

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кривенка Сергія Станіславовича  
«Методи прогнозування та інтелектуальної обробки зображень  
у системах дистанційного зондування та медичної діагностики»,  
яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

### 1. Актуальність теми дисертаційного дослідження

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій та систем збору даних характеризується швидким зростанням об'ємів візуальної інформації, включаючи такі критично важливі галузі, як дистанційне зондування Землі (ДЗ) та медична діагностика. Актуальність цієї проблематики підтверджується національними та міжнародними програмами. Україна має розвинену інфраструктуру для ДЗ, а відповідні урядові ініціативи (Постанова КМУ №1188 від 2019 року, Стратегія розвитку охорони здоров'я до 2030 року) акцентують на необхідності цифровізації та впровадження методів обробки великих даних. Особливої уваги заслуговує критична роль обробки зображень у військових додатках, де поєднання фільтрації, стиснення та збереження візуальної якості є ключовим фактором підвищення надійності та точності систем комп'ютерного зору в складних бойових умовах. Попри значний прогрес у розробці фільтрів (зокрема на основі глибокого навчання), залишаються не до кінця вирішеними наступні проблеми:

- складна природа шумів: на медичних зображеннях (КТ, МРТ, рентген) і на зображеннях ДЗ завади часто є просторово-корельованими та негаусовими, що знижує ефективність традиційних алгоритмів;
- прогнозування ефективності: відсутність швидких та надійних методів прогнозування ефективності фільтрації та стиснення до початку ресурсоємних обчислень призводить до неоптимального використання обмежених ресурсів;
- контроль якості при стисненні з втратами: необхідність розробки методів, які б гарантували збереження візуальної (діагностичної) якості стисненого зображення, забезпечуючи при цьому максимально можливий коефіцієнт стиснення; особлива увага приділяється об'єктивним метрикам, що враховують особливості зорової системи людини (PSNR-HVS-M, MS-SSIM).

Таким чином, сформульована у дисертаційній роботі науково-практична проблема підвищення ефективності інтелектуальної обробки (фільтрації та стиснення із втратами) зображень в умовах складних завад і обмежених обчислювальних ресурсів є надзвичайно актуальною для розвитку радіотехнічних систем обробки даних, телекомунікацій та медичної інженерії.

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

Зміст дисертаційної роботи тісно пов'язаний з пріоритетними напрямками наукових досліджень та розробок, що підтверджується участю дисертанта у виконанні низки державних та міжнародних науково-дослідних робіт (НДР), які проводились у Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут». Дослідження, представлені в дисертації, безпосередньо відображають результати виконання наступних НДР: українсько-польська НДР «Методи інтелектуальної обробки зображень та відео на основі метрик візуальної якості для перспективних застосувань» (2021, № держреєстрації 0121U113841);



держбюджетна НДР «Методи інтелектуальної комп'ютерної обробки великих даних в системах дистанційного зондування, мультимедіа та телекомунікацій» (2018-2020, № держреєстрації 01180003020); українсько-французька НДР «Розумна» обробка великих об'ємів даних у застосуванні до багатоканальних зображень дистанційного зондування» (2017-2018, № держреєстрації 01170005010); держбюджетна НДР «Методи підвищення якості сервісу засобами цифрової обробки багатоканальних даних в системах мультимедіа, дистанційного зондування та телемедицини» (2015-2016, № держреєстрації 0115U000827). Дисертант не лише брав участь у виконанні перелічених НДР, але й був відповідальним виконавцем у низці пізніших робіт, що свідчить про його ключову роль у формуванні наукового напрямку кафедри, пов'язаного з інтелектуальною обробкою сигналів та зображень.

### **3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації та їх достовірність**

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Кривенка С.С., забезпечується використанням адекватного науково-методологічного апарату, великим обсягом експериментальних досліджень та їхньою кореляцією з практичними результатами, підтвердженими актами впровадження.

#### **3.1. Методологічний підхід**

Дисертаційна робота базується на використанні комплексу математичних методів, що відповідають поставленим завданням.

