

Голові разової спеціалізованої
вченої ради PhD 12360
Хмельницького національного університету
доктору технічних наук, професору
Олегу САВЕНКУ

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Чабана Олександра Романовича
за темою «Методи та засоби інтеграції знань в моделі штучного інтелекту медичних
діагностичних комплексів»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

Актуальність теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт університету.

Сучасна медична практика супроводжується постійним зростанням обсягів діагностичних даних, що потребує результативних засобів їхнього опрацювання, аналізу та інтерпретації. У таких умовах особливого значення набувають моделі штучного інтелекту, здатні допомагати лікарю під час роботи із зображеннями, текстовими записами та іншими різнорідними клінічними відомостями.

Разом з тим, методи, що спираються лише на статистичні закономірності в наборах даних, мають істотні обмеження. Для медичної галузі типовими є дефіцит якісно розмічених даних, відмінності між діагностичним обладнанням та складність пояснення прийнятих моделлю рішень. За таких умов ігнорування перевірених медичних знань призводить до зниження стійкості моделей і ускладнює їхнє безпечне практичне використання.

Дисертація Чабана Олександра Романовича спрямована на подолання цієї суперечності через створення методів і засобів інтеграції експертних знань у моделі штучного інтелекту медичних діагностичних комплексів. Запропонований підхід передбачає поєднання обчислювальних можливостей глибокого навчання з формалізованими знаннями про анатомічні структури, взаємозв'язки між ними та логіку клінічних висновків. Як наслідок, актуальною науково-прикладною задачею є підвищення точності та клінічної обґрунтованості процесу прийняття рішень у медичних діагностичних комплексах через створення методів та засобів інтеграції експертних знань у моделі штучного інтелекту. Ця задача відповідає предметній області спеціальності 122 Комп'ютерні науки для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, оскільки стосується моделей, методів, інформаційних технологій та програмних засобів інтелектуального опрацювання даних.

Дисертаційну роботу виконано, відповідно до плану науково-дослідної тематики Хмельницького національного університету. Здобувач був безпосереднім виконавцем держбюджетної науково-дослідної теми ГУ 57-2024 «Інтелектуальна система розпізнавання дефектів об'єктів зеленої енергетики із використанням БПЛА» (№ державної реєстрації 0124U004665). Фінансове забезпечення цього проекту здійснюється коштом зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу, що спрямоване на реалізацію зобов'язань України в рамках програми Європейського Союзу із наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020».

Загалом, обраний дисертантом напрям досліджень є актуальною науково-прикладною задачею, що має істотне значення для розвитку інтелектуальних інформаційних технологій у сфері медичного діагностування.

Формулювання наукової задачі, мети й задач дослідження.

Здобувачем коректно визначено наукову задачу, об'єкт і предмет дослідження, відповідно до висунутої дослідницької гіпотези. Так, *об'єктом дослідження* є процеси інтеграції знань та опрацювання даних у системах штучного інтелекту медичних діагностичних комплексів.

Предметом дослідження визначено методи та засоби інтеграції експертних знань у моделі глибокого навчання для задач сегментації, класифікації медичних зображень та аналізу текстових клінічних даних.

Метою дослідження є підвищення точності та клінічної обґрунтованості процесу прийняття рішень у медичних діагностичних комплексах через створення методів та засобів інтеграції експертних знань у моделі штучного інтелекту.

Поставлену мету досягнуто в результаті розв'язання таких завдань:

1. Проведено аналіз сучасного стану методів глибокого навчання та підходів до формалізації медичних знань, виявлено наявні обмеження статистичних підходів та визначено перспективи створення гібридних архітектур.

2. Розроблено метод адаптивної дистиляції знань від моделей-вчителів до моделі-учня для забезпечення точності процесу діагностування в умовах зсуву домену та обмеженої розмітки даних.

3. Розроблено метод встановлення смислових зв'язків у медичних текстах через інтеграцію онтологічних знань та аналізу тональності в архітектуру нейронної мережі для підвищення точності інтерпретації клінічних записів.

