

## **ВІДГУК**

**рецензентки Кириченко Ірини Віталіївни**

на дисертаційну роботу Даниленка Станіслава Дмитровича

на тему **«Моделі та методи пошуку зображень у сховищах даних за векторним представленням ознак»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

### **Актуальність теми дисертації**

Пошук зображень на основі вмісту є одним із важливих напрямів розвитку сучасних інформаційних технологій, актуальність якого зумовлена зростанням обсягів візуальних даних, потребою в масштабованому пошуку за вмістом та необхідністю скорочення часу формування і оновлення пошукових індексів. Це зумовлено поширенням мультимедійних сервісів, розвитком медичних, транспортних, безпекових, промислових та інших прикладних систем, у яких графічна інформація є одним із ключових типів даних.

Системи пошуку зображень на основі вмісту працюють із дескрипторами ознак, які подають зображення у вигляді числових векторів. Цей підхід є дієвим, проте в умовах Big Data, високої розмірності дескрипторів та інтенсивності пошукових запитів виникають проблеми швидкодії, масштабованості, якості результатів і оперативного формування пошукових індексів.

Дисертаційна робота Даниленка С. Д. присвячена розробленню моделей і методів пошуку зображень у сховищах даних за векторним представленням ознак, які мають вирішити згадані проблеми. У роботі запропоновано уніфіковану модель проектування CBIR-систем, модель багатовимірного куба MDC, метод оптимізації структури моделі та метод пошуку хвилями. Це дозволяє розглядати дослідження не лише як наукове, а і як інженерне, оскільки запропоновані результати пов'язані з процесами розроблення, конфігурування, оцінювання та практичного використання програмного забезпечення.

З огляду на зазначене, тема дисертаційної роботи є актуальною, сучасною та такою, що має значення для розвитку спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

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

У дисертаційній роботі чітко сформульовано проблему, мету, об'єкт, предмет і завдання дослідження.

Обґрунтованість результатів забезпечується системним характером дослідження. Автор послідовно виконав аналіз сучасного стану предметної галузі, сформулював наукові гіпотези, розробив відповідні моделі та методи, навів їх формалізацію, реалізував прототип програмного забезпечення та провів експериментальну перевірку.

У роботі використано сучасний методичний апарат: системний аналіз, декомпозицію, теоретико-множинні та математичні методи, методи чисельної оптимізації, описової статистики, аналізу даних, а також експериментальні та порівняльні методи. Такий набір методів відповідає поставленим завданням і дозволяє поєднати теоретичне обґрунтування з практичною перевіркою запропонованих рішень.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано модель розроблення програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту у сховищах даних у вигляді багатовимірного куба, яка реалізує організацію векторних представлень ознак зображень шляхом розбиття простору ознак на підпростори з дискретизацією їх значень. Це зменшує обчислювальні витрати на етапі формування внутрішньої структури кластерів і пошукових індексів за рахунок уникнення складних ітеративних процесів та дозволяє, залежно від кількості та розмірності дескрипторів, пришвидшити цей процес від 4 до 22 разів порівняно з існуючими рішеннями у зіставних умовах.

2. Вперше запропоновано метод розроблення програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту, що ґрунтується на хвильовому пошуку та

реалізує поступове розширення області пошуку шляхом аналізу сусідніх підпросторів. Використання структурної організації моделі зменшує потребу в додаткових обчисленнях для визначення належності елемента до кластера та дозволяє скоротити час виконання пошуку від 1,27 до 32 разів порівняно з існуючими методами у зіставних умовах із можливістю адаптації параметрів пошуку до характеристик дескрипторів та вимог якості за F1-мірою.

3. Отримав подальший розвиток метод розроблення програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту завдяки введенню механізму, що поєднує статистично обґрунтоване коригування меж підпросторів та чисельну оптимізацію параметрів моделі. Це забезпечує формування кластерів з квазірівномірною наповненістю і, порівнюючи з рівномірно визначеними межами підпросторів, дозволяє збільшити кількість наповнених кластерів від 4,4 до 6,6 разів, кількість кластерів з очікуваною наповненістю – від 4,8 до 9,5 разів, підвищує рівномірність розподілу дескрипторів між кластерами та створює передумови для стабілізації трудомісткості ітерацій пошуку й показників якості пошуку.

