

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**  
**кандидата технічних наук, доцента кафедри інформаційних систем та**  
**мереж Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій**  
**Національного університету «Львівська політехніка»**  
**Чируна Любомира Вікторовича**  
**на дисертаційну роботу Даниленка Станіслава Дмитровича**  
**«Моделі та методи пошуку зображень у сховищах даних за векторним**  
**представленням ознак», подану на здобуття ступеня доктора філософії**  
**з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія**  
**програмного забезпечення**

**Склад і структура дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота Даниленка Станіслава Дмитровича містить анотацію двома мовами, перелік скорочень, умовних позначень, одиниць і термінів, вступ, чотири розділи, висновки, перелік джерел посилання та додатки. У додатках наведено матеріали щодо оптимізації використання оперативної пам'яті, параметри моделей пошуку, UML-діаграми запропонованих методів, список публікацій здобувача та відомості про впровадження результатів дисертації. Загальний обсяг роботи становить 189 сторінок, зокрема 145 сторінок основного тексту. Робота містить 25 рисунків, 21 таблицю, список джерел із 135 найменувань та 5 додатків.

**Актуальність теми дослідження.**

Сучасний розвиток інформаційних технологій супроводжується постійним зростанням обсягів цифрових даних, значну частину яких становлять зображення. Такі дані використовуються у різних прикладних галузях. У зв'язку з цим зростає потреба у програмних засобах, здатних забезпечити швидкий і якісний пошук зображень у великих сховищах даних.

Традиційні підходи до пошуку зображень, що ґрунтуються на текстових описах або метаданих, мають суттєві обмеження, оскільки не завжди відображають реальну візуальну подібність об'єктів. Пошук зображень на основі вмісту передбачає використання векторних дескрипторів ознак, що дають змогу порівнювати зображення за числовими характеристиками. Водночас зі збільшенням кількості зображень, розмірності дескрипторів та інтенсивності пошукових запитів виникають проблеми швидкодії, масштабованості, оперативного формування пошукових індексів і адаптації програмного забезпечення до вимог конкретної предметної галузі.

Дисертаційна робота Даниленка С. Д. спрямована на розв'язання саме цих проблем шляхом розроблення моделей і методів пошуку зображень у сховищах даних за векторним представленням ознак. Запропоновані рішення мають теоретичне й практичне значення, оскільки стосуються підвищення швидкодії CBIR-систем, скорочення часу формування пошукових індексів, оптимізації структури кластерів та побудови гнучкої архітектури програмного забезпечення.

У цьому контексті тема дисертаційної роботи є актуальною, сучасною та відповідає потребам розвитку інженерії програмного забезпечення, зокрема в частині проектування, реалізації, конфігурування та оцінювання ефективності програмних систем пошуку зображень.

### **Аналіз основного змісту роботи.**

Дисертаційна робота Даниленка С. Д. має логічно побудовану структуру та послідовно розкриває поставлене науково-практичне завдання. Матеріал викладено системно, з переходом від аналізу сучасного стану предметної галузі до побудови моделей, розроблення методів, створення прототипу програмного забезпечення та експериментальної перевірки отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану досліджень у сфері пошуку зображень на основі вмісту. Розглянуто понятійний апарат CBIR, типи дескрипторів зображень, підходи до організації сховищ дескрипторів, структури індексації, існуючі програмні рішення, інженерні аспекти реалізації та питання використання паралельних обчислень. На основі цього визначено обмеження наявних підходів і сформульовано проблеми, які потребують вирішення.

У другому розділі наведено методику проведення дослідження, обґрунтовано вибір напрямку, сформульовано основні гіпотези, визначено вимоги до моделей і методів, вхідні та вихідні дані, набори даних, типи дескрипторів і метрики експериментальної перевірки. Такий виклад забезпечує зв'язок між поставленою метою, завданнями та подальшою перевіркою результатів.

