

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

Охріменка Антона Олександровича

на тему «**Моделі глибинного навчання на складних для розпізнавання  
наборах даних**»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань **11 – «Математика та статистика»**

за спеціальністю **113 – «Прикладна математика»**

### **Актуальність теми дисертації**

У дисертації, що рецензується, дослідження проводяться на прикладі розв'язання задач семантичної сегментації (визначення сільськогосподарських культур на багатоканальних супутникових знімках) та виявленні різних типів біологічних клітин на гістологічних зображеннях. Однак незбалансованість та перекриття класів у наборах даних є типовими проблемами й в інших областях, таких як медицина та діагностика хвороб (вибірки, зазвичай, містять значно більше записів про здорових пацієнтів, ніж про хворих; патологічні зразки на медичних зображеннях можуть мати великий розкид у характеристиках, а нормальні — бути схожими між собою), фінанси, банківська справа та страхування (більшість транзакцій є легітимними, а шахрайських — лише мала частка), обробка природної мови (нормальна мова домінує, а небажаний контент складає малу частину даних, хоча може мімікрувати під звичайний текст) тощо. Тому розв'язання цих проблем є актуальною задачею, яка вимагає застосування спеціальних підходів, таких як балансування вибірки, аугментація даних або «розумні» вагові коефіцієнти у моделях — власне саме тих підходів, які розроблюються й пропонуються в дисертації Антона Охріменка.

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

Висновки, отримані результати та рекомендації, наведені у дисертаційному дослідженні, є достатньо обґрунтованими, повною мірою відображають зміст і результати наукового пошуку здобувача та знайшли відображення у його наукових публікаціях. Достовірність одержаних в роботі результатів досліджень забезпечується коректними постановками завдань, науковою

обґрунтованістю теоретичних положень, вибором адекватних методів досліджень та використанням сучасного математичного апарату. Основні наукові положення дисертації пройшли належну апробацію, були представлені на міжнародних наукових конференціях та підтверджуються відповідними публікаціями автора. Дослідження проводилося на високому науковому рівні і є актуальними.

Сформульовані висновки та запропоновані рекомендації узгоджуються з сучасним станом розвитку науки у галузях математики, статистики та інформаційних технологій.

### **Наукова новизна отриманих автором результатів**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше розроблено метод виявлення неоднозначних екземплярів даних на основі методу К найближчих сусідів, що дозволяє ефективно визначити екземпляри даних, які викликають проблеми при навчанні моделей машинного навчання через подібність між класами.

2. Вперше запропоновано метод аугментації супутникових багатоспектральних зображень з використанням генеративних змагальних мереж (GAN), що забезпечує генерацію нових екземплярів для компенсації незбалансованості класів.

3. Удосконалено метрики для оцінки якості наборів даних, які враховують незбалансованість та перекриття класів, що дозволяє точніше аналізувати якість навчальних даних.

4. Удосконалено функції втрат в моделях глибинного навчання через введення вагових масок, що дозволяє адаптувати процес навчання сегментаційних моделей до умов незбалансованих даних.

5. Отримав подальший розвиток метод вагових масок для компенсації незбалансованості та перекриття класів, що дозволяє покращити точність класифікації малопоширених класів без необхідності розширення набору даних.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі математичного моделювання та аналізу даних КПІ ім. Ігоря Сікорського під керівництвом професора кафедри математичного моделювання та аналізу даних, доктора технічних наук, професора Куцуль Наталії Миколаївни в рамках:

– наукового проекту програми Horizon Europe «Satellites for Wilderness Inspection and Forest Threat Tracking» (SWIFTT) (грантова угода 101082732, 2022-2025 pp.);



– наукового проекту НФД України «Методи і моделі глибинного навчання для прикладних задач супутникового моніторингу» (№ 2020.02/0292, 2020-2023 рр.);

– науково-технічної роботи «Інформаційні технології геопросторового аналізу розвитку сільських територій і громад» (Договір РН/27-2023 від 25 травня 2023 р.) за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень і інновацій «Горизонт 2020».

