

Голові разової спеціалізованої вченої ради  
Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка»  
д.т.н., професору Івану ЛАКТИОНОВУ

**ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА,**  
**кандидата технічних наук, доцента Сергєєвої Катерини Леонідівни**  
на дисертаційну роботу  
Казимиренка Олексія Володимировича  
«Нейромережеве розпізнавання об'єктів транспорту на аерокосмічних  
зображеннях»,  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 «Інформаційні технології»  
за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології»

### **1. Загальна характеристика роботи**

Повний обсяг роботи — 168 сторінок, у тому числі 150 сторінок основного тексту. Робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел налічує 142 найменування.

До розгляду подано дисертацію на здобуття ступеня доктора філософії та копії усіх опублікованих автором робіт, які відображають результати та зміст дослідження.

### **2. Оцінка актуальності теми дисертації**

У дисертації представлено нове вирішення актуальної науково-практичної задачі в галузі інформаційних технологій щодо автоматизованого розпізнавання транспортних засобів довільної орієнтації на аерокосмічних зображеннях високої та надвисокої просторової розрізненості в умовах складного фону та значної варіативності умов зйомки. Для досягнення поставленої мети розроблено метод просторово-орієнтованого розпізнавання транспортних засобів на основі глибоких нейронних мереж із механізмами автоматичної компенсації просторових трансформацій та багатомасштабного аналізу ознак; запропоновано методи попередньої обробки та аугментації аерокосмічних зображень, спрямовані на підвищення стійкості розпізнавання до змін масштабу, кута зйомки, освітлення й контрастності сцен; розроблено

інформаційну технологію обробки та аналізу аерокосмічних зображень, що інтегрує модулі попередньої обробки, сегментації, виявлення транспортних засобів та оцінювання якості результатів розпізнавання; реалізовано програмний додаток, який забезпечує практичне застосування запропонованої інформаційної технології та включає графічний інтерфейс користувача, засоби завантаження й обробки зображень, візуалізацію результатів і аналіз показників ефективності.

Актуальність вирішення поставленої в дисертаційній роботі задачі зумовлена необхідністю розробки швидких, точних та ефективних методів попередньої обробки й класифікації великих обсягів супутникових даних високої просторової розрізненості для їх швидкого аналізу та прийняття управлінських рішень. Розробка відповідних інформаційних технологій на основі методів машинного навчання дозволить підвищити ефективність автоматизованої попередньої обробки та точність вирішення тематичних задач супутникового моніторингу довкілля.

Для обґрунтування мети та поставлених у роботі задач, у дисертації проведено детальний аналіз: 1) сучасного стану методів виявлення та розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях, зокрема класичних алгоритмів обробки зображень та нейромережових підходів, і визначено їх переваги та обмеження з точки зору точності, інваріантності до просторових трансформацій та обчислювальної складності, 2) ефективності класичних методів виділення ознак (Canny, Sobel, Laplacian, Prewitt, Schar) та сучасних нейромережових моделей виявлення об'єктів при розпізнаванні транспортних засобів на аерокосмічних і аерофотознімках з використанням кількісних метрик Precision, Recall, F1 Score та mAP, 3) можливостей застосування сучасних архітектур глибокого навчання для задач виявлення та сегментації транспортних засобів, зокрема моделей сімейства YOLO з підтримкою орієнтованих рамок та сегментаційних архітектур типу DeepLab із глибокими магістральними мережами. Автором розглянуто достатньо велику кількість сучасних робіт науковців з усього світу. Тема дисертаційного дослідження Казимиренка О.В. є актуальною та важливою, зокрема, для вирішення зазначених вище задач.

### **3. Оцінка наукових результатів дисертації**

Вирішення поставлених завдань дисертаційної роботи виконано на основі нових наукових положень, які полягають у наступному:

- запропоновано комплексний багатокомпонентний підхід до нейромережового розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності, що ґрунтується на інтеграції просторової нормалізації ознак, виділення областей інтересу, багатомасштабного представлення ознак та семантичної сегментації в єдиній

нейромережевій архітектурі для виявлення та класифікації об'єктів транспорту довільної орієнтації та масштабу;