Третій розділ присвячено розробленню моделей і методів пошуку зображень у сховищах даних за векторним представленням ознак. У ньому запропоновано уніфіковану модель проектування та оцінки якості CBIR-систем, модель багатовимірного куба MDC для організації векторних представлень ознак, метод оптимізації структури моделі на основі статистичного коригування меж підпросторів та метод хвильового пошуку з використанням просторової близькості підпросторів.

У четвертому розділі наведено практичну реалізацію запропонованих моделей і методів та результати експериментальної перевірки. Описано реалізацію компонентів уніфікованої моделі, варіанти розміщення MDC в оперативній пам'яті та базі даних, проведено оцінку ефективності оптимізації, хвильового пошуку, паралельної реалізації та пропускну здатності системи. Також наведено відомості про практичне впровадження результатів.

Висновки дисертаційної роботи логічно узгоджені зі змістом розділів, відображають отримані наукові та практичні результати, підтверджують досягнення поставленої мети та виконання завдань дослідження.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

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.

### **Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими. Вони базуються на аналізі сучасних підходів до пошуку зображень на основі вмісту, математичній формалізації простору ознак, описі запропонованих моделей і методів, а також на експериментальній перевірці їх ефективності.

Здобувачем використано сучасний методичний апарат, зокрема методи системного аналізу, декомпозиції, теоретико-множинні та математичні методи, методи чисельної оптимізації, описової статистики, аналізу даних, експериментальні й порівняльні методи. Для перевірки результатів використано різні набори даних та типи дескрипторів, зокрема класичні глобальні,

перцептивні, семантичні та локальні агреговані, що підтверджує адаптивність запропонованих рішень до різної природи векторних ознак.

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректною постановкою задачі, послідовною логікою дослідження, порівнянням із відомими підходами до організації векторного пошуку, а також узгодженістю теоретичних положень з результатами програмної реалізації та експериментів.

#### **Відомості про дотримання академічної доброчесності.**

Аналіз змісту дисертаційної роботи та публікацій здобувача дає підстави вважати, що дисертація є результатом самостійного наукового дослідження Даниленка С. Д. Використані ідеї, результати й тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Ознак академічного плагіату, фальсифікації, фабрикації, компіляції чи некоректних запозичень у роботі не встановлено. Дисертаційна робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності.

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

Дисертаційна робота виконувалася в період з 2022 р. по 2026 р. відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки. Окремі фрагменти роботи виконувалися в межах госпдоговірної теми «Моделі, методи і технології розроблення і супроводу програмного забезпечення, забезпечення його якості, імплементація в предметній галузі», договір № 26-03 від 3 березня 2026 р., ХНУРЕ, Харків, 2026.

#### **Дискусійні положення та зауваження по дисертації.**

1. На сторінках 16-17 наведено перелік скорочень, умовних позначень, одиниць і термінів. Водночас доцільно було б чіткіше уніфікувати принцип включення понять до цього переліку: частина скорочень, зокрема CPU, SIMD, ОЗП, є загальновживаними в галузі інформаційних технологій, тоді як поняття Big Data, яке використовується для обґрунтування актуальності роботи, не винесено до цього переліку як окремий термін.

2. В пункті 4.4.4 наведено коефіцієнти прискорення формування моделей і виконання пошуку. Зокрема, у різних експериментальних сценаріях фігурують як показники прискорення в десятки разів у контрольованих умовах, так і прикладні порівняння готових реалізацій із перевагою понад 100 разів. Попри наявність пояснення прикладного та контрольованого порівняння у пункті 4.4.3, було б корисно чіткіше вказати, які саме коефіцієнти слід вважати основними при оцінюванні можливості впровадження.

3. У роботі розглянуто різні типи дескрипторів, зокрема класичні глобальні, перцептивні, семантичні та локальні агреговані. Також у розділі 3.3 представлено метод оптимізації моделі MDC для адаптації її параметрів до конкретного набору даних. Водночас, в розділі 3.4 доцільно було б окремо сформулювати рекомендації щодо вибору цільової трудомісткості пошуку, оскільки в пункті 4.4.4 для різних експериментальних сценаріїв використовуються різні значення цього показника.