Отже, в дисертаційній роботі повністю виконано поставлене наукове завдання підвищення ефективності навчання моделей для задачі сегментації при наявній проблемі незбалансованості та перекриття класів у навчальному наборі даних за рахунок розробки нових методів; здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності. Мова та стиль викладення результатів**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Охріменка А. О. повністю відповідає освітньо-науковій програмі зі спеціальності 113 «Прикладна математика» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Прикладна математика».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям машинного і глибинного навчання.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Охріменка Антона Олександровича 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.

Дисертаційна робота написана грамотною українською мовою з використанням усталеної наукової термінології, однак з деякими англіцизмами, наприклад, «датасет».

Стиль викладення матеріалів дисертаційного дослідження — логічний і послідовний, робота характеризується внутрішньою єдністю, що забезпечує доступність і легкість сприйняття викладених у ній наукових і практичних результатів.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 118 сторінок.



У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційного дослідження, сформульовано його мету і задачі. Визначено наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення, зазначено особистий внесок здобувача в публікаціях у співавторстві.

У першому розділі дисертаційного дослідження містить ґрунтовний огляд наукових праць, присвячених проблематиці незбалансованості класів, їх перекриття, а також комбінації цих випадків. У роботі проведено детальний аналіз існуючих методів вирішення зазначених проблем, здійснено систематизацію сучасних підходів та виділено основні напрями досліджень у цій сфері. Крім того, визначено ключові недоліки кожної з груп підходів, що уможлиблює формулювання завдань, які покладено в основу даного дисертаційного дослідження. Окрему увагу приділено підходам, характерним для конкретних предметних областей, що є предметом розгляду в даній роботі.

У другому розділі дисертаційного дослідження розглянуто проблему ідентифікації неоднозначних екземплярів даних, класифікація яких ускладнена через схожість їхніх ознак з представниками інших класів, що зумовлює явище перекриття класів. Запропоновано метод виявлення таких екземплярів у навчальній вибірці, що сприяє підвищенню точності класифікації. Описаний метод пройшов верифікацію на штучно згенерованому наборі даних, що дозволило оцінити його ефективність у контексті розв'язання поставленої задачі.

У третьому розділі дисертаційного дослідження з метою підвищення ефективності класифікації малочисельних класів у задачі семантичної сегментації автор пропонує новітній метод вагових масок. Апробацію метода здійснено на прикладі ідентифікації сільськогосподарських культур за супутниковими знімками. Удосконалено функцію втрат шляхом її доповнення ваговими масками, сформованими відповідно до приналежності пікселів до неоднозначних екземплярів навчальних даних. Експериментальні результати підтвердили, що у порівнянні з базовою сегментаційною моделлю впроваджений підхід забезпечує суттєве підвищення точності для малих класів, а також сприяє помірному покращенню загальних метрик моделі.

Четвертий розділ дисертаційного дослідження містить аналіз можливості використання генеративних змагальних мереж (GAN) для синтезу штучних зображень та балансування навчального набору даних багатоканальних супутникових знімків. Експериментальні результати засвідчили, що застосування GAN суттєво покращує якісні характеристики моделі сегментації порівняно з базовим варіантом та іншими методами генерації штучних



зображень. Додатково показано, що комбіноване використання методу вагових масок та GAN-аугментації сприяє покращенню ключових метричних показників моделі.

У п'ятому розділі дисертації здійснено апробацію розробленого методу вагових масок у іншій предметній області — семантичній сегментації гістологічних зображень. У межах цього розділу запропоновано модифікацію алгоритму виявлення неоднозначних екземплярів даних, що передбачає врахування просторових характеристик зображення, з метою підвищення точності сегментації та адаптивності моделі до специфіки гістологічного матеріалу.

