

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

СУББОТІНА Сергія Олександровича

на дисертаційну роботу ІЗОНІНА Івана Вікторовича за темою:

“Ансамблі моделей неітеративного машинного навчання для аналізу біомедичних даних малих обсягів”, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – Системи та засоби штучного інтелекту.

Актуальність теми дисертації

Інтелектуальний аналіз біомедичних даних малих обсягів є однією з найактуальніших задач сучасних клінічних і медико-біологічних досліджень. Це зумовлено тим, що у багатьох випадках, зокрема при вивченні рідкісних захворювань, розробці індивідуалізованих схем лікування або апробації нових експериментальних методик, дослідники мають справу з вибірками обмеженого розміру, що істотно ускладнює застосування класичних алгоритмів машинного навчання. Такі дані, як правило, характеризуються високою розмірністю, гетерогенністю, нестабільністю та наявністю шумів, що також ускладнює застосування інструментарію машинного навчання, в тому числі штучних нейронних мереж, які переважно орієнтовані на аналіз великих обсягів даних. Це породжує потребу в удосконаленні існуючих та розробленні нових методів, здатних ефективно функціонувати в умовах аналізу табличних вибірок даних малого обсягу. Такі методи повинні забезпечувати високі точність, властивості узагальнення, робастність до викидів і аномалій у даних, а також можливість інтерпретації результатів.

Розроблення ансамблів моделей неітеративного машинного навчання набуває особливої важливості для комплексного розв’язання вищезгаданих проблем. Зокрема, використання неітеративних моделей лінійного та нелінійного типів, мають низку суттєвих переваг: швидке навчання, ефективність при обмежених обчислювальних можливостях, низький ризик перенавчання та високу інтерпретованість. Об’єднання таких моделей у ансамблі, з використанням спеціальних методів декореляції даних, розширення входів, аугментації даних та компенсації похибок, забезпечить підвищення точності та стійкості результатів розв’язання задач регресії/класифікації навіть за умов екстремально-коротких вибірок біомедичних даних. Таким чином, тема дисертаційної роботи є не лише науково обґрунтованою, але й практично значущою для розв’язання критичних задач біомедичної діагностики та інтелектуального аналізу медичних даних.

Окрім того, дослідження, виконані в межах дисертаційної роботи, проводилися в рамках дев'яти науково-дослідних проєктів, що фінансувалися Міністерством освіти і науки України, Міністерством охорони здоров'я України, Національним фондом досліджень України, а також Європейським Союзом у межах програм Horizon Europe та EUREKA. Це свідчить про високу наукову і практичну значущість обраної теми, а також про її відповідність пріоритетним напрямкам розвитку науки й технологій як на національному, так і на міжнародному рівні.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, мають високий ступінь обґрунтованості, що забезпечено як теоретичними, так і експериментальними дослідженнями. 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 запропонованих методів. 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 та і на реальних даних біомедичних досліджень. Для оцінювання ефективності запропонованих методів використано загальновизнані кількісні метрики (MAE, RMSE, R^2 , F1-міра, Коефіцієнт кореляції Метьюса, тощо), а також виконано порівняння з базовими та сучасними аналогами.

Результати дослідження опубліковані у високореєтингових наукових журналах та апробовані на міжнародних конференціях, що відбувалися у тринадцяти країнах світу. Їх також впроваджено в межах прикладних науково-дослідних проєктів в Україні та за кордоном, що додатково підтверджує їхню практичну цінність, достовірність та прикладну значущість. Окремі розробки, виконані в рамках дисертаційної роботи, впроваджено в діяльність низки медичних установ України, що підтверджується відповідними Актами впровадження та використання. Це свідчить про реальну прикладну ефективність запропонованих методів у сфері біомедичної інженерії та охорони здоров'я, а також підтверджує їхню наукову обґрунтованість і достовірність отриманих результатів на практиці.

