

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Бабенка Віталія Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему «Технологія ієрархічної класифікації в задачах діагностики  
патологій за медичними зображеннями різних модальностей»,  
(назва дисертації)

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 – Інформаційні технології  
(код та назва)

за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки  
(код і найменування спеціальності відповідно до Переліку галузей знань і спеціальностей, за  
якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти)

### Актуальність теми дисертації.

Дисертаційне дослідження Бабенка В.О. зосереджене на вирішенні одного з актуальних завдань сучасної медицини — підвищенні ефективності діагностичних процедур шляхом аналізу медичних зображень. З огляду на стрімке зростання обсягів та ускладнення структури медичних даних, традиційні діагностичні підходи демонструють низку суттєвих обмежень, серед яких — обмежена точність, висока тривалість обробки інформації та залежність результатів від суб'єктивного сприйняття фахівця.

. Розвиток і впровадження інноваційних рішень на основі методів штучного інтелекту є одним із ключових напрямів, здатних істотно покращити якість та оперативність сучасного діагностичного процесу.

Дисертаційне дослідження Бабенка В.О. присвячене створенню універсальної технології ієрархічної класифікації, що базується на комплексному аналізі медичних зображень, отриманих із різних модальностей, зокрема ультразвукової діагностики та комп'ютерної томографії. Використання сучасних методів — текстурного аналізу, машинного навчання (у тому числі авторської модифікації «випадковий ліс дерев оптимальної складності» (ВЛДОС)) та ієрархічної класифікації — забезпечує автоматизацію діагностичних процедур і підвищує їхню точність.

Актуальність теми дисертації підкреслюється нагальною потребою в модернізації наявних діагностичних методів та засобів, особливо в умовах обмеженості ресурсів і зростаючого тиску на систему охорони здоров'я України. Впровадження запропонованої технології має потенціал сприяти ранньому виявленню патологій, зменшенню частоти діагностичних помилок та оптимізації процесу прийняття клінічних рішень, що підтверджує значущість

отриманих результатів для подальшого розвитку наукового знання та впровадження інновацій у клінічну практику.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна дисертаційного дослідження Бабенка В.О. полягає у розробці та впровадженні інноваційних методів автоматизованої діагностики патологій на основі аналізу медичних зображень. Ключові аспекти новизни:

1. Автором уперше запропоновано підхід до класифікації патологій, який базується на аналізі множини зображень одного об'єкта дослідження і передбачає агрегацію ймовірностей, отриманих із окремих знімків за визначеним вектором ознак для встановлення остаточного класу патології. На відміну від традиційних методів, орієнтованих на аналіз окремих зображень, запропонований метод враховує системні прояви захворювань, що значно підвищує точність діагностики на рівні пацієнта.

2. У роботі представлено нову модифікацію методу машинного навчання «Random Forest», названу ВЛДОС. Наукова новизна цього вдосконалення полягає в:

- інтеграції принципів методу групового урахування аргументів (МГУА) для побудови дерев оптимальної складності, що дозволяє уникнути перенавчання моделі;

- використанні генетичних алгоритмів для оптимізації набору ознак кожного дерева на основі критерію кореляції Метьюза, що зменшує взаємозалежність ознак;

- застосуванні методу аналізу ієрархій Сааті для визначення вагових коефіцієнтів дерев під час голосування, що підвищує внесок моделей із кращою прогножною здатністю.

Ця модифікація суттєво покращує точність і узагальнюючу здатність моделі, особливо в умовах дисбалансу класів, характерного для медичних даних.

3. Розроблено інноваційну технологію ієрархічної класифікації, яка ґрунтується на групуванні семантично споріднених класів і побудові багаторівневої системи класифікаторів, що включає базові класифікатори та метакласифікатори на рівнях зразків і об'єктів. Цей підхід зменшує кількість необхідних моделей порівняно з традиційними стратегіями («один проти всіх» або «один проти одного») та мінімізує вплив дисбалансу класів, що підтверджується підвищенням показників зваженої F-міри.

Достовірність і обґрунтованість наукових результатів дисертації забезпечуються такими ключовими чинниками:

1. Дослідження спирається на інтеграцію сучасних методів комп'ютерних наук, зокрема:

- гістограмну обробку та просторову фільтрацію для попередньої обробки зображень;
- сегментацію з використанням згорткових нейронних мереж (U-Net);
- широкий спектр методів текстурного та кореляційного аналізу;
- ансамблеві методи машинного навчання (Random Forest, XGBoost, LightGBM).