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 висвітлені у 4 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті — у виданнях, віднесених до першого-третього квартилів (Q1-Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 1 одноосібний розділ у монографії, що рекомендована до друку Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського та пройшла рецензування.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача демонструють високу якість та глибину досліджень, що підтверджується новизною отриманих наукових результатів та їх вагомих внеском у відповідну галузь знань. Роботи відзначаються методологічною обґрунтованістю, застосуванням сучасних аналітичних методів та логічністю викладу. Наукові публікації здобувача відповідають принципам академічної доброчесності. У текстах відсутні ознаки плагіату, всі джерела коректно процитовані, а автори дотримуються міжнародних стандартів цитування. Варто відзначити, що здобувач чітко вказує власний внесок у співавторські дослідження, це свідчить про його відповідальне ставлення до наукової етики. Внесок здобувача у співавторських статтях належно обґрунтований.

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



## Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. На думку рецензента метою дисертації не може бути власне «розробка нових ефективних методів навчання моделей для задачі сегментації ...», варто було б мету переформулювати як «підвищення ефективності навчання моделей для задачі сегментації ... за рахунок розробки нових методів».

2. Класичні роботи по обробці наборів даних, які мають незбалансовані класи, застосовують oversampling (збільшення вибірки малочисельних класів) та/або undersampling (зменшення вибірки багаточисельних класів). Скажімо, можна зазначити такі популярні методи oversampling як Random oversampling, SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling TEchnique), ADASYN (ADActive SYNthetic Sampling), Borderline-SMOTE, та такі загальновизнані методи undersampling як Random Undersampling, Tomek Links, NearMiss, ENNs (Edited Nearest Neighbors) тощо.

На жаль, в дисертації лише вказується (на с. 23), що «У першому підході дані можуть спотворюватися, а другий підхід може призвести до втрати інформації». І не дається жодних числових оцінок, які б продемонстрували, що запропоновані в дисертації методи дають кращі або, принаймні, негірші результати, ніж перераховані класичні методи.

3. Наведене на с. 36 математичне визначення неоднозначного екземпляру даних не є коректним, бо

- по-перше, взагалі не містить згадки про класи, до яких належать  $i$ -ий,  $j$ -ий та  $q$ -ий екземпляри даних;

- по-друге, за такого означення будь-який ( $i$ -ий) екземпляр даних може вважатися неоднозначним, бо для любого  $q$ -ого екземпляру як  $j$ -ий екземпляр можна взяти сам же цей  $q$ -ий екземпляр.

4. Наведений на с. 37 другий з можливих випадків описаний неоднозначно: «перші елементи вектора  $m_i$  відповідають справжньому класу  $y_i$ , решта ні», бо за такого формулювання можна його трактувати і як «всі перші елементи», і як «деякі перші елементи», і як «більшість перших елементів», а лише останній із цих варіантів є правильним.

5. В дисертації залишилися нерозглянутими важливі на практиці питання вибору стратегії реалізації класифікації при багатокласовому (multiclass) випадку. Справа в тому, що застосування конкретної стратегії типу попарного порівняння (one-vs-one), «один проти решти» (one-vs-rest) чи, скажімо, стратегії з корекцією помилок вихідного коду (Error-Correcting Output Code-based) може мати суттєвий вплив на трудомісткість та надійність багатокласової класифікації.

6. В своєму дисертаційному дослідженні автор обмежився випадком детермінованої (hard) приналежності екземплярів даних класам. В той же час навіть на розглядаємому в дисертації випадку визначення сільськогосподарських культур на багатоканальних супутникових знімках зрозуміло, що практично неможливо сегментувати дані з точністю до однієї рослини. Тому представляється цікавим розширити запропоновані автором методи шляхом застосування нечіткої кластеризації, наприклад, на базі моделі суміші розподілів Гауса (Gaussian mixture models, GMM).

7. Не зрозуміло, що автор мав на увазі на с. 48, говорячи про «високі метрики» в такому реченні: «Алгоритм також відкриває простір для модифікації набору даних, мітки класів неоднозначних зразків даних змінюються відповідно до поточних задач, таких як високі метрики або балансування класів».