- Теорія ймовірностей та математична статистика використовувались для аналізу складних шумів (сигнально-залежного шуму, просторово-корельованого шуму, спекл-шуму) та для кількісної оцінки ефективності алгоритмів через метрики якості (MSE, PSNR, MS-SSIM).
- Нелінійна фільтрація сигналів. Застосовувались та вдосконалювались методи на основі дискретного косинусного перетворення (ДКП), вейвлет-перетворення Хаара, а також нелінійні методи, як-от Level Set, для адаптивного придушення шуму при збереженні структурних особливостей зображень.
- Машинне та глибоке навчання. Використовувались SVM-класифікатори та згорткові нейронні мережі (NSPNet, GDNNet) для інтелектуального детектування текстур, меж, та для автоматичного придушення шумів зі складним спектром, що є найбільш сучасним підходом у цій галузі.
- Регресійний аналіз застосовувався для розробки методів прогнозування ефективності фільтрації та стиснення, що забезпечило високий коефіцієнт детермінації (до 0,99 для прогнозування PSNR) та малу середньоквадратичну похибку прогнозу.

#### **3.2. Достовірність результатів та експериментальна база**

Достовірність отриманих результатів підтверджена широкою та ретельно підбраною експериментальною базою.

- Використання референсних баз даних. У дослідженнях задіяно стандартні тестові зображення (Lenna, Baboon, Goldhill, Barbara), референтні бази

шумів (TID2013) та зображень ДЗ (Hyperion, TerraSAR-X, Sentinel-1). Це дозволило провести коректне порівняння розроблених методів із передовими алгоритмами або стандартами (BM3D, JPEG2000, SPIHT) та підтвердити їхню універсальність.

- Аналіз реальних медичних даних: використання рентгенівських знімків зубів (система Morita) та зображень сітківки. Це дозволило ідентифікувати унікальні характеристики шуму (сигнально-залежний, просторово-корельований шум) у реальних клінічних умовах і адаптувати алгоритми стиснення (ADCT, BPG) для збереження діагностично важливої інформації.
- Суб'єктивні тести (MOS). Проведення оцінки візуальної якості стиснених стоматологічних знімків групою спеціалістів-стоматологів підтвердило, що досягнуте стиснення (коефіцієнт стиснення в окремих випадках до 30-40) є візуально безвтратним та не впливає на встановлення діагнозу.
- Верифікація в задачі виявлення цілі. Вперше проаналізовано вплив стиснення JPEG на ефективність виявлення цілі оператором в умовах завад (база даних Search\_2), що підтверджує практичну цінність розробок для військових та оборонних застосувань.

### **3.3. Обґрунтованість наукової новизни**

Кожне з шести положень наукової новизни дисертації підкріплене результатами чисельного моделювання, теоретичними викладками та експериментальною перевіркою, детально описаними у відповідних розділах.

- Обґрунтовано перевагу комбінування трьох локальних параметрів для SVM-класифікатора, що підвищило надійність детектування.
- Доведено можливість точного прогнозування покращення PSNR/PSNR-HVS-M (коефіцієнт детермінації до 0,98) на основі швидкого аналізу статистики ДКП-коефіцієнтів, що є ключовим для автоматизації обробки.
- Удосконалено двоетапний метод стиснення із втратами, який, на відміну від ітераційних, гарантує заданий рівень візуальної якості (похибка менше 1 дБ) за два кроки, що значно підвищує швидкодію.
- Отримали подальший розвиток методи прогнозування характеристик стиснення зашумлених зображень, що дозволило визначити оптимальну робочу точку (OPT) для кодерів BPG та ADCT, забезпечуючи найбільший КС при мінімальному погіршенні якості.
- Удосконалено методи обробки зашумлених медичних зображень через аналіз просторово-спектральних характеристик шумів та розробку сліпого придушення шуму на основі ЗНМ (NSPNet+GDNet), що забезпечило приріст PSNR до 2,7 дБ.
- Досягнуто високого ступеня стиснення (у 10-40 разів) при збереженні діагностичної цінності інформації, що підтверджено клінічною практикою.

Усі наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, є достовірними, глибоко обґрунтованими та мають високий науковий рівень.

#### 4. Структура та зміст дисертації

Дисертаційна робота Кривенка С.С. вирішує поставлену мету — підвищення ефективності методів обробки зображень у ДЗЗ та медичній діагностиці, зокрема фільтрації та стиснення, з урахуванням візуальної якості. Робота має логічну, послідовну структуру, що охоплює вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел (317 найменувань) та додатки. Загальний обсяг роботи становить 465 сторінок (основний текст — 296 сторінок), що відповідає вимогам до докторських дисертацій.

