

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, старшого дослідника

ПЕСТОВОЇ Ірини Олександрівни

на дисертаційну роботу **САПРИКІНА Євгена Юрійовича** на тему
«МЕТОДИКА ВИЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ КОМПАКТНИХ ОБ'ЄКТІВ
НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСУВАННЯ ДАНИХ АЕРОЗНІМАННЯ РІЗНОЇ
ФІЗИЧНОЇ ПРИРОДИ»

яку представлено на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
за спеціальністю 172 – Електронні комунікації та радіотехніка

1. Актуальність теми досліджень. Сучасний етап розвитку дистанційного зондування Землі характеризується активним впровадженням безпілотних літальних апаратів і методів машинного та глибокого навчання для вирішення прикладних задач моніторингу, безпеки та цивільного захисту. Однією з найбільш складних і соціально значущих задач є виявлення малорозмірних компактних об'єктів, зокрема поверхневих мін.

Існуючі підходи до виявлення таких об'єктів, як правило, мають обмеження, пов'язані з використанням окремих типів сенсорів, особливостями середовища, недостатньою кількістю спеціалізованих навчальних даних та складністю надійного виявлення малорозмірних об'єктів. Тому актуальною є розробка методик, що поєднують дані різної фізичної природи та результати їх обробки з метою підвищення достовірності виявлення.

У зв'язку з цим тема дисертаційного дослідження Саприкіна Є.Ю. є актуальною та своєчасною. Метою роботи визначено підвищення достовірності виявлення та класифікації малорозмірних компактних об'єктів, а саме поверхневих мін, за матеріалами знімання з БПЛА.

2. Методи дослідження

У роботі використано сучасний комплекс методів дослідження, зокрема:

- методи глибокого навчання із застосуванням згорткових нейронних мереж архітектури YOLO;
- методи передавального навчання та тонкого налаштування нейронних мереж;
- методи прискореного навчання (few-shot learning);
- методи статистичного виявлення аномалій;
- методи теорії ймовірностей, зокрема байєсівське злиття ймовірностей;
- методи математичної статистики для обробки результатів експериментальних досліджень та оцінювання достовірності виявлення об'єктів.

Застосований методичний апарат є адекватним поставленій меті та завданням дослідження і відповідає сучасному рівню розвитку методів обробки даних дистанційного зондування Землі та машинного навчання.

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертаційній роботі отримано низку нових наукових результатів.

Вперше розроблено цілісну методику виявлення малорозмірних компактних об'єктів на основі комплексування даних аерознімання різної фізичної природи. Методика передбачає використання даних аерознімання у видимому діапазоні, теплового аерознімання та авіаційної магнітометрії, а також адаптованих до відповідних типів даних методів машинного, глибокого та статистичного навчання. Для комплексування результатів виявлення, отриманих різними сенсорами, запропоновано використання байєсівського злиття ймовірностей. При цьому в межах методики обґрунтовано критерії вибору та пріоритизації сенсорів залежно від характеристик об'єктів, середовища, джерел перешкод і хибних тривог, розвитку сенсорів і методів машинного навчання, а також наявності навчальних даних.

Удосконалено модель передавального навчання згорткової нейронної мережі з урахуванням особливостей мін як об'єктів виявлення шляхом оптимізації кількості незмінних шарів базової мережі та кількості епох донавчання з урахуванням вибору базового й цільового наборів даних. Застосування такого підходу дозволило підвищити показник mAP50 з 0,316 до 0,983 за однакових базового та цільового датасетів.

Удосконалено підхід до формування та використання навчальних даних для задачі виявлення мін за рахунок поєднання спеціалізованих датасетів, сформованих за даними аерознімання з БПЛА, з великими наборами даних загального призначення, а також застосування аугментації та передавального навчання. Розроблено підхід до мінімізації необхідного обсягу навчальних даних і часу навчання, що забезпечує можливість швидкого ітеративного донавчання детектора під час розширення набору об'єктів для виявлення.