Наукова новизна результатів дослідження

У дисертаційній роботі Ізоніна І.В., на основі виконання теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливу теоретичну проблему

розвитку основ теорії синтезу нейроподібних ансамблевих структур з неітеративним машинним навчанням для підвищення точності розв'язання задач регресії та класифікації на вибірках біомедичних даних малих обсягів. При цьому Ізоніним І.В. такі наукові результати:

1. Вперше розроблено методологію розв'язання задач регресії і бінарної класифікації на основі декартового квадрату множини вхідних компонентів векторів, яка включає базовий, адитивний, каскадний методи, а також методи формування комбінованої поверхні відгуку та формування аугментованої вибірки даних необхідного обсягу, і забезпечує підвищення як точності роботи нелінійних моделей машинного навчання так і їхніх властивостей узагальнення під час аналізу екстремально-коротких вибірок біомедичних даних.

2. Вперше розроблено метод синтезу ансамблю лінійних нейроподібних структур, який завдяки агрегуванню кусково-лінійно апроксимованих поверхонь відгуку кожного його елемента, забезпечує підвищення точності моделей регресії та класифікації.

3. Вперше розроблено метод синтезу ансамблів гомогенних нелінійних штучних нейронних мереж, який шляхом агрегування апроксимованих поверхонь відгуку, сформованих на незалежних вибірках із використанням попарних симетричних випадкових зміщень, забезпечує підвищення точності моделей регресії та класифікації.

4. Вперше розроблено метод часткової компенсації систематичної похибки нейронної мережі узагальненої регресії, який за рахунок використання ансамблю з двох таких нейронних мереж, забезпечує підвищення точності розв'язання задач регресії у випадку аналізу біомедичних даних малих обсягів.

5. Вперше розроблено метод нелінійного розширення простору незалежних ознак біомедичної вибірки даних, який внаслідок їх доповнення вихідними сигналами шару підсумовування ймовірнісної нейронної мережі, забезпечує підвищення точності класифікації даних на лінійних неітеративних нейроподібних структурах.

6. Вперше розроблено прямий та зворотний методи компенсації похибки моделі регресії, в яких за рахунок перетворень на основі раціональних дробів досягається підвищення точності та робастності апроксимації в задачах аналізу біомедичних даних малих обсягів з можливістю додаткового ітеративного уточнення результатів.

7. Удосконалено метод глобально-локальної апроксимації біомедичних даних малих обсягів, який на відміну від існуючого використовує незалежне виділення глобальної та локальної компонент

шуканого сигналу із використанням ансамблю з двох нейронних мереж узагальненої регресії, та надає можливість додаткового ітеративного уточнення шуканого значення.

8. Удосконалено метод формування комбінованої поверхні відгуку із застосуванням кластерного аналізу, який на відміну від існуючого, доповнює простір ознак цільовим значенням центру кластера, що забезпечує підвищення точності моделей регресії та класифікації на вибірках даних малих обсягів без втрати узагальнення.

9. Розвинуто теорію синтезу нейроподібних ансамблевих структур з неітеративним машинним навчанням, яка ґрунтується на розроблених методах нелінійного розширення простору ознак, аугментації даних, декореляції вибірок та компенсації похибок для підвищення точності розв'язання задач регресії та класифікації на вибірках біомедичних даних малих обсягів.

10. Розвинуто метод кусково-лінійної апроксимації, який за рахунок ізоморфного подання кожного значення ознаки у вигляді її локальних компонентів розширює простір вхідних даних та забезпечує локальну корекцію параметрів багатовимірної поверхні відгуку лінійними неітеративними нейроподібними структурами.

Зазначений вище перелік пунктів новизни дисертаційної роботи дозволяє зробити висновок, що І.В.Ізоніним отримано вагомі та оригінальні наукові результати, які мають як фундаментальне, так і прикладне значення. Удосконалені та розроблені методи істотно доповнюють теоретико-методологічну базу в галузі неітеративного машинного навчання та інтелектуального аналізу біомедичних даних малих обсягів.

Ключові положення дисертаційної роботи І.В. Ізоніна, її висновки, пропозиції та рекомендації є результатом глибокого аналізу, формалізованого математичного моделювання та всебічної експериментальної перевірки. Вони ретельно обґрунтовані у представленому викладі, відзначаються високим рівнем наукової аргументації, інноваційністю та практичною доцільністю.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Практична цінність результатів дисертаційного дослідження І.В. Ізоніна полягає у використанні розроблених методів і програмних засобів інтелектуального аналізу біомедичних даних малих обсягів в медичній практиці, біоінженерії, клінічній діагностиці та біоматеріалознавстві. Розроблені ансамблі неітеративних нейроподібних структур здатні забезпечити високу точність та стійкість прогнозування у випадках, коли класичні алгоритми машинного навчання, в тому числі і штучні нейронні мережі,

виявляються малоефективними через недостатню кількість доступних спостережень для виконання процедур навчання існуючими методами.