Зміст дисертації за розділами такий.

ВСТУП. Чітко окреслено актуальність, мету, завдання (14 підзадач), об'єкт, предмет, методи дослідження, а також сформульовано наукову новизну та практичне значення.

РОЗДІЛ 1. ФІЛЬТРАЦІЯ ТА СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ. МЕТРИКИ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ. Проведено глибокий огляд сучасного стану методів фільтрації та стиснення. Визначено основні класи шумів (АБГШ, спекл, сигнально-залежний) у ДЗЗ та медичних зображеннях. Особливу увагу приділено візуальній якості та метрикам PSNR-HVS-M, MS-SSIM, FSIM, обґрунтовано їхню перевагу над традиційними PSNR та MSE для оцінки ефективності.

РОЗДІЛ 2. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ФІЛЬТРАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ. Цей розділ присвячений розробці інтелектуальних методів фільтрації. Розглянуто детектування текстур за допомогою SVM-класифікатора та нейронної мережі на основі комбінування локальних параметрів. Проаналізовано адаптивну фільтрацію PCA-зображень, показано перевагу комбінованих методів (ДКП-фільтр у поєднанні з Level Set або вейвлет-фільтром Хаара) над іншими сучасними алгоритмами для просторово-корельованого шуму. Представлено метод прогнозування ефективності фільтрації (IPSNR, IPSNR-H) на основі статистики ДКП-коефіцієнтів, що дозволяє приймати рішення про доцільність фільтрації до початку обчислень, особливо для багатоканальних даних Hyperion.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ СТИСНЕННЯ НЕЗАШУМЛЕНИХ ЗОБРАЖЕНЬ. Описано підходи до керованого стиснення із втратами. Обґрунтовано та вдосконалено двоетапну процедуру забезпечення бажаної візуальної якості (PSNR-HVS-M) для кодерів AGU, ADCT, SPIHT, BPG. Доведено, що цей метод значно знижує дисперсію помилки надання бажаної якості (майже на порядок) порівняно з одноетапним ітераційним підходом. Проаналізовано вплив стиснення з втратами на точність класифікації багатоканальних зображень (класифікатори ММП та НМ). Встановлено критично важливе правило, що класифікатор повинен бути навчений для стисненого зображення з тими ж параметрами стиснення, за яких він буде застосований, для уникнення падіння точності. Вперше введено та проаналізовано поняття «аномальні (дивні) зображення» у ДЗ, криві швидкості/спотворення для яких є немонотонними (набір Beach), та визначено їхні властивості.

РОЗДІЛ 4. АЛГОРИТМИ СТИСНЕННЯ ЗАШУМЛЕНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТИСНЕННЯ. У цьому розділі розвинуто методи прогнозування для зашумлених даних. Проведено детальний аналіз статистичних та просторово-спектральних характеристик спотворень, внесених кодерами (AGU, ADCT). Доведено, що локальна дисперсія спотворень залежить від локальної активності зображення. Представлено швидкий безітераційний

метод прогнозування MSE (і, відповідно, PSNR) для заданого кроку квантування, що базується на агрегованих характеристиках ДКП-коефіцієнтів (формули (4.5)-(4.9)). Визначено Оптимальну Робочу Точку (OPT) для стиснення зашумлених зображень (зокрема, кодерами BPG та ADCT) згідно з метриками PSNR-HVS-M. Доведено, що OPT існує для зображень простої структури при високому рівні шуму.

**РОЗДІЛ 5. МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО СТИСНЕННЯ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ.** Проаналізовано стиснення кольорових зображень сітківки та стоматологічних рентгенівських знімків кодерами AGU, ADCT, BPG. Показано можливість досягнення коефіцієнта стиснення до 100-120 для сітківки та 30-40 для знімків зубів без втрати діагностичної інформації. Обґрунтовано застосування безітераційного методу прогнозування для гарантування візуальної безвтратності стоматологічних зображень, що підтверджено фахівцями. Досліджено вплив просторово-корельованого шуму на стиснення, показано, що OPT існує, але зміщується до більших значень порівняно з АБГШ.