Такий комплексний підхід забезпечує всебічне вилучення інформативних ознак із медичних зображень, що є основою для створення точних діагностичних моделей

2. У дослідженні використано анонімізовані клінічні дані, отримані з провідних медичних установ України. Їхня релевантність і валідність підтверджуються походженням із достовірних джерел. Для забезпечення узагальнюючої здатності моделей застосовано стратифіковану групову перехресну перевірку під час поділу даних на навчальну, контрольну та екзаменаційну вибірки, що унеможлиблює витік даних. Додаткову надійність результатів забезпечено застосуванням методу ADASYN для компенсації дисбалансу класів.

3. Експерименти проводилися на персональному комп'ютері з високими технічними характеристиками: процесор Intel Core i5-9300H, 16 ГБ оперативної пам'яті та графічний процесор NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti. Використання мови програмування Python, що є стандартом у галузі машинного навчання, гарантує якість і відтворюваність програмної реалізації.

4. Ефективність розроблених моделей оцінювалася за допомогою комплексного набору метрик класифікації, зокрема правильності (Accuracy), чутливості (Sensitivity), специфічності (Specificity), точності (Precision) та F-міри (F-score). Статистична значущість результатів підтверджена розрахунком 95% довірчих інтервалів методом бутстрепа, що забезпечує об'єктивність оцінки.

5. Результати дослідження успішно впроваджено в клінічну практику чотирьох провідних установ:

- ДУ «Інститут ядерної медицини та променевої діагностики НАМН України»;
- ДУ «Інститут педіатрії, акушерства і гінекології імені академіка О.М. Лук'янової НАМН України»;
- ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України»;
- Інститут інформаційних технологій та систем НАН України.

Це слугує вагомим доказом практичної цінності та достовірності розроблених технологій у реальних клінічних умовах.

Таким чином, наукові результати дисертації є достовірними, обґрунтованими та мають високу наукову новизну, підтверджену як теоретичними розробками, так і успішним практичним застосуванням.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Бабенка В.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «122 – Комп'ютерні науки» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Комп'ютерні науки».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «аналізу цифрових зображень».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Бабенка Віталія Олеговича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

**Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Текст дисертації вирізняється логічною послідовністю та чіткою структурою викладення матеріалу. Кожен розділ присвячено окремому аспекту дослідження, що забезпечує логічний зв'язок між частинами роботи та цілісність наукового аналізу.

Доступність викладення досягається завдяки використанню зрозумілої мови, чітким формулюванням тез і обґрунтованій аргументації висновків. Автор уникає надмірної складності тексту, що робить роботу доступною не лише для вузьких спеціалістів, але й для широкого кола науковців, які цікавляться проблемами медичної діагностики та штучного інтелекту.

Стиль мовлення відповідає стандартам наукового дискурсу. Автор коректно застосовує наукову термінологію, загалом дотримуючись правил граматики та пунктуації. Виклад є об'єктивним і неупередженим, що відповідає принципам академічної етики.

Сильною стороною роботи є використання загальноприйнятої термінології. Автор демонструє належне володіння термінами з комп'ютерних наук, медичної діагностики та машинного навчання. У випадках введення нових понять надаються чіткі й лаконічні визначення, що сприяє однозначному розумінню тексту.

Інші характеристики:

- наочність: робота містить достатню кількість ілюстративного матеріалу (рисунки, таблиці, схеми), що полегшує сприйняття інформації та сприяє кращому розумінню результатів дослідження;

- обґрунтованість: твердження та висновки автора підкріплені посиланнями на авторитетні джерела й результатами експериментальних досліджень, що забезпечує наукову достовірність;

- самостійність: дисертація є результатом незалежного наукового дослідження, що підтверджується новизною запропонованих рішень та оригінальністю методологічних підходів.

Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 155 сторінки.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження в контексті прискореної цифровізації та зростання складності аналізу медичних зображень. Проаналізовано обмеження сучасних методів машинного навчання – недостатній обсяг анотованих даних, наявність шуму та артефактів, дисбаланс класів, що особливо ускладнює діагностику фіброзу печінки та COVID-асоційованих патологій легень. Сформульовано мету роботи – розроблення і валідація універсальної технології аналізу цифрових зображень, яка поєднує текстурний аналіз і ієрархічну класифікацію на основі модифікованого алгоритму ВЛДОС. Визначено об'єкт (процес аналізу діагностичних зображень) та предмет (методи й моделі машинного навчання для їх оброблення та аналізу). Окреслено задачі, що забезпечують досягнення поставленої мети, наведено методичний апарат дослідження (гістограмна обробка, фільтрація, сегментація, текстурний аналіз, кореляційний аналіз, ансамблеві підходи). Сформульовано наукову новизну, практичну цінність та наведено дані щодо впровадження результатів. Наприкінці подано структуру та обсяг дисертації.

Перший розділ містить систематизований огляд сучасних методів цифрової обробки й аналізу зображень із фокусом на медичні застосування. Розглянуто характеристики цифрових зображень – просторову роздільну здатність, глибину кольору, динамічний діапазон, формати (зокрема DICOM) – та їхній вплив на подальшу обробку. Особливу увагу приділено текстурному аналізу як інструменту виявлення тонких візуальних відмінностей. Проаналізовано синергію текстурних дескрипторів з ансамблевими та глибокими моделями навчання, що підвищує точність класифікації й сегментації. Визначено проблемні аспекти мультикласової класифікації: чутливість до шуму, залежність від великих розмічених вибірок, складність інтерпретації, перенавчання та дисбаланс класів. У підсумку сформульовано вимоги до нових, більш ефективних підходів.

У другому розділі викладено методологію екстракції ознак. Описано процедури гістограмної обробки – нормалізацію інтенсивності, еквалізацію, диференціювання – які уніфікують зображення та підвищують їхній контраст. Детально наведено побудову дескрипторів: статистики першого порядку, GLCM, GLDS, NGTDM, SFM, LTE, FDTA, GLRLM, спектр Фур'є, LBP, багаторегіональні та багатомасштабні (вейвлет) ознаки, а також ознаки, що отримані згортковими мережами (ResNet-50). Завершальним етапом є відбір найбільш інформативних параметрів за коефіцієнтом Спірмена, що зменшує розмірність даних і усуває мультиколінеарність.

Третій розділ присвячено удосконаленню методу випадкового лісу (ВЛДОС) та розробці багаторівневої системи ієрархічної класифікації. Порівняльний аналіз із XGBoost та LightGBM демонструє переваги ВЛДОС. Запропонована ієрархічна архітектура (групові класифікатори, метакласифікатори рівнів зразків та об'єктів) зменшує кількість моделей, мінімізує вплив дисбалансу класів і підвищує здатність моделей до узагальнення.

У четвертому розділі подано результати апробації технології на двох медичних задачах: 1) стадіювання фіброзу печінки за ультразвуковими зображеннями; 2) ідентифікація COVID-асоційованих уражень легень за даними КТ. Описано експериментальні установки, програмно-апаратні засоби та стратегію поділу даних (навчальна, контрольна, тестова вибірки з урахуванням унікальності пацієнтів). Наведено характеристику клінічного матеріалу, методи попередньої обробки (нормалізація, корекція яскравості/контрасту, сегментація легень U-Net). Представлено результати багаторівневої класифікації з оцінками accuracy, sensitivity, specificity, precision та F-measure із довірчими інтервалами. Показано, що мажоритарне голосування на рівні пацієнтів забезпечує найвищу ефективність. Розділ завершується рекомендаціями щодо інтеграції технології в клінічну практику, окреслює обмеження (необхідність ширшої клінічної валідації, підвищення інтерпретованості, етичні аспекти) та перспективні напрями подальших досліджень.

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.**

Наукові результати дисертації оприлюднено у 15 публікаціях здобувача. Серед них – дев'ять статей у виданнях, що на момент виходу входили до Переліку наукових фахових видань України, зокрема п'ять у виданнях категорії Б. Чотири статті опубліковано в періодичних виданнях, індексованих у базі Scopus; одна з них розміщена у журналі, віднесеному до кuartилів Q1–Q3 за класифікацією SCImago Journal and Country Rank / Journal Citation Reports. Дві

статті надруковано в інших рецензованих виданнях. Результати дослідження апробовано у тезах чотирьох наукових фахових конференцій.

Високий науковий рівень публікацій підтверджується їх розміщенням у провідних вітчизняних і міжнародних журналах, а також участю автора у міжнародних конференціях. Наявність статей, індексованих у Web of Science та Scopus, свідчить про міжнародне визнання одержаних результатів, тоді як публікації у журналах з високим імпакт-фактором (Q1–Q3) підкреслюють актуальність і значущість проведених досліджень.

