

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

Паладієва Олександра Олеговича

на тему «Методи та програмні засоби для вирішення задачі класифікації на основі тривимірних нейронних мереж»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 – Інформаційні технології

за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

### **Актуальність теми дисертації.**

Актуальність теми дисертаційної роботи зумовлена стрімким розвитком інформаційних технологій, зокрема методів глибинного навчання, що потребують ефективних рішень для обробки тривимірних даних. У сучасних умовах традиційні програмні засоби демонструють низький рівень автоматизації, обмежену масштабованість і значні вимоги до ресурсів, що ускладнює їх застосування в реальних задачах. Розробка нових архітектур тривимірних нейронних мереж, методів оптимізації та адаптації мережевих структур, як це представлено в дисертації, відповідає нагальним науково-практичним викликам і має високу прикладну цінність для галузей, де критично важлива точна і масштабована класифікація складних 3D-структур (медицина, робототехніка, екологічний моніторинг тощо). Таким чином, обрана тема є своєчасною, актуальною та важливою для подальшого розвитку інтелектуальних систем обробки даних.

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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше розроблено топологію нейронних зв'язків яка реалізує локально-обмежені структури зв'язків з протилежними нейронами та їх безпосередніми сусідами в тривимірному просторі. Достовірність забезпечується результатами експериментального тестування на реальних 3D-наборах даних, що описано у розділі 4 дисертації. Показано підвищення продуктивності шляхом зменшення кількості з'єднань без втрати точності класифікації. Наукова новизна полягає в унікальній



архітектурі, яка поєднує локально-обмежені зв'язки між нейронами в тривимірному просторі з використанням протилежних координат. Обґрунтованість базується на математичних розрахунках зв'язків у тривимірних шарах (розділ 3.3), що дозволяє створити ефективну, але розріджену архітектуру для виділення просторових ознак.

2. Вперше розроблено метод визначення структури зв'язків між шарами нейронної мережі, що забезпечує збереження локальних залежностей між сусідніми елементами у тривимірному просторі та дозволяє ефективно обробляти одномірні вектори шарів, підтримуючи точність і гнучкість моделі за рахунок оптимізованої архітектури програмних засобів. Достовірність підтверджена програмною реалізацією та тестуванням ефективності на різних форматах 3D-даних (вокселі та сітки), результати подані у розділі 4.3. Наукова новизна у застосуванні механізму динамічного визначення локальних залежностей у тривимірному середовищі при збереженні сумісності з одномірними векторами, що раніше не реалізовувалось у подібних задачах. Обґрунтованість забезпечується теоретичними моделями зв'язків (розділ 2.4.1 та 3.3), які формалізують трансформацію тривимірної структури в оптимізовану мережу з ефективним збереженням просторових залежностей.
3. Вперше розроблено методи зміни кількості нейронних зв'язків, що підвищують швидкодію програмних засобів класифікації, за рахунок видалення слабких зв'язків та підвищують точність класифікації за рахунок генерації нових зв'язків для нейронів з вагами, наближеними до меж функції активації. Достовірність доведена експериментами зі зменшенням ваг з незначним впливом на результат, а також підвищенням точності після додавання зв'язків для важливих нейронів (розділ 3.4, результати — у 4.3). Наукова новизна полягає в комбінованому використанні адаптивного усічення та розширення зв'язків під час навчання, чого не було раніше реалізовано в системах класифікації 3D-даних. Обґрунтованість ґрунтується на аналізі впливу зв'язків із низькими вагами на результат класифікації та ефекті "функціонально активних" нейронів, визначених за рівнем наближення ваг до порогу активації (детально в 2.5.2 і 2.5.3).