4. Удосконалено уніфіковану модель проектування та оцінки якості програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту у сховищах даних, яка базується на компонентно-орієнтованому підході та формалізованому описі конфігурацій системи. На відміну від відомих рішень, запропонована модель описує систему як простір типізованих компонентів із визначеними контрактами взаємодії. Це забезпечує ширше покриття операцій адаптації системи до прикладних задач, дає змогу формувати працездатні конфігурації без модифікації архітектурного ядра та порівнювати вплив компонентів на показники функціонування системи за вибраними метриками на ранніх етапах розроблення.

Окремо слід відзначити, що здобувач приділив увагу не лише прискоренню пошуку, але й оцінці якості результатів. У роботі використано такі метрики, як точність, повнота, F1-міра та трудомісткість. Це є важливим, оскільки для CBIR-систем підвищення швидкодії не повинно призводити до втрати релевантних

результатів, особливо при роботі з високорозмірними дескрипторами та складними наборами зображень.

Достовірність результатів підтверджується проведенням експериментальних досліджень із використанням різних наборів даних і різних типів дескрипторів, зокрема класичних глобальних, перцептивних, семантичних та локальних агрегованих. Це дозволяє оцінити запропоновані рішення не в одному ізольованому сценарії, а для різних способів подання зображень у просторі ознак.

Таким чином, наукові результати дисертаційної роботи є обґрунтованими, достовірними та мають наукову новизну.

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

За своїм змістом дисертаційна робота Даниленка С. Д. відповідає спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення. У ній розглянуто питання проектування, формалізації, програмної реалізації та експериментальної перевірки моделей і методів, що використовуються для створення програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, усі поставлені завдання виконані. Вона складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 189 сторінок, з яких 145 сторінок основного тексту. Робота містить 25 рисунків, 21 таблицю, список використаних джерел із 135 найменувань та 5 додатків.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану досліджень у сфері пошуку зображень на основі вмісту, розглянуто дескриптори зображень, підходи до індексації, пошукові моделі, існуючі програмні рішення та інженерні аспекти реалізації CBIR-систем.

У другому розділі наведено методику проведення дослідження, сформульовано наукові гіпотези, визначено вимоги, обмеження, набори даних,

типи дескрипторів, метрики оцінювання та технологічні умови експериментальної перевірки.

У третьому розділі розроблено уніфіковану модель проектування та оцінки якості CBIR-ПЗ, модель багатовимірного куба MDC, метод оптимізації структури моделі організації простору ознак та метод пошуку хвилями.

У четвертому розділі наведено практичну реалізацію запропонованих моделей і методів, описано програмні компоненти, умови проведення експериментів, результати порівняльної перевірки ефективності запропонованих рішень та відомості про практичне впровадження.

Аналіз змісту роботи та відповідних актів перевірки дає підстави вважати, що дисертація є результатом самостійного дослідження здобувача. Використані ідеї, результати та тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела. Ознак академічного плагіату, фальсифікації чи фабрикації результатів не виявлено.

#### **Мова, стиль викладення та оприлюднення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою з дотриманням вимог наукового стилю. Текст є логічним, послідовним і загалом зрозумілим для сприйняття. Автор використовує науково-технічну термінологію, характерну для сфери пошуку зображень, векторних дескрипторів, індексації, кластеризації, архітектури програмного забезпечення та оцінювання якості CBIR-систем.

Робота містить достатню кількість рисунків, таблиць, математичних формул та експериментальних результатів, які ілюструють запропоновані положення. Висновки дисертації відповідають поставленій меті та завданням дослідження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

Основні результати дисертації оприлюднено у 8 наукових працях, серед яких 6 статей у наукових журналах, включених до Переліку наукових фахових видань України категорій А та Б, з яких 3 входять до наукометричної бази Scopus.