Аналіз публікацій засвідчує дотримання принципів академічної доброчесності: відсутні ознаки плагіату, фабрикації чи фальсифікації даних, а всі запозичення належним чином задокументовано.

Таким чином, опубліковані праці В. О. Бабенка демонструють його високу наукову кваліфікацію, здатність до самостійного дослідження та істотний внесок у розвиток галузі; основні положення дисертації повністю відображено в наукових публікаціях автора.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. На сторінці 18 автор стверджує, що вибір методів машинного навчання «зумовлений їхньою здатністю ефективно обробляти складні, гетерогенні дані та забезпечувати високу точність і надійність діагностичних висновків». Однак у роботі основний акцент зроблено на метриках точності, тоді як аспекти надійності та ефективності прийняття діагностичних рішень розкрито недостатньо. Доцільно було б провести аналіз надійності розробленої системи, що є критично важливим для медичних застосувань.

2. Недостатньо обґрунтовано «необхідність використання інвазивної діагностики» в створеному автором дереві проблем дослідження (стор. 37, рис. 1.4). Зазначення інвазивної діагностики в даному контексті вимагає більш детального пояснення щодо її ролі та значущості в рамках дослідження.

3. У роботі відсутній аналіз стабільності та робастності запропонованої технології щодо варіацій параметрів сканування, що виникають при використанні обладнання різних виробників (GE, Hitachi, Philips, Siemens, Toshiba). Для всебічної оцінки надійності технології доцільно провести додаткові експерименти, спрямовані на визначення чутливості моделей до змін у параметрах отримання зображень, що дозволить зробити обґрунтовані висновки щодо їхньої ефективності в реальних клінічних умовах.

4. Експериментальна апробація розроблених методів здійснена виключно на внутрішніх наборах даних, що не забезпечує достатньої перевірки їхньої стабільності та узагальнюваності. Відсутність валідації на незалежних зовнішніх вибірках (зокрема, з інших медичних установ або публічних репозиторіїв) суттєво обмежує можливість екстраполяції отриманих результатів на ширший контекст застосування.

5. Метод ВЛДОС порівнюється з іншими (XGBoost, LightGBM) лише на основі фінальних метрик ефективності, що не дає змоги повноцінно оцінити його переваги чи недоліки. Для більш ґрунтовного обґрунтування доцільності використання методу доцільно провести розширений порівняльний аналіз, який охоплює також структурні характеристики моделей (зокрема, глибину та кількість дерев рішень) і обчислювальну складність порівняно з канонічним методом випадкового лісу.

6. У п. 2.2.5 запропоновано гібридний підхід, що поєднує текстурні дескриптори ручної розробки та ознаки згорткової нейромережі ResNet-50. Однак відсутній аналіз синергетичної взаємодії між цими наборами ознак. Доцільно було б провести аналіз внеску кожного набору ознак (ablation study) у кінцеву класифікаційну точність та дослідити їхню потенційну надлишковість.

7. Наведене пояснення нижчої точності при діагностиці Long COVID, пов'язане з неоднозначністю радіологічних патернів (стор. 125), потребує глибшого аналізу.

8. Робота написана на високому науковому рівні та грамотною мовою. Однак наявні поодинокі стилістичні та граматичні огріхи, що потребують корекції. Наприклад, на стор. 4 допущено тавтологію («Робота виконана виконано...»), а на стор. 16 термін «артефакт-інваріантних ознак» є стилістично невдалим; більш коректними є формулювання «ознак, інваріантних до артефактів» або «ознак, стійких до артефактів».

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 Бабенка Віталія Олеговича на тему «Технологія ієрархічної класифікації в задачах діагностики патологій за медичними зображеннями різних модальностей» 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 галузі знань «12 – Інформаційні технології». 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 Бабенко Віталій Олегович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «12 – Інформаційні технології» за спеціальністю «122 – Комп'ютерні науки».

**Офіційний опонент:**

завідувачка кафедри радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів та технологій,

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», д.т.н., проф.

(посада, місце основної роботи, науковий ступінь, вчене звання)

  
(підпис)

Олена ВИСОЦЬКА  
(власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)



М.П.

«27» червня 2025 року

Підпис *Олени Висоцької*  
ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар університету

*Тетяна Богданова*  
