

## **ВІДГУК**

рецензента **Саваневича Вадима Євгеновича**, доктора технічних наук, професора, професора кафедри комп'ютерного моделювання та інтелектуальних технологій Харківського національного університету радіоелектроніки, на дисертацію Прокопенка Олександра Сергійовича **«Моделі та методи розроблення програмного забезпечення систем швидкого пошуку зображень на основі вмісту»**, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення».

### **1. Актуальність та обґрунтування вибору теми дослідження.**

Для пошуку зображень за вмістом застосовують різні типи дескрипторів. Класичні підходи, зокрема перцептивні хеші та дескриптори критичних точок, забезпечують високу швидкість обробки й компактність представлення, проте переважно враховують колірні характеристики, ігноруючи об'єктний склад зображення. Сучасні CBIR-системи використовують моделі глибокого навчання для формування високорозмірних векторів ознак, що значно підвищує точність пошуку, але потребує значних обчислювальних ресурсів. Виявлені обмеження у існуючих методах пошуку зображень на основі вмісту роблять актуальним створення компромісного підходу, який поєднує високу швидкодію класичних методів із точністю пошуку, наближеною до моделей глибокого навчання. Отже, тема дисертаційної роботи Прокопенка О.С. є актуальною та своєчасною.

### **2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому та оформлення.**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання зі 133 найменувань та двох додатків. Загальний

обсяг дисертації становить 143 сторінки, у тому числі 113 сторінок основного тексту. Робота містить 16 рисунків та 8 таблиць.

У вступі належним чином обґрунтовано актуальність дослідження, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет, методи дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Структура вступу відповідає вимогам до дисертаційних робіт і забезпечує цілісне сприйняття дослідження.

У першому розділі виконано ґрунтовний аналіз сучасного стану досліджень у галузі пошуку зображень на основі вмісту, проаналізовано переваги та обмеження існуючих підходів, що дозволило коректно сформулювати проблему дослідження та обґрунтувати напрями її розв'язання.

У другому розділі запропоновано моделі та методи формування об'єктно-орієнтованого дескриптора зображення, визначено структуру даних і підходи до використання результатів детекції об'єктів для побудови програмного забезпечення систем пошуку зображень на основі вмісту.

У третьому розділі розроблено методи пошуку та порівняння зображень із використанням запропонованого дескриптора, наведено відповідні алгоритми, метрики оцінювання та особливості їх програмної реалізації, що забезпечують підвищення швидкодії пошуку.

У четвертому розділі представлено результати експериментальних досліджень, виконано порівняння запропонованих рішень із відомими аналогами, наведено оцінку ефективності розроблених моделей і методів та показано можливості їх практичного застосування.

У цілому дисертація характеризується логічною побудовою, послідовністю викладення матеріалу та взаємозв'язком між поставленими завданнями, отриманими результатами і сформульованими висновками. Робота є завершеним науковим дослідженням і оформлена відповідно до вимог «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, та «Вимог до оформлення дисертації», затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40.

### **3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.**

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалося відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки та за підтримки міжнародного наукового проєкту «Радіоелектроніка–Ворик: партнерські дослідження і розробки» («Radio Electronics-Warwick Allied Research and Development», REWARD). Проєкт реалізовувався Харківським національним університетом радіоелектроніки спільно з Університетом Ворика (The University of Warwick, м. Ковентрі, Велика Британія) у період з березня 2023 р. по січень 2024 р. в рамках Ініціативи побратимства університетів Великої Британії та України (UK–Ukraine University Twinning Initiative), запровадженої за фінансової підтримки Research England (UK Research and Innovation) та адміністрованої Universities UK International (UUKi).

### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, наведених у дисертаційній роботі, забезпечено експериментальною перевіркою розроблених моделей та методів у порівнянні з існуючими аналогічними рішеннями, зокрема на основі глибокого навчання в умовах обмежених обчислювальних ресурсів, публікацією наукових статей, щодо отриманих результатів та впровадженням розробленого програмного

забезпечення. Основні положення дисертації обговорено на міжнародних наукових конференціях.

## **5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.**

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені в наукових публікаціях автора та пройшли необхідну апробацію. Кількість і рівень публікацій відповідають вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та підтверджують завершеність проведеного дослідження. Наукову новизну роботи становлять такі результати.

1. Отримали подальший розвиток моделі та методи розроблення програмного забезпечення для створення дескриптора зображень, що використовує дані про знайдені на зображенні об'єкти з використанням технологій штучного інтелекту, їх вид та розташування в якості відмінних ознак, що дозволяє інтегрувати існуючі рішення у сфері нейронних мереж для пошуку об'єктів для вирішення задачі пошуку зображень за контентом. Створено стандартизовану ієрархічну структуру дескрипторів зображення, класів та об'єктів для управління сховищами зображень.

2. Отримали подальший розвиток методи розроблення програмного забезпечення для створення алгоритмів пошуку та порівняння за зображенням з використанням запропонованого об'єктно-орієнтованого дескриптора зображень, що вирішує проблеми швидкого пошуку та фільтрації зображень за об'єктним складом у великих сховищах даних. Запропонована міра відстані дозволяє швидко оцінити схожість зображень на основі класових ознак груп об'єктів. Алгоритми з використанням запропонованих об'єктно-орієнтованих дескрипторів дозволяють на порядок пришвидшити час пошуку за зображенням у великих сховищах у порівнянні з багатовимірними векторами ознак на основі глибокого навчання, зберігаючи високу точність пошуку.