Дисертаційне дослідження виконано в межах реалізації низки прикладних науково-дослідних проектів в Україні і за кордоном, а його результати впроваджено у роботу низки науково-дослідних та медичних установ України. Зокрема, розроблені методи та програмні засоби використано для розв'язання задач моделювання, оцінювання чи діагностування в таких галузях як біоматеріалознавство, ревматологія, травматологія, стоматологія, трансплантологія, де спостерігається малий обсяг вибірки даних для реалізації процедур навчання класичних алгоритмів машинного навчання. Факт впровадження підтверджується відповідними актами та свідчить про готовність розроблених методів і засобів до практичного використання в умовах реальної медичної практики, зокрема в задачах персоналізованої медицини, експертних систем підтримки прийняття рішень та комп'ютерної діагностики.

Оцінка змісту, структури та завершеності дисертаційної роботи

Дисертаційна робота І.В. Ізоніна викладена на 371 сторінці друкованого тексту, з яких 310 сторінок становить основний зміст. Вона є завершеною науковою працею, яка включає анотацію, вступ, сім розділів з відповідними підрозділами, висновки до кожного розділу, загальні висновки до дисертаційної роботи, список використаних джерел і додатки. Дисертаційна робота Ізоніна І.В. містить 17 таблиць, 50 рисунків, 5 додатків. Список використаних джерел налічує 310 найменувань й викладений на 40 сторінках. Вона підготовлена відповідно до встановлених нормативних вимог, зокрема до наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40 "Про затвердження Вимог до оформлення дисертації".

У вступі дисертаційної роботи І.В. Ізоніна 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 дисертаційної роботи, а також індивідуальний внесок автора у роботу в співавторстві.

У першому розділі автор розглядає поняття біомедичних даних, аналізує їх характерні особливості, що визначають специфіку застосування методів інтелектуального аналізу. Систематизує підходи до трактування малих обсягів даних на основі літературних джерел, та узагальнює типові проблеми, які виникають при використанні моделей штучних нейронних мереж для аналізу таких вибірок. У розділі міститься критичний аналіз

існуючих лінійних і нелінійних моделей, методів розширення простору ознак та аугментації даних, виявлено їх переваги й обмеження. Сформульовано узагальнене поняття ансамблю штучних нейронних мереж, охарактеризовано основні класи ансамблевих підходів та їх недоліки. Сформульовано мету та визначено основні завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі автором подано метод нелінійного доповнення входів лінійної неітеративної нейроподібної структури МППП за допомогою членів полінома Колмогорова–Габора та описано спосіб ідентифікації відповідних коефіцієнтів. Вперше розроблено метод розв’язання задач класифікації шляхом розширення входів штучних нейронних мереж вихідними сигналами шару підсумовування ймовірнісної нейронної мережі. Удосконалено метод формування комбінованої поверхні відгуку з використанням кластерного аналізу для підвищення точності регресійних і класифікаційних моделей на вибірках малих обсягів. Крім того, розвинуто метод кусково-лінійної апроксимації для багатовимірних поверхонь, що ґрунтується на ізоморфному поданні ознак як сукупності локальних компонент і забезпечує локальне уточнення параметрів моделі.

У третьому розділі автором запропоновано новий підхід до аугментації табличних вибірок даних, який дозволяє квадратично збільшити обсяг вибірки даних шляхом застосування базових структурних операцій. Розроблено методологію розв’язання задач регресії та бінарної класифікації на основі декартового квадрату множини вхідних компонентів векторів, орієнтовану на аналіз екстремально коротких вибірок. Обґрунтовано доцільність використання базового та адитивного методів у поєднанні з існуючими нелінійними моделями штучних нейронних мереж. Наведено модифікації цих підходів із використанням каскадування нейронних мереж та формування комбінованої поверхні відгуку на основі кластерного аналізу. Додатково розглянуто метод формування аугментованої вибірки необхідного обсягу з урахуванням кластеризації для підвищення точності та ефективності навчання нелінійних моделей штучних нейронних мереж.

