кафедри  
інформаційно-обчислювальних систем і  
управління Західноукраїнського  
національного університету

Мирослав КОМАР

Підпис   
Завіряю:   
НАЧАЛЬНИК  
ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ

