

## РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора Кучука Георгія Анатолійовича на дисертаційну роботу **Філатова Валерія Володимировича** “Автоматизована система швидкого пошуку схожих цифрових зображень на основі нечіткої логіки”, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 – інформаційні технології за спеціальністю 123 – комп’ютерна інженерія

**Ступінь актуальності теми дисертаційної роботи.** У сучасному інформаційному суспільстві зростає значення ефективного збору та обробки новинного контенту, особливо в електронних медіа. Одним із перспективних підходів є кластеризація повідомлень на основі семантичного змісту. Традиційно аналіз здійснюється з урахуванням морфологічних характеристик тексту, однак усе більшої ваги набуває візуальна складова, тобто зображення, що супроводжують новини. Інтеграція візуальної інформації дозволяє глибше виявляти змістові зв’язки між матеріалами. У деяких випадках саме зображення можуть визначати схожість новин точніше, ніж текстові маркери, такі як ключові слова чи іменовані сутності. Водночас наявність кількох зображень у повідомленні створює як переваги (збагачення зв’язків), так і виклики (наприклад, поява нерелевантних об’єктів на кшталт логотипів). Таким чином, релевантні й унікальні зображення можуть слугувати основою для створення змістовно узгоджених кластерів. Це дозволяє припустити, що існує зв’язок між унікальністю візуального контенту та подібністю супровідного тексту, а текстові характеристики варто використовувати як допоміжні параметри кластеризації.

Але, попри досягнення в обробці новинного контенту, залишаються актуальними проблеми, пов’язані з особливостями реального інформаційного середовища. Зображення, що супроводжують новини, часто зазнають змін: масштабування, обрізання, додавання тексту, корекція кольору чи яскравості. Крім того, новинні ресурси постійно оновлюються, щодня додаються тисячі нових записів, що потребує не лише точності, а й високої швидкодії кластеризаційних алгоритмів. Сучасні підходи, зокрема глибокі нейронні мережі, хоча й ефективні, є складними для інтерпретації, що ускладнює контроль та прозорість з позицій інформаційної безпеки. Отже, необхідна розробка адаптивного методу кластеризації зображень, стійкого до типових спотворень і здатного ефективно працювати з великими динамічними базами. Перспективним є поєднання чіткої та нечіткої класифікації, яке дозволяє водночас швидко

обробляти значні обсяги візуальної інформації та враховувати невизначеність, властиву медіаданим, що підвищує точність групування зображень.

Таким чином, побудова комбінованих моделей класифікації зображень на основі спектральних ознак та нечітких відношень подібності, орієнтованих на обробку великомасштабних динамічних баз новинного контенту, відповідає потребам сучасності, отже тема дисертаційного дослідження Філатова Валерія Володимировича є актуальною.

**Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими планами, програмами, фундаментальними та прикладними дослідженнями.** Тема дисертаційного дослідження відповідає планам науково-дослідних робіт кафедри «Комп'ютерна інженерія та програмування». Важливість дослідження також підтверджується тим фактом, що здобувач був виконавцем окремих розділів при роботі над науково-дослідною темою К6003 «Розробка пропозицій щодо оптимального розміщення даних та управління ресурсами в розподілених інформаційно-управляючих системах» (ДР №0124U001391).

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.** В рамках дисертаційного дослідження були застосовані сучасні методологічні підходи, що дозволило сформулювати теоретичні припущення та експерименти для їх перевірки, а також отримати достовірні та об'єктивні результати. У процесі формулювання наукових положень та висновків було враховано всі аспекти досліджуваної проблеми, а також залучено актуальні наукові дані та публікації.

Висновки, зроблені на основі проведеного дослідження, супроводжуються детальним аналізом, що надає їм високого рівня достовірності. Сформовані рекомендації враховують специфіку аналізованої проблеми. Такий підхід забезпечує надійність і застосовність запропонованих рішень у реальних умовах, саме тому результати дисертаційної роботи були успішно впроваджені на практиці.

Проведений аналіз приводить до висновку, що дисертаційна робота Філатова Валерія Володимировича є ґрунтовним дослідженням з достовірними положеннями та висновками, а також містить важливі практичні рекомендації.