У четвертому розділі автором запропоновано підхід до розв’язання задач регресії та класифікації на вибірках даних малих обсягів, що ґрунтується на комбінуванні глобально апроксимованих поверхонь відгуку. На цій основі розроблено методи синтезу ансамблів гомогенних штучних нейронних мереж, які дозволяють поєднувати як зміщені функції, так і області кусково-лінійної апроксимації. Обґрунтовано концепцію формування ансамблів з однорідних нейронних мереж лінійного або нелінійного типу шляхом використання декорельованих вибірок, унікальних для кожного члена ансамблю. Для досягнення декореляції застосовано різні підходи: кусково-лінійна

апроксимація багатовимірної поверхні відгуку; метод випадкових зміщень; метод попарних симетричних випадкових зміщень. Показано, що всі розроблені ансамблі можуть реалізовуватись через усереднення, голосування більшістю (бегінг), блендінг або класичний стекінг.

У п'ятому розділі автором розроблено та вдосконалено низку методів компенсації похибок моделей штучних нейронних мереж на основі каскадних ансамблів. Обґрунтовано аналітичну можливість підвищення точності апроксимації та часткового усунення систематичної похибки у нейронних мережах узагальненої регресії шляхом побудови каскаду з двох послідовно з'єднаних моделей. Розроблено метод компенсації, в якому вихідний сигнал формується як результат простого або зваженого сумування відповідей двох нейромережових моделей. Удосконалено метод глобально-локальної апроксимації, який забезпечує роздільне виокремлення глобальної та локальної складових шуканого сигналу шляхом побудови ансамблю з двох моделей узагальненої регресії. Крім того, розроблено прямий і зворотний методи компенсації похибки моделі регресії, що базуються на використанні раціональних дробів.

У шостому розділі описано програмні засоби, розроблені для оцінювання ефективності розроблених у дисертаційній роботі методів. Окрім цього, велику увагу приділено оцінюванню ряду удосконалених та розроблених методів під час розв'язання різноманітних задач на модельних даних. Отримані результати підтверджують ефективність розроблених методів і свідчать про їхній високий потенціал для подальшого застосування в різних напрямках та спеціалізаціях біомедичних досліджень інженерії.

У сьомому розділі подано результати практичного впровадження методів, розроблених або удосконалених у межах дисертаційної роботи, для розв'язання задач регресії та класифікації з використанням біомедичних даних малих обсягів. Описано низку реальних прикладних задач у різних галузях біомедичної інженерії, зокрема в біоматеріалознавстві, ревматології, стоматології, травматології та трансплантології, для яких застосовано розроблені чи удосконалені методи. Наведено результати моделювання та порівняння, що підтверджують ефективність використання розроблених порівняно з існуючими методами аналізу. Описано етичні аспекти застосування таких методів.

У висновках підсумовано основні результати дослідження, спрямованого на розв'язання актуальної теоретичної проблеми - розвитку основ теорії синтезу нейроподібних ансамблевих структур з неітеративним машинним навчанням для підвищення точності розв'язання задач регресії та класифікації на вибірках біомедичних даних малих обсягів.

Список використаних джерел оформлено відповідно до стандарту IEEE. У додатках представлено графічні й табличні матеріали, а також акти впровадження результатів дисертаційної роботи Ізоніна І.В. та свідоцтва про авторське право на комп'ютерні програми.

Оцінка повноти викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях та їх відповідність встановленим вимогам

За темою дисертації Ізоніним І.В. опубліковано 53 наукові публікації, що свідчить про високий рівень апробації, наукової активності та відкритості проведеного дослідження. До цього переліку входять: 2 розділи в колективних монографіях (опублікованих в Україні та за кордоном); 22 наукові статті, серед яких 6 опубліковано у фахових виданнях України (категорія Б), а 16 - у міжнародних рецензованих журналах, що індексуються в авторитетних наукометричних базах Scopus та/або Web of Science; 26 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій, з яких 22 індексуються в Scopus; а також 3 свідоцтва України про реєстрацію авторського права на комп'ютерні програми.