**РОЗДІЛ 6. ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ ПРИ СТИСНЕННІ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ.** Описано практичні аспекти. Проаналізовано вплив стиснення JPEG в околі точки Ледь Помітної Різниці (ЛПР) на виявлення цілі людиною-оператором (база Search\_2), доведено, що стиснення до першої точки ЛПР не впливає на ефективність виявлення цілі. Розроблено новий швидкий підхід для придушення шумів складного виду всліпу на рентгенівських знімках за допомогою послідовної комбінації двох згорткових НМ (NSPNet + GDNet). NSPNet прогнозує три карти рівнів СКВ для оцінки спектру шуму, а GDNet використовує їх для ефективної фільтрації. Досліджено шляхи прискорення ДКП-фільтрації за рахунок часткового перекриття блоків (зменшення часу обробки до 16 разів) при мінімальній втраті якості.

**Наукова новизна** роботи є суттєвою і полягає у розробці та обґрунтуванні інтегрованої методології інтелектуальної обробки візуальних даних, що охоплює як фільтрацію, так і інтелектуальне стиснення. Основні новаторські результати такі.

Вперше запропоновано метод виділення текстурних ділянок на зображеннях, спотворених шумом, з використанням методів машинного навчання, що використовує локальні характеристики, визначені в межах ковзного вікна, завдяки чому вдалося покращити надійність детектування текстурних фрагментів.

Вперше показано можливість прогнозування ефективності фільтрації у випадку сигнально-залежних завад на зображеннях при використанні традиційних та візуальних метрик якості, який забезпечує високу точність, в тому числі для метрик, що враховують візуальну якість.

Удосконалено двоетапний метод забезпечення необхідної візуальної якості при стисканні зображень із втратами, який забезпечує досягнення необхідного рівня якості відповідно до класичних метрик та метрик, що враховують візуальну якість, і дозволяє знизити дисперсію залишкових похибок майже на порядок порівняно з одноетапними підходами.

Отримали подальший розвиток методи прогнозування ефективності стиснення із втратами зображень, спотворених шумом, що передбачає поканальний аналіз мультиспектральних даних з подальшим вибором найкращих параметрів стиснення для кожного каналу, що дозволяє покращити результати класифікації шляхом придушення шумових і високочастотних компонент.

Удосконалено методи обробки зашумлених медичних зображень шляхом аналізу просторово-спектральних характеристик шумів, що дозволило забезпечити сліпе придушення шуму з досягнення приросту PSNR до 2,7 дБ відносно існуючих підходів.

Удосконалено методи контролю якості обробки медичних зображень та зображень дистанційного зондування, що дозволило гарантувати високий ступінь стиснення (у 10–40 разів), зокрема, для медичних зображень при збереженні усієї діагностично цінної інформації.

**Практичне значення** дисертаційної роботи є вагомим, що підтверджено наступними ґрунтовними актами впровадження (Додатки Н, П, Р, С).

Методи фільтрації радіолокаційних зображень та метод прогнозування їхньої ефективності, які дозволили підвищити якість радіолокаційних зображень і забезпечити прогнозування характеристик фільтрації для вибору найкращих параметрів фільтра. (Акт впровадження: Інститут радіофізики та електроніки імені О. Я. Усикова НАН України).

Метод прогнозування показників якості первинних рентгенівських зображень та метод стиснення медичних зображень із урахуванням спотворень апаратури, що забезпечило стиснення без втрати діагностично важливої інформації при збереженні найкращої візуальної якості. (Акт впровадження: КНП ХОР «Обласна дитяча клінічна лікарня»).

Двоетапний підхід до придушення шуму та метод адаптації до просторово-корельованого шуму, використані при розробці програмного забезпечення медичних приладів для підвищення ефективності вторинної обробки й аналізу зашумлених даних, отриманих з медичних датчиків. (Акт впровадження: ТОВ «Біопромін»).

Методи оцінки якості медичних сигналів за допомогою методів стиснення оптичних зображень та двоетапні процедури стиснення зображень з втратами, які суттєво спростили процедуру оцінки ефективності фільтрації та стиснення зображень складної природи, а також прискорили процедуру стиснення медичних та оптичних зображень. (Акт впровадження: ТОВ НК «КОЛІБРІ»).