Подальшого розвитку набуло статистичне виявлення малорозмірних об'єктів за даними аерознімання. Експериментальним шляхом визначено просторову розрізненність, достатню для впевненого виявлення поверхневих мін, та встановлено її зв'язок із параметрами аерознімання. Зокрема, для міни ПФМ1 «Пелюстка» продемонстровано можливість виявлення об'єкта розміром 18×10 пікселів при просторовій розрізненності близько 6 мм/піксель та висоті знімання близько 10 м.

4. Теоретичне та практичне значення результатів

Дисертаційна робота має як теоретичне, так і значне практичне значення.

Теоретичне значення роботи полягає у розвитку методичних підходів до виявлення малорозмірних компактних об'єктів за даними сенсорів різної

фізичної природи, а також у розвитку методів комплексування результатів їх обробки на основі ймовірнісного представлення інформації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні методики, яка дозволяє підвищити достовірність виявлення мін шляхом комплексування RGB-, теплових та магнітометричних даних, зменшити вимоги до обсягу спеціалізованих навчальних даних завдяки передавальному навчанню та сформувавши рекомендації щодо параметрів аерознімання БПЛА. Для комплексування результатів різних сенсорів продемонстровано можливість підвищення достовірності в складних випадках у середньому з 0,2 до 0,8.

Практична цінність роботи полягає також у створенні власних датасетів RGB- та теплових аерозображень реальних мін, тренуванні набору нейронних мереж із різними параметрами та обґрунтуванні архітектури єдиної геоінформаційної платформи для підтримки наскрізного процесу виявлення мін із БПЛА.

Методика може бути застосована для задач гуманітарного розмінування, дистанційного моніторингу територій, цивільного захисту та в геоінформаційних системах обробки даних дистанційного зондування Землі.

5. Використання результатів роботи

У роботі надано рекомендації щодо вибору та пріоритизації сенсорів залежно від характеристик об'єктів і умов середовища, формування навчальних датасетів, параметрів передавального навчання, застосування комплексування результатів різних сенсорів та інтеграції результатів у геоінформаційну платформу.

Запропоновані рішення можуть бути використані під час створення практичних систем дистанційного виявлення та картографування мін та інших вибухонебезпечних предметів із застосуванням БПЛА.

6. Особиста участь автора

Основні результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. Результати спільних досліджень відображені у публікаціях із зазначенням особистого внеску автора.

Автором здійснено розроблення та адаптацію методів глибокого навчання, підготовку та обробку навчальних даних, тренування і тестування нейронних мереж, розроблення та апробацію підходів до комплексування даних різної фізичної природи, проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення отриманих результатів. Особистий внесок автора у відповідні наукові публікації наведено в дисертації.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 13 наукових праць, у тому числі 1 глава у монографії; у закордонних фахових виданнях – 2 статті (з них 2 проіндексовані в наукометричній базі Scopus); статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорія А – 1 стаття; категорія Б – 4 статті; 5 публікацій у

збірниках та матеріалах тез доповідей вітчизняних та міжнародних конференціях, з яких 3 проіндексовані в наукометричній базі Scopus. За результатами роботи також отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму та подано заявку на патент України на винахід.

7. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків і є логічно структурованою, завершеною та цілісною науковою працею. Загальний обсяг роботи становить 140 сторінок, з яких 90 сторінок припадає на основний текст; робота містить 36 рисунків, 11 таблиць та 4 додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено використані методи, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Мета і завдання дослідження відповідають змісту роботи.

У першому розділі виконано аналіз сучасних сенсорів і методів виявлення малорозмірних компактних об'єктів за даними аерознімання. Розглянуто оптичні та теплові камери, бортові магнітометри, статистичні методи, згорткові нейронні мережі та методи виявлення аномалій.

Другий розділ присвячено розробленню методів виявлення об'єктів за даними різної фізичної природи, зокрема із застосуванням згорткових нейронних мереж, передавального навчання, статистичного виявлення аномалій та магнітометричних даних. Окрему увагу приділено підходам до комплексування результатів сенсорів.

