

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

**В І Д Г У К**

офіційного рецензента

доктора технічних наук, доцента

**Коряшкіної Лариси Сергіївни**

на дисертаційну роботу

**Казимиренка Олексія Володимировича**

за темою: «Нейромережеве розпізнавання об'єктів транспорту на аерокосмічних зображеннях», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології галузі знань 12 Інформаційні технології

**Актуальність роботи.** Сучасні аерокосмічні системи спостереження формують зображення високої та надвисокої просторової роздільної здатності, які широко застосовуються для моніторингу транспортної інфраструктури, управління дорожнім рухом, оперативного реагування на надзвичайні ситуації. Такі дані забезпечують швидкий аналіз значних територій, отримання об'єктивної інформації про розміщення та технічний стан транспортних засобів. У сучасних дослідженнях для автоматизованого виявлення об'єктів на аерокосмічних зображеннях активно застосовують методи глибинного навчання, які демонструють високу точність виявлення об'єктів. Проте суттєвими ускладненнями залишаються довільна просторова орієнтація транспортних засобів, варіативність їх масштабів, складний фон і тіньові ефекти, що знижують результативність традиційних підходів, заснованих на використанні прямокутних обмежувальних рамок. За таких умов локалізація та коректна ідентифікація об'єктів транспорту залишаються науково-прикладною проблемою. Розроблені в дисертаційній роботі методи та інформаційна технологія спрямовані на підвищення точності та надійності розпізнавання транспортних засобів із різною орієнтацією на аерокосмічних знімках, що підтверджує актуальність і практичну значущість дисертації Казимиренка Олексія Володимировича.

**Наукові результати та їх новизна.** Отримані наукові результати розв'язують актуальну науково-прикладну 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.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) запропоновано комплексний багатокомпонентний підхід до виявлення та класифікації об'єктів транспорту довільної орієнтації та масштабу на аерокосмічних зображеннях високої роздільної здатності, що ґрунтується на інтеграції просторової нормалізації ознак, виділення областей інтересу, багатомасштабного представлення ознак та семантичної сегментації в єдиній нейромережевій архітектурі;

2) розроблено інформаційну технологію нейромережевого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності на основі запропонованої архітектури глибоких нейронних мереж, яка забезпечує розпізнавання транспортних засобів довільного розташування на різночасових знімках, скорочення часу навчання моделей і обробки даних.

В роботі удосконалено:

– архітектуру нейромережевого детектора об'єктів (YOLOv11) з підтримкою орієнтованих обмежувальних рамок на основі багатомасштабного представлення ознак та їх адаптивної агрегації, що забезпечує підвищення точності виявлення та локалізації транспортних засобів у складних сценах на аерокосмічних зображеннях;

– методи автоматизованого виявлення транспортних засобів на аерокосмічних знімках шляхом поєднання класичних алгоритмів виділення ознак із сучасними нейромережевими моделями, що забезпечує стійкість до змін освітленості, контрастності та спектральної неоднорідності (Precision – 99,5%, Recall – 96,8%, F1 Score – 98,1%);

– підходи до підготовки та навчання нейромережових моделей на комбінованих наборах даних (DOTA та спеціалізовані аерофотозображення) із використанням аугментації та спеціальних функцій втрат, що зменшує вплив дисбалансу класів та підвищує якість виявлення об'єктів різних розмірів (mAP – 96,8%, OBB IoU – 98,5%);

– методику формування анотованих наборів даних із використанням орієнтованих обмежувальних рамок, що мінімізує вплив фону та забезпечує коректне навчання моделей, підвищує точність виявлення об'єктів (на спеціалізованому наборі даних: точність = 100%, FP = 0, Recall = 95,5%).

Набули подальшого розвитку:

- метод семантичної сегментації аерокосмічних зображень на основі глибоких згорткових нейронних мереж та функції втрат типу Dice, адаптованих до задач виділення транспортних засобів;
- комплексний підхід до автоматизованого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності, що поєднує багатомасштабне представлення ознак, сегментацію контексту та орієнтоване виявлення об'єктів і забезпечує підвищення точності розпізнавання транспортних засобів у складних сценах.

### **Практичне значення та практична цінність отриманих результатів.**

Дисертаційну роботу Казимиренка Олексія Володимировича виконано на кафедрі інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні інформаційної технології нейромережевого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях, яка забезпечує інтеграцію багатомасштабного аналізу ознак, виявлення об'єктів та їхню орієнтацією, семантичну сегментацію контекстуальної інформації та графічні засоби візуалізації результатів з оцінюванням ефективності розпізнавання та мінімізацією витрат часових і обчислювальних ресурсів. Технологія включає:

- розроблений метод просторово-орієнтованого розпізнавання транспортних засобів із використанням нейромережевих моделей YOLOv11-OBV та DeepLab з ResNet-101, що забезпечує високу точність локалізації та класифікації об'єктів різного масштабу та орієнтації у складних сценах;
- розроблену автоматизовану систему обробки та аналізу аерокосмічних зображень, яка включає передобробку, сегментацію, орієнтоване виявлення транспортних засобів і оцінювання результатів за метриками Precision, Recall, F1 Score, *mAP*, OBV IoU, що забезпечує ефективне застосування технології для задач моніторингу транспортної інфраструктури.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у практику роботи «Дніпрокосмос» філії Національного центру управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України, в освітній процес НТУ «Дніпровська політехніка».