8. Нічим не обґрунтований в дисертації вибір вагового коефіцієнту, що дорівнює 0,01, для бінарної крос-ентропії дискримінатора у формулі для функції втрати генератора, наведеної на с. 71 і її узагальнені на с. 79.

9. Більше 130 разів у тексті зустрічається слово, відсутнє в українській мові — «датасет». Звісно, його потрібно було б замінити на словосполучення «набір даних».

10. С. 27: термін «deep learning» в назві дисертації правильно перекладений як «глибинне навчання», а на цій сторінці декілька разів зустрічається не зовсім коректний переклад «глибоке навчання».

11. Жодна формула в дисертації не пронумерована.

12. Нумерація сторінок дисертації здебільшого наведена у правому верхньому кутку аркушу паперу, але на сторінках 3-6, 8-10, 12 — внизу по центру.

13. Дисертація містить достатньо багато орфографічних і граматичних помилок, зокрема:

- с. 7 (зайве in): «PhD thesis in the in speciality 113»;
- с. 15: фразу «У якості ознак в такому випадку виступають ...» потрібно замінити на «Як ознаки в такому випадку виступають ...»; с. 45 фразу «... коли в якості навчальних даних в державних системах агромоніторингу використовується інформація ...» потрібно замінити на «коли як навчальні дані в державних системах агромоніторингу використовується інформація ...»; с. 52 фразу «В якості набору даних ...» потрібно замінити на «Як набір даних ...». Аналогічні помилки на с. 57, 62, 93 і 96;



- не узгоджена однина/множина у фразях:
  - на с. 20: «у даному конкретному пікселів»;
  - на с. 45: «... дослідники матиме змогу ...»;
  - на с. 47: «... причин виникнення описаних проблеми ...»;
- с. 26: таблиця 1.1 «розірвала» речення; с. 36: рисунок 2.1 «розірвав» формулу; с. 42: рисунок 2.3 «розірвав» речення; с. 43: рисунок 2.4 «розірвав» речення; с. 44: рисунок 2.5 «розірвав» речення; с. 57: рисунок 3.4 «розірвав» речення; с. 60: рисунок 3.4 «розірвав» речення; с. 70: рисунок 4.2 «розірвав» речення; с. 72: рисунок 4.3 «розірвав» речення; с. 78: рисунок 4.5 «розірвав» речення; с. 79: таблиця 4.2 «розірвала» речення; і далі аналогічно по тексту дисертації;
- пропущена кома:
  - на с. 31: «... з тими ж самими властивостями що і реальні дані»;
  - на с. 34: «... для екземплярів даних, що потрапляють у неоднозначну частину простору ознак можна використовувати ...»;
  - на с. 49: «Існує багато факторів які впливають ...»;
  - на с. 49: «... набагато менше ніж інших ...»;
  - на с. 50: «... варто зауважити що це не єдиний ...»;
  - на с. 63: «... не лише власне дані та істинні класи але й вагові маски ...» і далі аналогічно по тексту дисертації;
- с. 37: замість слова «знаходяться» використано слова «знаходься»: «... на відміну від викидів, поруч знаходься і представники того ж самого класу ...»;
- с. 42: зайвий пробіл: «... деякі неточності що до крайових точок»;
- с. 46: пропущено слово «в»: «Зрозуміло, що останньому випадку ми не можемо ...»;
- с. 52: пропущена двокрапка: «... за ознаки пікселів приймаються їх кольори, а саме інтенсивності сигналів ...», аналогічно на с. 65, с. 72 і далі по тексту;
- на с. 53 і далі як розділовий знак між цілою частиною і дробовою використовується точка, а не кома.

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 Охріменка Антона Олександровича на тему «Моделі глибинного навчання на складних для розпізнавання наборах даних» 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 11 «Математика та статистика». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в 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.

Здобувач Охріменко Антон Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

### Рецензент:

професор кафедри прикладної математики  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
д.т.н., проф.

м.п.

12 червня 2025 року



Олег ЧЕРТОВ