Також опубліковано 2 тези доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, що входять до наукометричної бази Scopus.

Результати роботи пройшли апробацію на міжнародних наукових конференціях, зокрема 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology та MoDaST 2025: Modern Data Science Technologies Doctoral Consortium.

Практична значущість результатів підтверджується впровадженням у приватному підприємстві «РІПТ», а також використанням у межах госпдоговірної теми «Моделі, методи і технології розроблення і супроводу програмного забезпечення, забезпечення його якості, імплементація в предметній галузі».

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

Визнаючи належний науковий рівень дисертаційної роботи, обґрунтованість її основних положень та практичну значущість отриманих результатів, доцільно зазначити окремі зауваження дискусійного й уточнювального характеру.

1. У пункті 3.4.1 наведено формулу 3.33, яка визначає кількість дескрипторів, що переглядаються на окремій хвилі пошуку. Разом із тим, у роботі доцільно було б додатково подати узагальнену асимптотичну оцінку складності методу пошуку хвилями загалом із урахуванням кількості вимірів MDC, кількості інтервалів, кількості хвиль пошуку та середньої/максимальної наповненості комірок.

2. У таблиці 4.3 результати експерименту щодо різних реалізацій компонентів CBIR-системи наведені в різних одиницях вимірювання – секундах і мілісекундах. Хоча це пояснюється різним масштабом оцінюваних операцій, для полегшення порівняння результатів доцільно було б уніфікувати одиниці вимірювання або винести різні групи операцій в окремі таблиці.

3. У пункті 4.1.6 наведено характеристики різних апаратних платформ, які використовувалися на різних етапах експериментального дослідження. Попри те, що на сторінці 117 автор зазначає незалежний характер таких експериментів, для підвищення відтворюваності та коректності порівняння ключові експерименти

було б доцільно виконати на єдиній апаратній платформі або додатково нормалізувати результати за характеристиками середовища виконання.

4. Оскільки запропонована в розділі 3.2 модель MDC передбачає редукцію початкового вектора дескриптора до меншої кількості вимірів, було б корисно в розділі 4 детальніше дослідити вплив редукції на якість пошуку для дескрипторів більшої розмірності. У пункті 4.4.4 наведено експеримент із CLIP-дескрипторами розмірності 256, однак додаткова перевірка на ще більш високорозмірних векторних представленнях дозволила б точніше окреслити межі застосування запропонованого підходу, оскільки саме цей чинник може істотно впливати на якість пошуку у складних прикладних сценаріях.

5. У дослідженні використано різні набори даних і типи дескрипторів, описані у пункті 2.3.2 та 4.1.6, що позитивно впливає на обґрунтованість отриманих результатів у розділі 4. Разом із тим, у подальших дослідженнях доцільно було б розширити експериментальну перевірку на спеціалізовані доменні набори зображень із високою міжкласовою візуальною подібністю, де вимоги до повноти, точності та F1-міри пошуку можуть бути вищими, а компроміс між якістю пошуку й трудомісткістю – більш виразним.

Вважаю, що зазначені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значущість результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота Даниленка Станіслава Дмитровича на тему «Моделі та методи пошуку зображень у сховищах даних за векторним представленням ознак» є завершеним науковим дослідженням, виконаним на належному науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності.

У роботі розв'язано актуальне науково-практичне завдання, що полягає у підвищенні швидкодії програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту та оперативності формування пошукових індексів у сховищах даних різних типів. Сукупність отриманих теоретичних і практичних результатів має істотне

значення для галузі знань 12 Інформаційні технології та відповідає спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю отриманих результатів 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 Даниленко Станіслав Дмитрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

**Рецензентка:**

кандидатка технічних наук, доцентка,  
доцентка кафедри програмної інженерії  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки



Ірина КИРИЧЕНКО

**Підпис**

доцента Кириченко І.В. засвідчую:  
проректор з наукової роботи,  
д.т.н., професор  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки



Юрій РОМАНЕНКОВ