У третьому розділі представлено розроблену методику виявлення малорозмірних компактних об'єктів. Описано модульну структуру методики, аналіз доцільності застосування сенсорів, формування датасетів, передавальне навчання, використання магнітометрії та геоінформаційну платформу.

Четвертий розділ містить результати експериментального дослідження ефективності розробленої методики. Дослідження проведено із трьома типами даних різної фізичної природи — RGB-зображеннями, тепловими зображеннями та магнітометричними даними. Загалом використано 1000 RGB-аерозображень окремих мін, 300 теплових аерозображень та 30 наборів магнітометричних даних.

Проведено дослідження впливу кількості епох навчання, кількості фіксованих шарів, вибору базового датасету та архітектури нейронної мережі на якість виявлення. Показано можливість отримання високих показників якості виявлення, зокрема mAP50 до 0,983 та recall, що дорівнює 1 для окремих конфігурацій моделей.

Окремо досліджено можливість виявлення найменших із розглянутих об'єктів. Показано, що за просторової розрізненності близько 6 мм/піксель та

висоти знімання близько 10 м нейромережа YOLOv11 забезпечує виявлення міни ПФМ1 «Пелюстка» розміром на зображенні 18×10 пікселів.

Висновки дисертації є логічними, обґрунтованими та відповідають поставленим завданням. Отримані результати узгоджуються зі змістом проведених теоретичних та експериментальних досліджень.

Дисертаційна робота містить результати власних досліджень автора, а використані ідеї, результати та тексти інших авторів супроводжуються відповідними посиланнями на джерела.

8. Зауваження до роботи

Дисертаційна робота містить окремі дискусійні положення:

1. У роботі експериментально визначено орієнтовну просторову розрізненність, за якої забезпечується виявлення найменших із досліджуваних мін, та наведено відповідний приклад для висоти знімання близько 10 м. Водночас залежність між необхідною просторовою розрізненністю, висотою польоту, характеристиками конкретного сенсора та розмірними параметрами об'єкта могла б бути формалізована більш детально. Це дозволило б безпосередньо використовувати отримані результати для розрахунку параметрів польоту майбутніх місій БПЛА для різних типів сенсорів та об'єктів.

2. Обмежений порівняно з RGB обсяг теплових аерозображень впливає на повноту оцінювання ефективності запропонованих методів для цього типу даних. У дисертації використано 300 теплових аерозображень, тоді як для RGB-даних сформовано значно більший набір – 1000 зображень. Подальше розширення датасету теплових аерозображень та його випробування на різних типах мін і в різних умовах знімання дозволило б підвищити обґрунтованість відповідних узагальнень.

Зазначені зауваження не знижують загальної наукової цінності роботи та не впливають на позитивну оцінку отриманих результатів.

ВВАЖАЮ, що дисертаційна робота САПРИКІНА Євгена Юрійовича на тему «Методика виявлення малорозмірних компактних об'єктів на основі комплексування даних аерознімання різної фізичної природи», подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем, практичною цінністю, змістом та оформленням відповідає 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, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44, відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми Державної установи «Науковий центр

аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України» зі спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка та може бути рекомендована для представлення до захисту на разовій спеціалізованій вченій раді.

Рецензент,

к.т.н., ст. дослідник,

завідувачка лабораторій методів обробки

даних дистанційного зондування Землі

при відділі геопросторового моделювання

в аерокосмічних дослідженнях Державної установи

«Науковий центр аерокосмічних досліджень

Землі Інституту геологічних наук

Національної академії наук України»



Ірина ПЕСТОВА

20.08.2026 р.

Підпис Ірини ПЕСТОВОЇ засвідчую

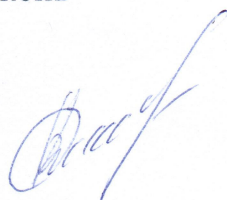
учений секретар Державної установи

«Науковий центр аерокосмічних досліджень

Землі Інституту геологічних наук

Національної академії наук України»

к.т.н., ст. дослідник



Анна ХИЖНЯК