4. Запропоновано метод попередньої колорифікаційної обробки даних для нейронних мереж, заснований на опонентній теорії кольорів. Достовірність забезпечується апробацією методу на експериментальних даних з різним рівнем шуму, де показано підвищення якості класифікації за рахунок більшої кореляції між ознаками (описано в розділі 2.3 та 4.3.1). Наукова новизна у застосуванні опонентної моделі кольорів — біологічного підходу — до задач машинного навчання в контексті тривимірної обробки зображень. Обґрунтованість підтверджена аналітичними викладками щодо підвищення інформативності ознак, зменшення перешкод та втрат у мережі (розділ 2.3), а також публікацією результатів у фаховому журналі.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі інформатики та програмної інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР під керівництвом доцента кафедри інформатики та програмної інженерії, кандидата технічних наук, доцента Лісовиченка Олега Івановича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Паладієва О.О. повністю 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 програмної інженерії.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Паладієва Олександра 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.

У дисертації чітко витримана логіка викладення: кожен розділ послідовно розвиває ідеї, що були поставлені у вступі та формулюються як завдання дослідження. Теоретичні підрозділи супроводжуються обґрунтованими схемами, формулами та прикладами, що значно підвищує доступність викладеного матеріалу. Стиль мовлення – академічний, стриманий, без зайвої термінологічної надмірності. Автор послідовно використовує терміни, прийняті в галузі глибинного навчання, тривимірної обробки даних та нейромережових архітектур, при цьому нові або рідковживані поняття пояснюються або вводяться через контекст.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 212 сторінок.

У вступі автор обґрунтовує актуальність теми в контексті сучасного стану обробки тривимірних даних та класифікації 3D-зображень. У вступі чітко сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, обрані методи та інструменти, а також викладено елементи наукової новизни й практичного значення, що створює стабільну основу для подальшого викладу.

Перший розділ є оглядовим і аналітичним. У ньому автор здійснює детальний аналіз сучасного стану програмних рішень і бібліотек для класифікації тривимірних даних. Проведено порівняння ключових програмних продуктів, таких як CloudCompare, LiDAR360, 3DReshaper тощо. Особливо цінним є те, що оцінюються не лише функціональні можливості, але й обмеження щодо автоматизації, масштабованості та інтеграції в сучасні ІТ-системи. Завершується розділ формулюванням проблеми, яку покликана вирішити ця робота.

У другому розділі викладено власні методичні напрацювання здобувача. Розглядаються форми представлення 3D-об'єктів, методи попередньої обробки та застосування опонентної колірної моделі. Особливу увагу приділено обґрунтуванню архітектури класифікатора, зокрема побудові розрідженої топології з урахуванням локальних просторових зв'язків. Розділ містить як



аналітичні побудови, так і опис практичних алгоритмів оптимізації структури зв'язків між шарами. Це свідчить про високий рівень методичної роботи.

Третій розділ має прикладну спрямованість і присвячений програмній реалізації запропонованих рішень. Розглянуто архітектуру програмного комплексу, використані бібліотеки (ML.NET, Keras.NET), способи побудови шарів з розрідженими зв'язками, методи видалення та додавання з'єднань у нейронній мережі. Наведено приклади реалізації окремих компонентів. Зміст розділу демонструє прикладну реалізацію дослідження, а не лише концептуальні положення.

Четвертий розділ є результативним і містить експериментальну оцінку ефективності запропонованих підходів. Автор наводить результати навчання на наборах воксельних та сіткових 3D-даних, аналізує точність, швидкодію, поведінку мережі при різних конфігураціях топологій та обробки кольору. Дослідження супроводжуються графіками, порівняльними таблицями й висновками, що свідчить про глибину аналізу. Результати переконливо демонструють переваги запропонованих підходів.

У висновках систематизовано результати роботи, надано відповіді на поставлені у вступі завдання, підкреслено наукову новизну та практичну цінність розробок, а також окреслено перспективи 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 висвітлені у 3 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на 1 науковій фаховій конференції.

Усі наукові публікації здобувача мають високий науковий рівень; в усіх публікаціях дотримано принципів академічної доброчесності.

