

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу  
Шульги Максима Володимировича  
на тему «Метод та програмні засоби мультимодального аналізу медичних даних  
на основі глибокого навчання»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 Інформаційні технології  
за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

### **Актуальність теми дисертації.**

Значний прогрес у програмних засобах штучного інтелекту спричинив впровадження методів штучного інтелекту в останні роки у різноманітних сферах людської діяльності. Подекуди штучний інтелект створює серйозну конкуренцію фахівцям, а здебільшого він стає надійним помічником в роботі, зокрема, у медичній діагностиці. Медичне дослідження та визначення окремих тяжких захворювань є специфічним, тому потребує окремо розроблених методів та технологій для їх виявлення. Зокрема, своєчасне виявлення діабетичної ретинопатії за даними томографії сітківки ока є актуальним завданням на сьогодні, вирішення якого може врятувати багатьох дорослих працездатних людей від сліпоти. Автоматизація діагностики цього захворювання сприятиме зменшенню ризику втрати зору завдяки доступності та поширенню методів проведення профілактичних оглядів. Використання методу мультимодального аналізу дає змогу використання даних та інформації різного характеру для машинного навчання, що може позитивно впливати на точність розроблених моделей. Таким чином, дослідження, спрямоване на вдосконалення методу та програмних засобів мультимодального аналізу медичних даних є актуальним науковим завданням.

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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- розроблено метод мультимодального аналізу медичних даних на основі доповнення метаданих, який, на відміну від існуючих рішень, за рахунок використання модальності дає змогу підвищити точність багатокласової класифікації;
- набув подальшого розвитку спосіб універсального підвищення точності багатокласової класифікації завдяки використанню методу мультимодального аналізу для різних архітектур згорткової компоненти нейронної мережі, що на відміну від існуючих рішень за рахунок використання додаткової модальності

дозволяє підвищити точність визначення окремих класів в широкому діапазоні обчислювальних можливостей;

- вперше розроблено метод недетермінованого штучного доповнення метаданих, який, на відміну від існуючих рішень, за рахунок використання “витоку даних” на крайніх та подібних класах дає змогу підвищити точність визначення для окремих інших класів;

- набув подальшого розвитку метод багатокласової класифікації завдяки використанню методу недетермінованого штучного доповнення метаданих для медичних наборів даних, що, на відміну від існуючих рішень, за рахунок використання додаткової модальності дає змогу підвищити точність визначення окремих класів медичних зображень.

- запропоновано математичний опис для оцінки впливу мультимодального доповнення метаданих на точність визначення окремих класів медичних зображень, що дає змогу кількісно оцінити підвищення точності за рахунок використання багатокласової класифікації.

Достовірність та обґрунтованість отриманих наукових результатів дослідження забезпечується використанням теорії нейромереж, методу класифікації, методів статистичного аналізу.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського згідно затвердженого плану наукової роботи кафедри, що враховує розпорядження Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2020 р. № 1556-р про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні. Запропоновані в дисертації методи використані у двох науково-технічних проєктах: “Knowledge At the Tip of Your fingers: Clinical Knowledge for Humanity (КАТУ)”, грант № 101017453, який фінансується в рамках програми Horizon 2020 Європейської Унії; “Розробка гібридних моделей штучного інтелекту для аналізу мультимодальних медичних даних”, № К-І-144, який фінансується Міністерством освіти і науки України.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання підвищення точності багатокласової класифікації діабетичної ретинопатії за рахунок розробки методу мультимодального аналізу медичних даних виконано повністю, здобувач повною мірою опанував методологію наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Шульги М.В. відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Інженерія програмного забезпечення.



Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям 12 Інформаційні технології.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Шульги Максима Володимировича є, в основному, результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. З вказаних у звіті подібності запозичень найбільшим помітним запозиченням є абзац тексту з означення загальноновживаного терміну supervised learning (підрозділ 2.3.1). Вказаний абзац є перекладом з англійської мови означення цього терміну, опублікованого на сайті компанії IBM <https://www.ibm.com/topics/supervised-learning>. Здобувач не оформив належним чином використання текстів інших авторів, оскільки у тексті дисертації пропущені посилання на джерела з переліку використаних джерел у надписах рисунків 1.2 та 1.4 ( [27] та [34] відповідно), а для інших рисунків розділу 1 не вказані посилання на джерела: [https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-022-13644-y] для рисунку 1.1, [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-32606-7\_1] для рисунку 1.3 та [https://learnopencv.com/intersection-over-union-iou-in-object-detection-and-segmentation/] для рисунку 1.5. Згадані рисунки розділу 1 наведені автором для ілюстрації наявних методів та програмних засобів за темою дисертації. Оскільки за змістом зазначені фрагменти тексту дисертації не є такими, що описують отримані наукові та практичні результати здобувача, то не виявлені запозичення не є вирішальними і не впливають на загальний висновок про оригінальність роботи.

#### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою, складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 155 сторінок.

У вступі обґрунтована актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовані мета та завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження, наукова та практична новизна отриманих результатів, наведені відомості з апробації та публікації результатів дисертації.

У першому розділі розглянуто особливості використання глибокого навчання в медицині, проведено огляд поточного стану і викликів, наведено соціально-економічні особливості важких захворювань.

У другому розділі розглянуто способи та методи використання глибокого навчання для виявлення захворювань на прикладі діабетичної ретинопатії, проведено аналіз існуючих методологій виявлення захворювань.

У третьому розділі розглянуто проблему багатокласової класифікації для одномодальної (з введенням зображення) моделі та мультимодальної (з введенням зображення та тексту) моделі та створено кілька варіантів вхідних значень і відповідних моделей на основі аналізу способів та методів використання глибокого навчання для виявлення захворювань на прикладі діабетичної ретинопатії і аналізу існуючих методологій виявлення захворювань; проведено дослідження доповнення метаданих для вирішення завдання багатокласової класифікації, проведено дослідження впливу складності мультимодальної моделі на вирішення завдання багатокласової класифікації; проведено дослідження недетермінованого доповнення метаданих для вирішення завдання багатокласової класифікації; наведено теоретичні оцінки можливих рівнів покращення точності багатокласової класифікації за допомогою простого математичного опису з акцентом на деяких практичних випадках; запропоновано комплексний метод мультимодального аналізу медичних даних на основі глибокого навчання.

У четвертому розділі проведено аналіз результатів використання запропонованого комплексного методу мультимодального аналізу медичних даних.

Дисертаційна робота, в основному, 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 висвітлені у 4 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus, з яких 1 стаття у виданні, віднесеному до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 5 наукових фахових конференціях.

У наведених публікаціях достатньо повно представлено результати дисертаційної роботи. Порушення академічної доброчесності в них не виявлено. Особистий внесок здобувача у публікаціях, написаних у співавторстві, зазначений у витягу розширеного засідання кафедри і свідчить про вагомий внесок здобувача у наукові результати, представлені у них.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

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

1. Враховування думки експерта та пацієнта має відбуватись з урахуванням їх компетентності або іншого показника якості цих даних.



2. Не зазначено, за яким законом розподілу імітувались думки експерта та пацієнта (п. 3.2).
3. Зауваження до математичного опису (підрозділ 3.4.5):
  - використання позначення для елементів матриці  $n_{i,k}$  та кількості елементів в матриці  $n$  невдале, оскільки перше позначення означає, що  $n$  є матриця, а друге – ціле число;
  - таблиця невідповідностей (таблиця 3.6) за загальноприйнятою практикою містить кількості спостережуваних істинно позитивних та хибно негативних результатів, а матриця невідповідностей (3.1) містить, як випливає з подальших виведень, частоти влучення, але перетворення у значення частот влучення не наведено;
  - в елементі матриці не може бути вказано рівняння  $n_{k,k}=I$ ;
  - у виразі (3.4) усі недіагональні елементи мають бути нульовими за лемою (3.2).
4. Опис розроблених програмних засобів (пп. 3.1.4, 3.2.4, 3.3.3, 3.4.3) недостатньо деталізований. В основному, автор посилається на реалізацію кодом, представлену у додатках. Назви відповідних підрозділів не містять назви розроблених програмних засобів.
5. Зауваження до оформлення:
  - не зазначений особистий внесок здобувача;
  - в анотації не зазначено наукові результати здобувача;
  - в анотації англійською «недетермінований» перекладено як «fuzzy» замість «non-deterministic»;
  - формули, наведені у розділі 3, пронумеровані без вказування номеру розділу;
  - термін supervised learning перекладений з англійської здобувачем як “контрольоване навчання”, проте в україномовній літературі вживається термін “кероване навчання”;
  - термін “рівномірна функція розподілу” вживається замість терміну “рівномірний розподіл”;
  - незрозумілим в тексті є використання термінології в лапках, як “найкращий”, “найгірший”, “проміжний”, “витік даних”, “пацієнт”, “експерт”, оскільки складається враження, що вони вживаються у непрямому їх значенні.

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 Шульги Максима Володимировича на тему «Метод та програмні засоби мультимодального аналізу медичних даних на основі глибокого навчання» виконана на достатньо 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 Шульга Максим Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

**Рецензент:**

професор кафедри  
інформатики та програмної інженерії  
КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
доктор технічних наук, професор

М.П.