4. Розроблено метод сегментації зображень магнітно-резонансної томографії серця, що ґрунтується на синергетичному поєднанні механізму експертно-керованої уваги та спеціалізованої функції втрат із топологічними обмеженнями для забезпечення анатомічної коректності результатів.

5. Розроблено метод ідентифікації патологій із використанням графової згорткової мережі, який інтегрує реляційні діагностичні знання та дає змогу моделювати взаємозв'язки між анатомічними структурами.

6. Спроектовано архітектуру інтелектуальної інформаційної системи інтеграції знань, яка забезпечує гнучке оброблення гетерогенних медичних даних та підтримку модульної взаємодії між компонентами сегментації, класифікації та аналізу текстів.

7. Програмно реалізовано інтелектуальну інформаційну систему інтеграції знань на основі спроектованої архітектури, виконано постановку експерименту та проведено комплексні експериментальні дослідження для підтвердження підвищення точності та клінічної обґрунтованості процесу прийняття рішень у медичних діагностичних комплексах на еталонних медичних наборах даних.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в такому:

1) удосконалено метод адаптивної дистиляції знань від моделей-вчителів до моделі-учня, який відрізняється від аналогів використанням динамічного ансамблю моделей-вчителів зі спеціалізованою моделлю для змагальної адаптації домену та механізмом селективної фільтрації, що дає змогу накопичувати досвід із різних клінічних доменів та передавати його компактній моделі-учню, підвищуючи в такий спосіб точність процесу прийняття рішень за варіативності вхідних даних;

2) удосконалено метод встановлення смислових зв'язків у медичних текстах, який, на відміну від наявних, поєднує інтеграцію онтологічних знань та явне кодування

інформації про тональність і заперечення, що підвищує точність інтерпретації клінічних записів та забезпечує логічну узгодженість висновків;

3) розроблено новий метод сегментації зображень магнітно-резонансної томографії серця, який ґрунтується на синергетичному поєднанні механізму експертно-керованої уваги для фокусування на складних ділянках та спеціалізованої функції втрат із топологічними обмеженнями на основі знакової відстані, який, на відміну від наявних підходів, дає змогу явно кодувати вкладеність та суміжність анатомічних структур, що забезпечує підвищення точності визначення меж органів та усунення топологічних артефактів;

4) розроблено новий метод ідентифікації патологій серця за зображенням магнітно-резонансної томографії із використанням графової згорткової мережі, орієнтованої на знання, який, на відміну від відомих рішень, реалізує парадигму реляційного міркування на графах, де вузли об'єднують гібридні візуальні та морфологічні ознаки, а матриця суміжності формується як суперпозиція просторових зв'язків та клінічних кореляцій із медичних настанов, що дає можливість підвищити точність класифікації діагнозів та забезпечити інтерпретованість прийнятих рішень.

Короткий аналіз основного змісту дисертації.

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Її зміст відповідає заявленій темі, а логіка викладення забезпечує послідовний перехід від аналізу предметної області до розроблення методів, їхньої програмної реалізації та експериментальної перевірки.

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, основні завдання, предмет та об'єкт дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, відомості про апробацію та публікації.

У першому розділі здійснено комплексний аналіз сучасного стану технологій штучного інтелекту в медичній сфері, з акцентом на радіологію та медичну візуалізацію. Автором систематизовано обмеження методів, що спираються лише на дані, зокрема проблему доменного зсуву, дефіциту анотованих даних, семантичного розриву та недостатньої прозорості рішень. За результатами аналізу сформульовано вимоги до перспективних гібридних архітектур.

У другому розділі розкрито математичне та алгоритмічне забезпечення методів передавання експертних знань до системи штучного інтелекту медичного діагностичного комплексу. Зокрема деталізовано метод адаптивної дистиляції знань від моделей-вчителів до моделі-учня, формалізовано задачу адаптації домену та описано механізм агрегування ознак. Також наведено метод встановлення смислових зв'язків у медичних текстах через поєднання онтологічних знань, аналізу тональності та опрацювання заперечень.