Характеристика особистого внеску здобувача в наукових працях, опублікованих зі співавторами та зарахованих за темою дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України



1. The influence of the opponent's color model on the general capabilities of neural networks / Paladiiev O.O., Lisovychenko O.I. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».-2022.-№ 2 (41).-P. 22-27 DOI: 10.20535/1560-8956.41.2022.271335

У межах цієї публікації здобувачем здійснено постановку дослідницького завдання, розроблено математичну модель, яка описує вплив колірного опонентного кодування на узагальнюючу здатність нейромереж, проведено серію експериментів і виконано аналіз отриманих результатів. Сформульовані висновки щодо доцільності використання опонентної теорії у попередній обробці зображень.

2. Вплив зменшення розмірів нейронної мережі на її здатність до узагальнення / Паладієв О.О., Лісовиченко О.І. // Міжвідомчий науково-технічний журнал «Адаптивні системи автоматичного управління».-2023.-№ 2 (43).-С. 124-130 DOI: 10.20535/1560-8956.43.2023.292262

Здобувач досліджує вплив архітектурної складності нейронних мереж на якість їх узагальнення. Він відповідав за визначення експериментальної методики, вибір контрольних параметрів, реалізацію моделювання, а також статистичну обробку та інтерпретацію результатів, що стали основою для наукових висновків статті.

3. Тривимірні нейронні мережі у завданнях кластеризації / Паладієв О.О., Лісовиченко О.І. // Міжвідомчий науково-технічний журнал «Адаптивні системи автоматичного управління».-2024.-№ 1 (44).-С. 166-171 DOI: 10.20535/1560-8956.44.2024.302431

Здобувачем спроектовано архітектуру тривимірної нейронної мережі, адаптовану до задач кластеризації, а також проведено повний цикл експериментального тестування створеної моделі. Здобувачем було здійснено оцінку ефективності підходу за допомогою релевантних метрик та виконано оформлення статті відповідно до редакційних вимог. Матеріали наукових конференцій

4. Паладієв О.О., Лісовиченко О.І. Тривимірні нейронні мережі у завданнях кластеризації // VI Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів «Інженерія програмного забезпечення і передові інформаційні технології SoftTech-2024» –21–23 травня 2024. –С.109–113



У межах конференційної доповіді здобувач виступив як автор запропонованої архітектури класифікатора для тривимірних даних у форматі кластеризації. Він реалізував і протестував експериментальні моделі, підготував аналітичні матеріали.

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

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

1. Описаний у підпункті 2.1.2 фільтр шумів на основі  $k$  NN представлено лише теоретично, його не порівняно експериментально з базовими методами (Gaussian, Median) ані за швидкістю, ані за якістю очищення даних.

2. Формула (2.21) встановлює адаптивний поріг  $T$  для вилучення зв'язків, проте не наведено рекомендованих меж цього параметра для моделей різного масштабу та не обґрунтовано його вибір.

3. У підпункті 3.3.1 радіус  $r$ , що визначає маску зв'язків між шарами, обрано емпірично, проте відсутній аналіз чутливості моделі до зміни цього параметра та обґрунтування балансу між точністю й обчислювальною складністю при різних значеннях  $r$ .

4. Методика аугментації набору ModelNet40 описана узагальнено; не конкретизовано види трансформацій (обертання, масштабування, випадкове видалення вокселів) та їхній вплив на баланс класів.

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 Паладієва Олександра Олеговича на тему «Методи та програмні засоби для вирішення задачі класифікації на основі тривимірних нейронних мереж» 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 інформаційних технологій. 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.



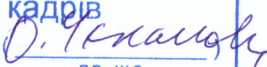
Здобувач Паладієв Олександр Олегович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

**Рецензент:**

Професор кафедри інженерії  
програмного забезпечення в енергетиці,  
Національного технічного університету  
України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»,  
доктор технічних наук, доцент



М.П.

 Підпис тр. Андрій МУСІЄНКО  
**ЗАСВІДЧУЮ**  
Відділ кадрів  
 підпис  пр-ще

« 17 » 06 2025 року