3. Отримали подальший розвиток методи розроблення програмного забезпечення для побудови систем пошуку зображень на основі вмісту за

рахунок використання запропонованих дескрипторів зображення, метрик та алгоритмів пошуку за зображенням, що дозволяють на порядок скоротити час пошуку зображень у великих сховищах даних, дозволяють швидко знаходити як повні копії, так і зображення з незначними трансформаціями, будувати пошукові запити з використанням зображень, кількісних та якісних показників об'єктного складу.

Наведені результати є взаємопов'язаними та утворюють цілісний науково-методичний комплекс, спрямований на підвищення ефективності розроблення програмного забезпечення систем пошуку зображень на основі вмісту. Найбільш вагомим результатом дисертаційної роботи, на думку рецензента, є запропонований об'єктно-орієнтований підхід до формування дескриптора зображення, який забезпечує компроміс між високою швидкістю класичних методів пошуку та семантичною інформативністю сучасних моделей глибокого навчання. Важливою перевагою роботи також є комплексний характер запропонованих рішень, що охоплюють формування дескрипторів, методи їх порівняння та програмну реалізацію системи пошуку, а тому мають як наукову, так і практичну цінність.

## **6. Практичне значення отриманих результатів.**

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні моделей, методів та програмного забезпечення, що поєднують високорівневі об'єктні ознаки зображень із простими в обчислювальному відношенні алгоритмами їх оброблення, забезпечуючи швидкий та достатньо точний пошук зображень у великих сховищах даних. Запропоновані рішення можуть бути використані під час створення сучасних пошукових систем за зображенням, цифрових архівів, мультимедійних баз даних, інформаційно-пошукових систем, а також спеціалізованих систем комп'ютерного зору та відеоспостереження, де важливими є швидкодія й ефективна попередня фільтрація даних.

Практичну цінність роботи підтверджує впровадження її результатів у навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки та у виробничу діяльність приватного підприємства «РПТ». Додатковим підтвердженням актуальності виконаного дослідження є його виконання в межах міжнародного наукового проєкту REWARD, що реалізовувався спільно Харківським національним університетом радіоелектроніки та The University of Warwick (Велика Британія), що свідчить про відповідність тематики роботи сучасним міжнародним науковим напрямом та її перспективність для подальшого розвитку.

## **7. Дотримання вимог академічної доброчесності.**

Під час ознайомлення з дисертаційною роботою та науковими публікаціями автора за її тематикою не виявлено ознак порушення принципів академічної доброчесності. Виклад результатів дослідження є послідовним, наведені положення належним чином співвідносяться з опублікованими працями автора, а використання результатів інших дослідників супроводжується відповідними посиланнями. Підстав вважати, що дисертаційна робота містить неправомірні запозичення чи інші прояви академічної недоброчесності, не встановлено.

## **8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.**

Дисертація містить нові теоретичні та практичні результати, але не позбавлена деяких недоліків. До недоліків дисертації слід віднести наступні.

1. У дисертації недостатньо чітко визначено межі ефективного застосування запропонованого підходу. Доцільно було б більш детально охарактеризувати типи сцен, категорії зображень, допустимі геометричні та фотометричні перетворення, а також умови, за яких запропонований метод забезпечує найбільшу ефективність порівняно з існуючими аналогами. Це

полегшило б практичне використання розроблених моделей і методів та вибір доцільної сфери їх застосування.

2. У роботі недостатньо досліджено вплив якості попередньої детекції та класифікації об'єктів на ефективність запропонованого методу пошуку зображень. Оскільки об'єктний дескриптор безпосередньо формується за результатами детекції, доцільно було б оцінити стійкість запропонованого підходу до пропусків об'єктів, хибних виявлень, помилок класифікації та локалізації, а також визначити умови та межі ефективного застосування запропонованого підходу для різних предметних областей і характеристик наборів даних.

3. Експериментальна частина містить порівняння переважно з однією сучасною моделлю пошуку зображень на основі вмісту. Для підвищення переконливості отриманих результатів доцільно було б розширити коло аналогів, включивши декілька інших сучасних методів, що використовують різні підходи до формування дескрипторів та пошуку зображень. Це дозволило б більш повно оцінити переваги й обмеження запропонованого підходу.

4. У роботі недостатньо уваги приділено питанням архітектурної побудови розробленого програмного забезпечення, зокрема принципам його модульності, масштабованості та можливостям інтеграції із сучасними системами зберігання й пошуку векторних представлень даних. Більш детальний розгляд цих аспектів підвищив би практичну цінність роботи саме з позицій інженерії програмного забезпечення.

Наведені зауваження мають характер рекомендацій і не знижують загальної наукової та прикладної цінності дисертаційного дослідження.

## **9. Загальні висновки щодо дисертації.**

Дисертаційна робота Прокопенка Олександра Сергійовича на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення систем швидкого пошуку зображень на основі вмісту» за своїм змістом відповідає спеціальності

121 «Інженерія програмного забезпечення». Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено актуальне науково-прикладне завдання покращення моделей і методів та удосконалення технології розроблення програмного забезпечення систем пошуку зображень на основі вмісту.

Дисертаційна робота Прокопенка Олександра Сергійовича на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення систем швидкого пошуку зображень на основі вмісту» повністю відповідає пунктам 6, 7, 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

Здобувач Прокопенко Олександр Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

професор кафедри комп'ютерного  
моделювання та інтелектуальних  
технологій Харківського національного  
університету радіоелектроніки,  
доктор технічних наук, професор,



Вадим САВАНЕВИЧ

3.08.2026р.

Підпис засвідчую

Проректор з наукової роботи,  
Харківського національного університету  
Радіоелектроніки,  
доктор технічних наук, професор,

Юрій РОМАНЕНКОВ

\_\_\_\_.08.2026р.