### **Оцінка змісту, ступеню завершеності та обґрунтованості положень дисертації.**

У *вступі* визначено актуальність теми, сформульовано мету і задачі дослідження, подано наукову новизну та практичне значення результатів. Наявна інформація про публікації та апробацію результатів досліджень.

В першому розділі проаналізовано сучасний стан аерокосмічного моніторингу та методів обробки зображень високої роздільної здатності. Виявлено недоліки існуючих підходів, зокрема машинного навчання, обґрунтовано необхідність розробки інформаційної технології для просторово-орієнтованого розпізнавання транспорту.

В другому розділі запропоновано та розроблено методи семантичної сегментації на базі архітектури DeepLab (ResNet) із використанням функції втрат Dice. Запропоновано модифіковану архітектуру YOLOv11 з орієнтованими обмежувальними рамками, що дозволяє ефективно локалізувати об'єкти в умовах щільної забудови та складного фону.

В третьому розділі розроблено багатокomпонентну інформаційну технологію розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних знімках, яка інтегрує Backbone Network та Spatial Transformer Network. Описано програмну реалізацію додатку.

Четвертий розділ присвячено експериментальній апробації розробленої інформаційної технології. Автором сформовано спеціалізований набір даних на основі знімків камери SONY DSC-WX220 із застосуванням тайлінгу 200x 200 пікселів для мінімізації впливу складного фону. Наведено результати порівняльного аналізу розробленого, класичних та сучасних нейромережових підходів щодо локалізації об'єктів, які підтверджують високу стабільність та коректність роботи створеної інформаційної технології.

**Повнота викладення результатів дисертації в наукових виданнях.** За результатами досліджень опубліковано 9 наукових праць, з яких чотири статті – у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань України, три з них – категорії А (індексуються у НМБД 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.

Повний обсяг роботи складає 168 сторінок, з яких 150 сторінок – основний текст. Список використаних джерел містить 142 найменування.

**Оформлення дисертації та дотримання вимог академічної доброчесності.** Дисертація написана науково правильною мовою на високому технічному рівні з використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 126 – Інформаційні системи та технології, галузі 12 – Інформаційні технології.

Усі наукові та практичні результати отримані здобувачем особисто, про що надає змогу стверджувати аналіз змісту роботи та опублікованих наукових праць. В роботі не виявлено текстових запозичень та використання наукових результатів науковців без посилань на відповідні джерела.

Наявний звіт про результати перевірки на академічний плагіат дисертації свідчить про відсутність порушень академічної доброчесності.

### **Зауваження до дисертації:**

1. У першому розділі при огляді методів автор зазначає обмеженість класичних алгоритмів (контурний аналіз, шаблонні методи) щодо точності розпізнавання. Проте у роботі недостатньо висвітлено питання обчислювальних витрат, необхідних для функціонування нейромережових моделей. Доцільно було б здійснити порівняння класичних і нейромережових підходів не лише за точністю розпізнавання, а й за швидкістю та вимогами до обчислювальних ресурсів, зокрема в умовах обмеженої продуктивності апаратного забезпечення.

2. У другому розділі (п. 2.5) запропоновано поєднання контурної обробки з використанням моделі YOLOv8m для розпізнавання літаків. Проте у роботі недостатньо обґрунтовано вибір саме цієї архітектури, адже для розпізнавання автомобілів застосовано більш сучасну модифікацію YOLOv11-OBV. Доцільно було б подати порівняльний аналіз або аргументацію щодо вибору різних версій моделей для різних типів транспортних засобів.

3. На с. 79 автор аналізує обмеження архітектури YOLOv11-OBV, посилаючись на результати експериментальних досліджень, хоча їхній детальний опис наведений лише у четвертому розділі. Це створює певну логічну передчасність у викладі матеріалу, оскільки висновки передують повному опису проведених випробувань. В табл. 3.2 варто було б вказати позначки метрик або номери формул, за якими вони розраховуються, якщо такі наведено вище.

4. У підрозділі 3.4 автор описує впровадження сервіс-орієнтованого підходу, зокрема модуля Logging & Transfer, для передачі результатів обробки до хмарного сховища. Але у четвертому розділі під час оцінювання швидкодії роботи інформаційної технології (0,09–6,39 с) не враховано можливі часові затримки, пов'язані з передачею даних мережею. Доцільно було б уточнити, чи включає наведена оцінка повний цикл функціонування системи, або ж доповнити аналіз урахуванням мережових затримок, що є важливим для систем моніторингу, які працюють у режимі реального часу.

Наведені зауваження не знижують високий науковий рівень та практичну цінність дисертаційної роботи, суттєво не впливають на її загальну позитивну оцінку.

**Висновок про відповідність дисертації вимогам, які пред'являються до наукового ступеня доктора філософії.** Дисертація Казимиренка Олексія Володимировича «Нейромережеве розпізнавання об'єктів транспорту на аерокосмічних зображеннях» є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертаційній роботі автором було вирішено актуальну науково-прикладну 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.

Тема і зміст роботи відповідають спеціальності 126 – Інформаційні системи та технології, а наукові та практичні результати, отримані в дисертаційній роботі, є значущими для галузі знань Інформаційні технології.

Вважаю, що дисертація Казимиренка Олексія Володимировича відповідає вимогам «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 та вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а її автор, Казимиренко Олексій Володимирович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 – Інформаційні системи та технології.

Офіційний рецензент –  
доктор технічних наук, доцент,  
професор кафедри системного аналізу  
та управління Національного технічного  
університету «Дніпровська політехніка»

Лариса КОРЯШКІНА