Усі положення дисертаційної роботи Ізоніна І.В. та основні результати дослідження є самостійним науковим доробком автора. У публікаціях, підготовлених у співавторстві, особистий внесок здобувача чітко визначено та повністю відображено, що засвідчує його провідну роль у виконанні дослідження.

В усіх публікаціях ґрунтовно висвітлено ключові теоретичні положення, методи та моделі, а також практичні результати, що становлять сутність розв'язаної в дисертації теоретичної проблеми. Видання, у яких оприлюднено ці матеріали, повністю відповідають науковому профілю спеціальності 05.13.23 *Системи та засоби штучного інтелекту*, а тематика публікацій безпосередньо пов'язана з предметом дисертаційного дослідження. При цьому 15 публікацій опубліковано у журналах, що входять до 1-го та 2-го квартилів за рейтингами наукометричної бази Scopus, що засвідчує їхній високий науковий рівень. Апробація результатів дослідження здійснювалася в межах 26 доповідей на міжнародних наукових конференціях, проведених у 13 країнах світу, що забезпечило широке визнання й поширення основних ідей та висновків дисертаційної роботи в міжнародному науковому середовищі.

Отже, результати досліджень, виконаних Ізоніним І.В., включаючи всі наукові положення, висновки та рекомендації, викладено повно і всебічно. Вони відповідають змісту та обсягу виконаної роботи і повністю узгоджуються з чинними вимогами, що висуваються до дисертаційних досліджень.

Оцінка відсутності/наявності академічного плагіату, фабрикації та фальсифікації у дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Ізоніна І.В. виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності та не містить ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів, що відповідає вимогам статті 42 Закону України “Про освіту”. Усі наукові результати, викладені в дисертації, є самостійним доробком автора. Використання положень, ідей, методів, даних або фрагментів текстів інших дослідників завжди супроводжується чіткими й коректними бібліографічними посиланнями.

Оцінка результатів, висвітлених в дисертації, які виносилися на захист дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата наук

Наукові положення, дослідження та результати, які виносилися на захист дисертаційної роботи Ізоніна І.В. за темою “Методи та засоби забезпечення надвисокої роздільної здатності зображень з флуктуаційною функцією інтенсивності” на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 Системи та засоби штучного інтелекту, захищеної на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.14 при Національному університеті “Львівська політехніка” 11 березня 2016 року, не виносяться на захист у поданій дисертаційній роботі Ізоніна І.В. за темою “Ансамблі моделей неітеративного машинного навчання для аналізу біомедичних даних малих обсягів” на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.23 Системи та засоби штучного інтелекту.

Відповідність змісту реферату основним положенням дисертації

Реферат дисертаційної роботи Ізоніна І.В. за темою “Ансамблі моделей неітеративного машинного навчання для аналізу біомедичних даних малих обсягів” за своїм змістом повністю відповідає основним положенням та висновкам дисертації, відображає її структуру та логіку викладення матеріалу.

Відповідність дисертаційної роботи паспорту спеціальності

Зміст дисертаційної роботи Ізоніна І.В. за темою “Ансамблі моделей неітеративного машинного навчання для аналізу біомедичних даних малих обсягів” відповідає профілю профілю докторської ради Д 35.052.14. та паспорту спеціальності 05.13.23 Системи та засоби штучного інтелекту у частині його формули та напрямків досліджень, зокрема:

1. Розроблення теоретичних засад створення та застосування систем штучного інтелекту різноманітного призначення.
2. Аналіз, синтез і моделювання нейронних мереж, розроблення методів їх проектування, оптимізації та навчання.

Зауваження та дискусійні питання:

1. Огляд відомих методів аналізу даних малих обсягів в першому розділі доцільно би було доповнити інформацією про такі засоби, як Машина екстремального навчання та Функціонально-зв'язана мережа із випадковими

вагами як важливі методи неітеративного навчання, які в тому числі можуть ефективно розв'язувати задачі інтелектуального аналізу даних малих обсягів.