У третьому розділі сформовано теоретичні засади інтеграції топологічних та реляційних знань у моделі глибокого навчання. Запропоновано метод сегментації зображень магнітно-резонансної томографії серця, що враховує анатомічні обмеження, а також метод ідентифікації патологій серця з використанням графової згорткової мережі, орієнтованої на знання. Наведені підходи спрямовані на підвищення точності меж анатомічних структур та забезпечення пояснюваності діагностичного висновку.

У четвертому розділі подано архітектуру та програмну реалізацію інтелектуальної інформаційної системи «IDK Medical AI», описано методологію експериментальних досліджень, використані еталонні набори даних та кількісні показники оцінювання. Автором проведено порівняльний аналіз, абляційні дослідження та оцінювання обчислювальної складності запропонованих рішень.

У висновках представлено отримані наукові та практичні результати дослідження, які підтверджують досягнення поставленої мети та виконання сформульованих завдань.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Чабана О. Р. достатньо обґрунтовані коректним використанням методів глибокого навчання та теорії нейронних мереж, методів інженерії знань, теорії графів, методів математичної статистики та оптимізації. Послідовність математичного опису, програмна реалізація запропонованих методів і порівняльні експериментальні дослідження дають підстави вважати одержані результати достовірними.

Достовірність результатів також підтверджена застосуванням кількох еталонних медичних наборів даних, зіставленням із відомими базовими рішеннями, аналізом стійкості до зміни домену даних та впровадженням розроблених методів у вигляді програмного комплексу. Основні висновки роботи логічно випливають зі змісту її розділів та результатів експериментальної перевірки.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в доведенні теоретичних положень дисертації до програмної реалізації та використання в навчальній, медичній і виробничій діяльності. На основі розроблених методів спроектовано та реалізовано програмний комплекс «IDK Medical AI», побудований за модульним принципом і призначений для опрацювання гетерогенних медичних даних.

Впровадження удосконаленого методу адаптивної дистиляції знань від моделей-вчителів до моделі-учня забезпечило підвищення метрики точності класифікації на цільовому домені до 81,45 % за наявності лише 500 розмічених зразків. Метод встановлення смислових зв'язків у медичних текстах досяг точності 81,14 % та покращив виявлення медичних заперечень. Метод сегментації зображень магнітно-резонансної томографії серця дав змогу знизити просторову похибку для міокарда з 9,8 мм до 6,5 мм та збільшити коефіцієнт Дайса для лівого шлуночка до 95,5 %. Метод ідентифікації патологій серця забезпечив точність класифікації п'яти патологічних станів на рівні 94,0 %.

Теоретичні та практичні результати дослідження впроваджені та використовуються у Львівському торговельно-економічному університеті (акт впровадження від 28.10.2025), Хмельницькій інфекційній лікарні (акт впровадження від 12.11.2025), ТОВ «КЦ НЕЙРОН» (акт впровадження від 22.10.2025), а також у процесі виконання держбюджетної теми Хмельницького національного університету ГУ 57-2024 «Інтелектуальна система розпізнавання дефектів об'єктів зеленої енергетики із використанням БПЛА» (№ держреєстрації 0124U004665).

Особистий внесок здобувача.

Усі основні наукові результати дисертації, що подані до захисту, отримані здобувачем особисто. Особистий внесок Чабана О. Р. полягає у формулюванні науково-прикладної задачі, аналізі сучасного стану методів інтеграції знань у моделі штучного інтелекту, розробленні методів адаптивної дистиляції знань, встановлення смислових зв'язків у медичних текстах, сегментації зображень магнітно-резонансної томографії серця та ідентифікації патологій серця, а також у проектуванні й програмній реалізації інтелектуальної інформаційної системи інтеграції знань.