Розроблені алгоритми та програмні реалізації (зокрема, метод швидкого прогнозування MSE) були використані у навчальному процесі та науково-дослідній роботі Національного аерокосмічного університету «ХАІ».

## **5. Повнота викладення результатів роботи у наукових працях**

Повнота викладення результатів дисертаційної роботи Кривенка С.С. у наукових працях не викликає жодних сумнівів і є винятково високою та значною, що відповідає найвищим вимогам до докторських дисертацій.

За темою дисертації опубліковано 71 наукову роботу, зокрема:

4 розділи у монографіях (що є значним внеском у формування наукового напрямку);

15 статей у наукових фахових виданнях України категорій А та Б;

14 статей у наукових періодичних виданнях інших держав (США, Швейцарія), які індексуються у міжнародних наукометричних базах Scopus (7 статей належать до журналів першого та другого квартилів);

38 тез доповідей у збірниках праць наукових конференцій, 27 з яких проіндексовано у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus.

Апробація матеріалів дисертації була проведена на широкому спектрі Міжнародних конференцій високого рівня, включаючи: MECO (Чорногорія), ELNANO (Київ), TCSET (Львів-Славське), DESSERT (Греція), CADSM (Поляна), що свідчить про визнання результатів дисертанта міжнародною науковою спільнотою.

Таким чином, обсяг, якість та наукометрична значущість публікацій здобувача (H-індекс здобувача у наукометричній базі Скопус дорівнює 14) більш, ніж повно, відображають основні наукові положення, висновки та результати дисертаційної роботи.

## **6. Мова та стиль дисертації**

Дисертаційна робота Кривенка С.С. написана державною мовою. Стиль викладення матеріалу є науковим, академічним та послідовним.

Логіка та послідовність: виклад матеріалу має чітку та обґрунтовану логічну структуру, де кожен наступний розділ є логічним продовженням попереднього. Це створює цілісну картину дослідження від аналізу проблем, через розробку методів, до їх експериментальної перевірки та практичної реалізації.

Термінологія: Використана наукова термінологія є загальновизнаною в галузі радіотехнічних та інформаційних систем, систем обробки зображень та комп'ютерного зору. Дисертант оперує складними поняттями вільно і точно.

Оформлення: робота якісно проілюстрована (84 рисунки та 54 таблиці), що полегшує сприйняття складних математичних та експериментальних результатів.

Хоча загалом мова та стиль роботи відповідають високому рівню, при такому великому обсязі тексту є неминучими окремі мовні та стилістичні огріхи, які не впливають на сприйняття суті дослідження, але потребують уваги (зокрема, використання громіздких конструкцій, що ускладнюють читання, іноді надмірне використання пасивних зворотів). Ці зауваження, однак, носять суто редакторський характер і не знижують загальну позитивну оцінку наукової праці.

## **7. Недоліки та зауваження щодо дисертаційної роботи**

Висловлені нижче зауваження є конструктивними і спрямовані на подальше вдосконалення результатів, отриманих здобувачем, та підвищення їхньої практичної цінності.

1. Щодо універсальності прогнозування ефективності фільтрації. Дисертант довів можливість прогнозування ефективності ДКП-фільтрації для сигнально-залежного шуму. Однак, не до кінця розкрито, чи можна адаптувати цей швидкий метод прогнозування до дослідження ефективності більш сучасних фільтрів, таких як BM3D або глибокі ЗНМ-фільтри (Restormer, DRUNet), які застосовуються для придушення некорельованого шуму. Таке розширення могло б стати основою для нового етапу досліджень, що поєднає швидкість прогнозування з високою якістю фільтрації.



2. Щодо часової складності двоетапного стиснення: здобувач стверджує, що двоетапний метод значно швидший за ітераційний, оскільки вимагає лише двох повних циклів стиснення/декомпресії. Проте, відсутній чіткий кількісний порівняльний аналіз загальної трудомісткості (у секундах або флопсах) між: а) запропонованим двоетапним методом; б) повним ітераційним методом; в) швидким безітераційним методом прогнозування MSE, що не вимагає декомпресії. Такий аналіз був би корисним для інженерних застосувань, де час є критичним ресурсом.