**Наукова повизна положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Основною метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності кластеризації зображень новинного контенту шляхом розробки методів, які дозволяють об'єднувати оригінальні та спотворені версії зображень з урахуванням обмежень продуктивності та точності в умовах великих

динамічних баз даних. За результатами досліджень можна сформуванати такі наукові досягнення:

- одержали подальший розвиток методи аналізу спектральних ознак зображень, які полягають у встановленні узагальненої леми щодо інваріантності амплітудного спектра двовимірного дискретного косинусного перетворення до ортогональних поворотів та дзеркальних відображень зображення по горизонтальній і вертикальній осях, що дало змогу обґрунтувати використання модуля ДКП-коефіцієнтів як стійкої ознаки для формування сигнатур в задачах кластеризації та ідентифікації зображень при симетричних афінних спотвореннях;

- вперше розроблений метод побудови спектральної сигнатури зображення, що заснований на агрегації амплітудних коефіцієнтів двовимірного дискретного косинусного перетворення у чотирьох спектральних каналах (градації сірого, червоний, зелений, синій) з використанням L1-, зваженої L1- та L2-норм, а також на доведеній лемі про інваріантність модуля спектра ДКП до ортогональних поворотів і дзеркальних відображень, що дало змогу сформуванати компактну, стійку до афінних симетрій сигнатуру для класифікації зображень без необхідності виявлення ключових точок;

- вперше розроблений комбінований метод класифікації зображень, який заснований на формуванні підкласу потенційно схожих зображень на основі прямокутної функції належності до спектральної сигнатури з урахуванням метрики міських кварталів та нечіткого критерію подібності на основі гаусових функцій належності, що дало змогу підвищити точність класифікації, зменшити кількість помилкових відмов і об'єднувати надлишкові кластери без повторного обчислення сигнатур при динамічному оновленні бази даних.

Ці елементи наукові новизни дозволили підвищити ефективність кластеризації зображень новинного контенту.

**Наукова та практична цінність одержаних результатів.** Розв'язання основних задач роботи дозволило покращити науково-методичну основу для створення високопродуктивних інформаційно-пошукових систем, орієнтованих на обробку великих динамічних баз візуальних даних, а також дало можливість розробити нові підходи та методики для вирішення актуальних проблем у цій галузі. Практична цінність результатів дослідження полягає в можливості їх застосування в реальних умовах, що підтверджується актами впровадження в ТОВ «МЕТА ЮЕІ» та на кафедрі «Комп'ютерна інженерія та програмування» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Основними практичним досягненнями роботи можна вважати наступні:

– створено узагальнену модель комбінованого класифікатора, яка може бути адаптована для інших задач, зокрема в сфері цифрового моніторингу, архівування медіа, систем виявлення дублікатів і фейкових зображень;

– розроблено алгоритмічне забезпечення побудови комбінованої (чітко-нечіткої) моделі класифікації зображень, що забезпечує високу швидкість при збереженні високої точності і дозволяє враховувати невизначеність у поданні візуальної інформації, яка характерна для медіапотоків;

– створено програмний прототип автоматизованої системи кластеризації, який дозволяє ефективно об'єднувати оригінальні та спотворені зображення в умовах великих динамічних баз даних з високою швидкістю обробки запитів.

Наявні результати підкреслюють високу наукову та практичну значимість дисертаційного дослідження.

**Повнота викладення наукових і прикладних результатів дисертації в опублікованих працях.** З метою висвітлення основних результатів досліджень здобувачем опубліковано 3 наукові статті у фахових виданнях України, серед яких дві статті у виданні, що входить до бази Scopus (квартиль Q3). Також здобувач активно приймав участь в багатьох міжнародних конференціях, де була проведена апробація наукових результатів дисертаційного дослідження. Основні результати дисертаційної роботи у публікаціях відображено достатньо повно.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення.** За структурою та змістом дисертаційне дослідження відповідає існуючим вимогам до роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Воно складається зі 158 сторінок, серед яких анотації у двох версіях, вступ, 4 розділи, висновки, список використаних досліджень, що має 81 найменування та 4 додатки.

**У вступі** сформульовані основні характеристики дисертаційної роботи та розглянуто питання його актуальності. Розглянуті задачі та методи дослідження, а також основні елементи наукової новизни. Підкреслено практичні результати дослідження, а також виконано огляд статей та матеріалів міжнародних конференцій, на яких вони були представлені та апробовані.

**Перший розділ** містить аналіз сучасних підходів до виявлення схожих зображень, зокрема методів на основі глибоких згорткових нейронних мереж та дескрипторних моделей ключових точок. Незважаючи на їх поширення, такі методи мають низку суттєвих обмежень: високу обчислювальну складність, потребу в попередньому навчанні, чутливість до змін масштабів і перекручень, а також обмежену масштабованість у потокових сценаріях. Обґрунтовано необхідність розробки ефективних і адаптивних методів, що забезпечують високу точність класифікації при постійному надходженні нових зображень без потреби

в перенавчанні. Наприкінці першого розділу виконано постановку науково-технічної задачі дисертаційного дослідження та сформовано основні його завдання, які мають бути виконанні в подальших розділах.