2. У пункті 2.3 автором описано розроблений метод розширення входів вихідними сигналами шару підсумовування ймовірнісної нейронної мережі. Слід було б чіткіше обґрунтувати вибір саме цієї штучної нейронної мережі, оскільки такий метод може базуватися і на використанні інших алгоритмів, зокрема Бассового класифікатора, логістичної регресії, тощо.

3. Третій алгоритм (згідно формули (2.23)) розробленого автором методу розширення входів ШНМ із використанням вихідних сигналів шару підсумовування ймовірнісної нейронної мережі (с. 103) не виглядає доречно під час аналізу і без того високорозмірних даних обмеженого обсягу. Необхідно було б зазначити обмеження цього алгоритму.

4. У третьому розділі дисертації наведено 4 методи оцінювання/класифікації на основі декартового квадрату множини вхідних компонентів векторів. П'ятий розроблений метод (пункт 3.6) передбачає конкатенацію векторів з двох різних вибірок – початкової вибірки даних та вибірки даних, яка містить центри оптимальної кількості кластерів досліджуваної вибірки даних (формули (3.48)-(3.49) на с. 151). Саме тому коректнішою назвою цього методу є метод оцінювання/класифікації на основі декартового добутку, а не декартового квадрату.

5. У розділі 4 дисертаційної роботи автор використовує методи випадкових зміщень для формування унікальних вибірок даних для кожного члена гомогенного ансамблю. Слід би було чіткіше окреслити різницю між бустрепом та методами декореляції вибірок даних за допомогою випадкових зміщень.

6. У пункті 5.3. автором описано удосконалений метод розв'язання задач регресії/класифікації на основі виділення глобальної та локальної компонентів поверхні відгуку. Варто було б чіткіше аргументувати вибір двох нейронних мереж узагальненої регресії у складі цього методу.

7. У наступних таблицях, зокрема в Таблиці 6.3 (с. 241), Таблиці 6.4 (с. 244), Таблиці 6.5 (с. 250), Таблиці 6.8 (с. 263), зазначено метод оптимізації, застосований у ході експериментальних досліджень. Проте автором не вказано, який саме критерій оптимальності використовувався як функція цілі при налаштуванні параметрів моделей.

Загальні висновки

Дисертаційна робота І.В. Ізоніна за темою: “Ансамблі моделей неітеративного машинного навчання для аналізу біомедичних даних малих обсягів”, є завершеною науковою працею, виконаною автором самостійно, яка за змістом відповідає паспорту спеціальності 05.13.23 Системи та засоби

штучного інтелекту. Положення дисертаційної роботи І.В. Ізоніна містять вагому наукову новизну та практичну цінність.

У дисертаційній роботі І.В. Ізоніна на підставі проведених досліджень, отримано наукові результати, що є суттєвим авторським внеском у вирішення актуальної теоретичної проблеми розвитку основ теорії синтезу нейроподібних ансамблевих структур з неітеративним машинним навчанням для підвищення точності розв'язання задач регресії та класифікації на вибірках біомедичних даних малих обсягів. За змістом реферат відповідає основним положенням, висновкам і пропозиціям викладеним в дисертаційній роботі І.В. Ізоніна. Отримані результати є науково обґрунтованими, новими та в достатній мірі висвітленими у високореєтингових наукових виданнях і апробованими на міжнародних конференціях. Розроблені автором методи мають як практичну цінність для медичних і технічних застосувань, так і теоретичне значення для подальшого розвитку систем штучного інтелекту, орієнтованих на аналіз даних малих обсягів.

Наведене свідчить, що дисертаційна робота І.В. Ізоніна за темою: “Ансамблі моделей неітеративного машинного навчання для аналізу біомедичних даних малих обсягів” є завершеною науковою працею, що відповідає вимогам, встановленим до написання дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, відповідно до п. 7–9 “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук” затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021, № 1197, а її автор, Ізонін Іван Вікторович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – Системи та засоби штучного інтелекту.

Офіційний опонент:
завідувач кафедри програмних засобів
Національного університету
"Запорізька політехніка",
доктор технічних наук, професор

Сергій СУББОТН



Підпис
ЗАСВІДЧУЮ
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Handwritten signature of the official opponent, Serhii Subbotin.