3) Щодо природи OPT: доведено, що для стиснення зашумлених зображень вона може існувати, що є значним результатом. Проте, недостатньо уваги приділено випадкам, коли OPT не існує (наприклад, для текстурних зображень на кшталт Baboon або ділянок зображень ДЗ, де залежність є монотонно спадною). У цих випадках практична рекомендація може призводити до недооцінки оптимального коефіцієнту стиснення, який міг би бути вищим при мінімально допустимому погіршенні якості.

4) Щодо обробки «аномальних (дивних) зображень»: введення та аналіз «аномальних зображень» (КШС яких немонотонні) є цікавим теоретичним внеском. Дискусійним є питання практичного застосування цих результатів. Було б доцільно запропонувати автоматичний алгоритм виявлення аномальності до стиснення (наприклад, на основі параметрів складності E, C, EN), який би автоматично перемикав кодер зі стандартного режиму на режим, що гарантує монотонність КШС (наприклад, із застосуванням усереднених матриць квантування).

5) Щодо ЗНМ для сліпого придушення шуму: розроблена архітектура NSPNet+GDNet є ефективною для складних шумів. Однак, відсутній детальний аналіз стійкості цієї моделі до просторово-корельованого шуму з іншим спектром, на якому мережа не навчалася. У реальних системах ДЗ та медицини (зокрема, з новими апаратними платформами) шум може мати непередбачувані характеристики, і стійкість до узагальнення є критичною.

6) Термінологічні та стилістичні зауваження: У тексті дисертації трапляються окремі неточності. Наприклад, на стор. 296, рис. 6.5, підписи на осі Y (Pd, FAR, mST) можуть вводити в оману, оскільки функціональні залежності для Pd, FAR та mST мають принципово різний характер (Pd спадає, FAR зростає/стабілізується, mST зростає) і мають бути представлені на окремих графіках для більшої наочності. Крім того, варто звернути увагу на уникнення русизмів та некоректних перекладів у подальших публікаціях та підготовці монографій.

Робота відповідає всім вимогам академічної доброчесності; плагіат, фабрикації та фальсифікації відсутні.

## **8. Відповідність реферату змісту дисертаційної роботи**

Реферат дисертаційної роботи Кривенка С.С. повністю відповідає змісту дисертаційної роботи. У ньому чітко відображено:

- 1) актуальність обраної теми;
- 2) мету та завдання дослідження;
- 3) повний обсяг наукової новизни (6 пунктів) та практичного значення (8 пунктів);
- 4) основні результати та висновки за кожним із шести розділів;
- 5) ступінь апробації та обсяг публікацій.



Усі ключові наукові результати, заявлені у дисертації, коректно та в необхідному обсязі представлені в рефераті.

**9. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам.**

Дисертаційна робота Кривенка Сергія Станіславовича на тему «Методи прогнозування та інтелектуальної обробки зображень у системах дистанційного зондування та медичної діагностики» є завершеною, глибокою та оригінальною науково-практичною працею, що виконана на високому науково-методичному рівні.

У дисертації представлено нові наукові результати, що мають суттєве значення для розвитку теорії та практики радіотехнічних систем, телекомунікацій та медичної інженерії. Здобувачем вирішено важливу науково-практичну проблему ефективного інтелектуального оброблення візуальних даних в умовах складних завдань та обмежених обчислювальних ресурсів, що є критично важливим для сучасних високотехнологічних застосувань.

Обсяг публікацій та їхня якість (зокрема, статті в журналах першого та другого квартилів, індексованих у Scopus та Web of Science) повністю підтверджують наукову кваліфікацію здобувача.

За актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, змістом та оформленням дисертаційна робота Кривенка С.С. відповідає всім вимогам «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, а її автор, Кривенко Сергій Станіславович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент:  
професор кафедри прикладної математики  
та інформаційних технологій  
Навчально-наукового  
інституту комп'ютерних систем  
Національного університету  
«Одеська політехніка»  
доктор технічних наук, доцент



Марина ПОЛЯКОВА

Підпис Марини Полякової засвідчую

Вчений секретар Вченої ради  
Національного університету  
«Одеська політехніка»



Лада ПРОКОПОВИЧ