**У другому розділі** дисертаційної роботи запропоновано формалізовану модель класифікатора зображень для динамічних баз даних і метод побудови спектральної сигнатури на основі амплітудних коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення, інваріантної до симетричних афінних спотворень. Обґрунтовано вибір норм для спектральної агрегації. Розроблено комбінований метод класифікації зображень, що поєднують переваги жорсткого порогового контролю та гнучкої оцінки подібності за допомогою функцій належності. Результати розділу є основою для побудови адаптивної системи класифікації зображень.

**Третій розділ** містить розробку архітектури та реалізацію програмного прототипу системи кластеризації зображень на основі нечіткої логіки. Визначено вимоги до системи, спроектовано модульну структуру та реалізовано ключові компоненти на мові програмування Python. Створено базу даних для зберігання новин, зображень і результатів класифікації. Продемонстровано роботу системи в режимі оновлення новинного потоку. Запропоновано мовно-незалежний підхід до кластеризації на основі візуальних ознак. Окреслено напрями підвищення точності за рахунок урахування унікальності зображень і часових зв'язків.

**У четвертому розділі** дисертаційного дослідження розглянуто представлено результати експериментальної перевірки ефективності запропонованого методу класифікації зображень на основі спектральної сигнатури. Проведено оцінювання точності, швидкодії та стійкості системи до типових спотворень у великих динамічних базах даних.

**Висновки** містять сукупність основних наукових та практичних досягнень дисертації за рахунок виконаних завдань які були сформульовані у першому розділі.

Список використаних джерел містить посилання на важливу в рамках дослідження інформацію та на наукові роботи закордонних та вітчизняних дослідників у сфері дослідження. Додатки складаються зі списку публікації здобувача за темою дисертації, з фрагментів програм, які використовувалися для експериментальної перевірки наявних в роботі тверджень та рекомендацій, а також з актів впровадження отриманих результатів.

**Зауваження до дисертаційної роботи.** Загальне враження від роботи позитивне, адже вона містить комплексні теоретичні та практичні дослідження та обґрунтовані висновки з рекомендаціями, проте є низка зауважень:

1. При аналізі переваг та обмежень відомих методів пошуку та розпізнавання зображень в підрозділах 1.2.1 та 1.2.2 бажано було б вказати найбільш пріоритетні галузі застосування кожної з розглянутих груп методів.

2. Постановочна частина дисертації виглядала б краще, якби у першому розділі більш наглядно (у вигляді діаграм та графіків) були б наведені результати аналітичного огляду існуючих методів пошуку зображень у базах даних. Це підвищило б ступінь обґрунтованості зробленого автором висновку, що дані технології не забезпечують належну продуктивність у разі необхідності пошуку у великих базах даних, котрі постійно оновлюються.

3. В запропонованому у підрозділі 2.3 аналітичному виразі для визначення вектора ознак (формула 2.14) не зрозуміло, чи виконується умова нормалізації вагових коефіцієнтів коригування внеску кожної агрегованої частотної компоненти.

4. У підрозділі 2.4.2 для нечіткого класифікатора зображень сформульоване вирішальне правило (формула 2.20), що залежить від значення нормованого порогу подібності. Бажано було б навести пояснення, з яких міркувань вибирається даний поріг.

5. Підрозділ 4.1, який передує опису експериментальних досліджень результатів моделювання, слід було розширити розглядом таких питань: яким чином виконувалась кластеризація зображень на групи, наскільки дана кластеризація є оптимальною, що розуміється під «однаковими» зображеннями однієї групи, тобто вони повністю ідентичні чи спотворені дублікати та якою є міра близькості «однакових» зображень.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.** Зазначені зауваження не впливають на загальне позитивне враження від роботи, не зменшують її якості, а також наукової та практичної цінності. Вони не є визначальними і можуть бути враховані як напрямки подальших досліджень. Під час вивчення змісту та отриманих результатів дисертаційного дослідження **не було виявлено фактів порушення академічної доброчесності**. Крім того, було встановлено, що тема роботи є актуальною та відповідає спеціальності 123 – комп'ютерна інженерія.

Розглянута робота “Автоматизована система швидкого пошуку схожих цифрових зображень на основі нечіткої логіки” є комплексним дисертаційним дослідженням та відповідає вимогам до оформлення дисертації та вимогам

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 (затверджений Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44 зі змінами), а її автор, Філатов Валерій Володимирович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – комп'ютерна інженерія.

Професор кафедри  
комп'ютерної інженерії та програмування  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»  
доктор технічних наук, професор

Георгій КУЧУК

“ 01 ” серпня 2025 р.