4. У пункті 3.2.3 показано можливість розміщення MDC в ОЗП та базі даних. Водночас результати експериментальної перевірки в розділі 4.4 для реалізації з розміщенням в ОЗП виглядають більш переконливо. У висновках розділу 4 було б детальніше окреслити напрями подальшого доопрацювання реалізації MDC з розміщенням у базі даних та умови, за яких саме цей варіант може бути доцільним у промислових системах.

5. У пункті 4.1.6 наведено апаратні умови проведення експериментів і у пункті 4.2.1 розглянуто окремі аспекти використання оперативної пам'яті дескрипторами. Водночас доцільно було б узагальнити ці результати у вигляді рекомендацій до апаратного забезпечення для розгортання програмного забезпечення, реалізованого з використанням запропонованих моделей і методів, залежно від обсягу сховища, розмірності дескрипторів чи способу розміщення MDC.

Зазначені зауваження мають дискусійний і уточнювальний характер, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи. Вони можуть бути враховані здобувачем у подальших дослідженнях і практичних розробках.

#### **Практичне значення наукових результатів.**

Практичне значення наукових результатів дисертаційної роботи полягає у можливості використання запропонованих моделей і методів для розроблення програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту, адаптованого до конкретної предметної галузі. Рішення дозволяють скоротити час формування пошукових індексів, пришвидшити виконання пошукових запитів, керувати компромісом між швидкістю та якістю пошуку, а також забезпечити гнучке конфігурування компонентів системи.

Запропоновані підходи можуть бути використані під час створення СВІР-систем для сховищ даних різних типів, у яких важливими є швидке оновлення індексів, масштабованість і підтримка високої інтенсивності пошукових запитів. Практична цінність результатів підтверджується впровадженням у приватному підприємстві «РІПТ» та використанням розробок у межах госпдоговірної теми з розроблення і супроводу програмного забезпечення.

#### **Повнота викладення результатів в опублікованих працях.**

Основні наукові результати дисертаційного дослідження достатньо повно відображені у наукових публікаціях здобувача. За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць, серед яких 6 статей у наукових журналах, включених до Переліку наукових фахових видань України. Із них 2 статті опубліковано у виданнях категорії «А», що входять до наукометричної бази Scopus, 4 статті – у виданнях категорії «Б», з яких 1 входить до 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. Тематика публікацій відповідає змісту дисертації та охоплює розроблення моделі MDC, оптимізацію кластеризації дескрипторів, метод хвильового пошуку, уніфіковану модель конфігурації CBIR-систем і практичну реалізацію запропонованих підходів.

### **Висновки щодо дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота Даниленка Станіслава Дмитровича на тему «Моделі та методи пошуку зображень у сховищах даних за векторним представленням ознак» є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на належному науковому рівні.

У роботі розв'язано актуальне науково-практичне завдання підвищення швидкодії програмного забезпечення пошуку зображень на основі вмісту та оперативності формування пошукових індексів у сховищах даних різних типів. Отримані результати мають наукову новизну, теоретичне значення та практичну цінність для галузі знань 12 Інформаційні технології.

За актуальністю теми, рівнем наукової новизни отриманих результатів, їх теоретичною та практичною значущістю, обґрунтованістю, достовірністю і повнотою викладення результатів у публікаціях дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» та «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 № 44 від 12.01.2022 р.

Здобувач Даниленко Станіслав Дмитрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

### **Офіційний опонент**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри інформаційних  
систем та мереж Інституту комп'ютерних  
наук та інформаційних технологій  
Національного університету  
«Львівська політехніка»



Любомир ЧИРУН

Підпис к.т.н., доцента Любомира ЧИРУНА  
ЗАСВІДЧУЮ:  
Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка» к.т.н., доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