- розроблено інформаційну технологію нейромережевого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності на основі запропонованої архітектури глибоких нейронних мереж. Запропонована технологія забезпечує розпізнавання транспортних засобів довільного розташування на різночасових аерокосмічних зображеннях та оптимізує час навчання моделей і обробки даних;
- вдосконалено архітектуру нейромережевого детектора (YOLOv11) об'єктів із підтримкою орієнтованих обмежувальних рамок, що базується на багатомасштабному представленні просторових ознак та адаптивному механізму їх агрегації й уточнення, що забезпечує підвищення точності виявлення та локалізації транспортних засобів у складних сценах на аерокосмічних зображеннях високої просторової розрізненості;
- вдосконалено методи автоматизованого виявлення транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях за рахунок поєднання класичних алгоритмів виділення ознак із сучасними нейромережевими моделями, що забезпечує стабільність роботи системи за умов змінної освітленості, контрастності та спектральної неоднорідності сцен (Precision – 99,5%, Recall – 96,8%, F1 Score – 98,1%);
- вдосконалено підходи до підготовки та навчання нейромережевих моделей на комбінованих наборах аерокосмічних даних (DOTA та спеціалізовані аерофотозображення) із застосуванням методів аугментації та функції втрат, що дозволяє зменшити вплив дисбалансу класів та підвищити якість виявлення об'єктів різних розмірів (mAP – 96,8%, OBB IoU – 98,5%);
- вдосконалено формування анотованих наборів даних із використанням орієнтованих обмежувальних рамок (OBB), що мінімізує вплив фону та забезпечує коректне навчання моделей для підвищення точності виявлення транспортних засобів. На спеціалізованому наборі даних модель досягла точності = 100%, FP = 0, Recall = 95,5% (виявлено 107 із 112 ТЗ).

#### **4. Оцінка практичного значення результатів роботи**

Отримані автором результати можуть бути використані для вирішення практичних задач моніторингу транспортної інфраструктури, автоматизованої обробки та інтерпретації аерокосмічних зображень. Інформаційна технологія класифікації аерокосмічних зображень реалізована у вигляді програмного

додатку, побудованого на основі багаторівневої архітектури з функціональним розподілом на рівні представлення (UI), даних (cloud storage), обробки (Deep Learning) та програмно-технологічної реалізації із використанням бібліотек PyTorch і GDAL. У додатку інтегровано режими аналізу, що включають модуль семантичної сегментації для попиксельного виділення контурів об'єктів та режим інваріантного розпізнавання транспортних засобів довільної орієнтації; програмний додаток формує аналітичну звітність із автоматичним розрахунком кількісних показників ефективності, зокрема кількості виявлених транспортних засобів, метрики mAP та часу обробки, що забезпечує верифікацію результатів без використання стороннього програмного забезпечення.

Здобувач є виконавцем науково-дослідних робіт кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» «Моделі й інформаційні технології обробки та аналізу даних в складних комп'ютерних системах і мережах» (реєстраційний номер 0121U114523, 2022-2024 рр.), «Методи та інформаційні технології інтелектуального аналізу неструктурованих даних в розподілених комп'ютерних системах» (реєстраційний номер 0125U000076).

Запропоновані у дисертації технічні рішення впроваджені в системах аналізу зображень «Дніпрокосмос» філії Національного центру управління.

Результати проведених досліджень застосовуються у навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Результати впровадження підтверджені відповідними актами.

## **5. Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень і висновків дисертації**

Наукові положення, висновки та пропозиції у достатній мірі обґрунтовані результатами експериментів на відкритих наборах даних, їх порівнянням із новітніми науковими розробками інших авторів та практичними застосуваннями.

Нові наукові результати та положення повністю відображені у 9 роботах: чотири статті опубліковано у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань України за спеціальністю 126 – Інформаційні системи та технології, три з них – категорії А (Scopus, Web of Sc.), чотири наукових праці опубліковано у збірниках наукових праць та матеріалах міжнародних конференцій, одну з яких проіндексовано у НМБ Scopus; отримано одне свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Кількість публікацій, їх повнота та обсяг у достатній мірі відображають особистий внесок авторки і відповідають вимогам, що висуваються до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

## **6. Оцінка змісту й оформлення дисертації**

Дисертаційна робота написана українською мовою. В роботі використано науковий стиль та загальноприйняту термінологію. Робота виконана в чіткій логічній послідовності відповідно до поставлених мети та задач досліджень.

У дисертаційній роботі вирішено актуальне питання розробки інформаційної технології розпізнавання транспортних засобів довільного розташування на аерокосмічних зображеннях з використанням методів глибокого навчання.

Постановка науково-прикладної задачі, вирішенню якої присвячена дисертаційна робота, є коректною. В роботі розглянуто окремі складові задачі, а саме: вирішення задач попередньої обробки та аугментації аерокосмічних зображень, виявлення та розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях.

У **першому розділі** «Огляд стану проблеми нейромережевого розпізнавання об'єктів транспорту на аерокосмічних зображеннях» розглянуто технічні аспекти формування аерокосмічних знімків та особливості використання RGB-камер на БПЛА. Проведено ґрунтовний аналіз існуючих методів класифікації від класичного контурного аналізу до сучасних згорткових нейронних мереж. Визначено, що ключовими проблемами автоматизованого розпізнавання є низька стійкість традиційних алгоритмів до змін масштабу, ракурсу та складного фону, що обґрунтовує необхідність розробки нових інформаційних технологій.

У **другому розділі** «Нейромережеві методи розпізнавання транспортних об'єктів на аерокосмічних зображеннях» запропоновано комплексний нейромережевий підхід до семантичної сегментації та детектування об'єктів. Зокрема, розроблено метод на базі архітектури DeepLab (ResNet) із функцією втрат Dice для точного виділення меж транспорту. Автором запропоновано модифікацію моделі YOLOv11 із використанням орієнтованих обмежувальних рамок, що дозволяє коректно локалізувати об'єкти довільної орієнтації та мінімізувати хиби спрацювання в умовах щільної забудови.

У **третьому розділі** «Розробка та практична реалізація інформаційної технології нейромережевого розпізнавання транспортних засобів довільного розташування на аерокосмічних зображеннях» запропоновано архітектуру багатокомпонентної інформаційної технології, що поєднує вилучення ознак через Backbone Network та просторову стабілізацію за допомогою Spatial Transformer Network. Описано програмну реалізацію системи мовою Python (PySide6, PyTorch), яка підтримує автоматичний аналіз зображень та інтерактивне ручне налаштування параметрів у колірному просторі HSV для підвищення точності у складних умовах.

У четвертому розділі «Експериментальна перевірка ефективності запропонованих нейромережових методів і технологій розпізнавання транспортних об'єктів на аерокосмічних зображеннях» представлено результати апробації розробленої технології на власному наборі даних. Експериментально доведено перевагу запропонованого підходу над класичними детекторами (YOLOv8, SSD, Faster R-CNN) за метриками точності (mAP до 98,5%) та швидкодії (від 0,09 с). Підтверджено ефективність впровадження результатів у практику моніторингу транспортної інфраструктури та навчальний процес.

### **7. Зауваження до дисертаційної роботи**

1. В розділі 1 автору варто було б виконати детальніший аналіз обмежень класичних методів розпізнавання, зокрема їх низьку стійкість до варіативних умов зйомки та обмежену здатність працювати з великими обсягами аерокосмічних даних. Крім того, доцільно зазначити, що підходи на основі згорткових нейронних мереж забезпечують кращу узагальнювальну здатність і точність, проте потребують значно більших обчислювальних ресурсів.
2. У першому розділі доцільно було б більш детально представити характерні ознаки транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях, які дозволяють відрізнити їх від об'єктів інших класів. Зокрема, варто було б узагальнити такі ознаки, як геометричні, текстурні, спектральні та контекстні характеристики, що використовуються у задачах автоматизованого розпізнавання, для кращої обґрунтованості постановки задачі та вибору методів дослідження.
3. В розділі 2 доцільно було б деталізувати критерії вибору нейромережових архітектур для різних типів транспортних об'єктів та пояснити, як поєднання контурної обробки з глибинним навчанням впливає на узагальнювальну здатність моделей, особливо в умовах варіативних кутів огляду, різного масштабу та складного фону.
4. В розділі 3, описуючи функціонал програмного додатка, автор приділяє значну увагу режиму ручного налаштування параметрів у колірному просторі HSV. Попри практичну цінність цього інструменту, опис фізико-оптичних засад виділення об'єктів за параметрами Hue, Saturation та Value доцільніше було б винести у другий розділ як частину розробленого методу, а в третьому – зосередитись на алгоритмічній реалізації відповідного програмного модуля.
5. У четвертому розділі представлено високі результати точності (mAP до 98.5%), проте в межах експериментальних досліджень не наведено оцінку впливу атмосферних спотворень та різних кутів нахилу камери (перспективних викривлень) на стійкість локалізації об'єктів надмалого розміру, що є критичним для реальних умов аерокосмічної зйомки.

6. У четвертому розділі доцільно було б розширити опис результатів експериментальних досліджень шляхом порівняння отриманих значень метрик якості з результатами аналогічних сучасних досліджень інших авторів, що дозволило б більш переконливо обґрунтувати переваги запропонованих методів та інформаційної технології відносно існуючих підходів.

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

### **8. Висновок про дисертаційну роботу**

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, ознайомившись із науковими публікаціями та дисертацією О.В. Казимиренка, відзначаю відсутність порушень академічної доброчесності.

Вважаю, що дисертація О.В. Казимиренка на тему «Нейромережеве розпізнавання об'єктів транспорту на аерокосмічних зображеннях» подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» є завершеним науковим дослідженням, яке вирішує актуальну задачу підвищення ефективності інтелектуального розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої роздільної здатності, в умовах змін масштабу, просторової орієнтації об'єктів та варіативних умов зйомки. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені наказом МОН України №40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) 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 від 12 січня 2022 р. №44. Здобувач Казимиренко Олександр Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

#### **Рецензентка:**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних технологій  
та комп'ютерної інженерії  
Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка»

Катерина СЕРГЄЄВА