За результатами досліджень опубліковано 12 наукових праць, зокрема 1 статтю у виданні, що індексується наукометричною базою Scopus, 3 статті у фахових виданнях

України категорії «Б», 6 публікацій у матеріалах конференцій (серед яких 2 публікації проіндексовано в наукометричній базі Scopus), 1 розділ у колективній монографії та 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму.

Апробація матеріалів дисертації.

Апробацію основних положень, ідей, висновків дисертаційної роботи проведено на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на 2nd International Workshop on Advanced Applied Information Technologies (Khmelnyskyi, 2025); 8th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (Lviv, 2025); 5th Edge Computing Workshop (Zhytomyr, 2025); XVI Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2024» (Хмельницький, 2024); 12th International Conference Information Control Systems & Technologies (Odesa, 2024); XXII Міжнародній науковій конференції «Нейромережні технології та їх застосування НМТЗ-2024» (Краматорськ-Тернопіль, 2024).

Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота має логічну структуру і складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел та п'яти додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 182 сторінки друкованого тексту, з них анотація – на 14 стор., зміст – на 3 стор., перелік умовних скорочень – на 2 стор., основний текст – на 130 стор., список зі 142 використаних джерел – на 20 стор., додатки – на 12 стор. Дисертація містить 54 рисунки та 27 таблиць.

Зауваження.

У результаті розгляду дисертації сформовано наступні зауваження та рекомендації:

1. У підрозділі 2.1.3 на стор. 63–66 наведено аналіз обчислювальної складності та апаратних вимог для впровадження системи. Водночас доцільно було б детальніше окреслити мінімальні практичні вимоги до обчислювальних засобів для використання запропонованих моделей у лікувальних закладах із різним рівнем технічного оснащення.

2. У підрозділі 2.2.3 на стор. 76–79 достатньо повно описано алгоритмічне забезпечення аналізу модальності та опрацювання заперечень у медичних текстах. Разом з тим, варто було б окремо визначити перспективи адаптації запропонованого підходу до україномовних клінічних записів та локальних медичних інформаційних систем.

3. У підрозділі 3.2.2 на стор. 90–94 описано структуру та алгоритмічне забезпечення методу сегментації зображень магнітно-резонансної томографії серця. Проте здобувачем не продемонстровано аналіз чутливості параметрів топологічних обмежень до зміни роздільної здатності зображень і особливостей протоколів сканування.

4. У підрозділі 4.4.2 на стор. 137–143 наведено результати експериментального дослідження анатомічної коректності сегментації та ідентифікації патологій. Водночас корисним було б винести до додатків декілька клінічно складних або прикордонних прикладів, що ілюструють поведінку системи у випадках неоднозначних меж анатомічних структур.

5. Окремі рисунки, зокрема рис. 2.3 (стор. 59), рис. 3.3 (стор. 87) та рис. 4.24 (стор. 143), є інформаційно насиченими. Можливо, варто було б збільшити їхній розмір

або подати деталізовані фрагменти в додатках для покращення читабельності основного тексту.

Однак зазначені зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертаційної роботи та не знижують її наукової і практичної цінності.

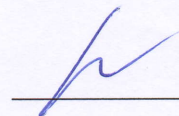
Загальний висновок.

Вважаю, що дисертаційна робота Чабана Олександра Романовича на тему «Методи та засоби інтеграції знань в моделі штучного інтелекту медичних діагностичних комплексів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням.

Робота містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати в галузі ІТ Інформаційні технології і за своїм науковим рівнем, практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп. 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 (зі змінами, внесеними згідно з постановами Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024), а її автор, Чабан Олександр Романович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

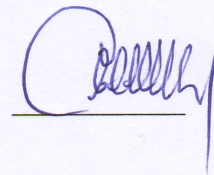
Рецензент:

к.ф.-м.н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних систем
Хмельницького національного університету



Тетяна КИСІЛЬ

«Підпис Тетяни КИСІЛЬ засвідчую»:
Проректор з наукової роботи
Хмельницького національного університету



Олег СИНЮК