

В І Д Г У К

доктора технічних наук, професора СИНЄГЛАЗОВА Віктора Михайловича
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

Актуальність теми дисертації

Виявлення малорозмірних компактних об’єктів включає в себе широкий спектр задач дистанційного зондування земної поверхні. Залежно від висоти і засобу знімання значне різноманіття об’єктів пошуку – від великогабаритної техніки до протипіхотних мін – може бути представлене як малі компактні об’єкти. Тож у загальному формулюванні тема дисертації вже є актуальною. Ще більш актуальною є конкретна задача, яку ставить перед собою дана робота, а саме виявлення поверхневих мін.

Слід відзначити дві паралельні тенденції у методах виявлення об’єктів – це розширення переліку сенсорів, що застосовуються, і дедалі ширше застосування методів машинного, і у тому числі глибокого навчання. Водночас більшість публікацій зосереджується на удосконаленні виявлення за допомогою конкретного сенсора, а досліджень комплексного підходу із застосуванням камер і сенсорів різної фізичної природи поки що недостатньо. Також рідко можна зустріти в одній роботі порівняння доцільності застосування глибокого навчання для різних типів даних і опис різниці у підходах в роботі з ними. Дана робота націлена на заповнення цієї прогалини на прикладі актуальної теми виявлення наземних мін. Актуальним для багатьох задач є і досвід застосування глибокого навчання у ситуації дефіциту навчальних даних.

Представлені дослідження виконані у рамках науково-дослідної роботи за темою *«Розроблення програмно-апаратних засобів дистанційного виявлення вибухонебезпечних предметів за допомогою сенсорів різної фізичної природи та*

створення прототипу комплексу для картування замінованих територій на основі БПЛА коптерного типу» Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук згідно з планами Національної академії наук України.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Розроблені автором і викладені у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації мають достатній рівень обґрунтованості. Проведено детальний аналіз методів виявлення та класифікування об'єктів на аерозображеннях та підходів до застосування машинного навчання. Розглянуто основні підходи до виявлення і класифікації об'єктів, а саме методи статистичного виявлення аномалій та методи глибокого навчання. Обґрунтовано, що для виявлення поверхневих мін на зображеннях видимого діапазону та теплових зображеннях доцільно використовувати виявлення й класифікацію за допомогою згорткових нейронних мереж, а для даних магнітометрії – статистичні методи виявлення аномалій. Для RGB-зображень мін, враховуючи їх подібність до побутових предметів, доцільно використовувати трансферне навчання на базі великих датасетів загального використання. Результати виконаних досліджень спираються на відомі досягнення у предметній галузі та не суперечать теоретичним закономірностям, відомим фактам та загальноприйнятим уявленням.

Достовірність одержаних результатів

Достовірність сформульованих висновків забезпечується коректним застосуванням раніше апробованих методів дослідження та загальновживаних метрик оцінки результативності виявлення і класифікації засобами машинного навчання. Результати експериментальних досліджень добре збігаються з теоретичними викладками. Отримані результати узгоджуються з відомими результатами та висновками інших дослідників та відомими закономірностями, що підтверджує правильність трактування отриманих даних.

Наукова новизна та важливість результатів

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

Вперше розроблено методику виявлення малорозмірних компактних об'єктів на основі комплексування даних аерознімання різної фізичної природи. Методика використовує раціональний набір сучасних методів машинного та глибокого навчання для виявлення мін, розташованих на земній поверхні, за даними звичайного RGB-аерознімання, аерознімання в інфрачервоному тепловому діапазоні та авіаційної магнітометрії. Передбачається, що всі датчики, залучені в межах методики, розташовуються на борту кількох легких БПЛА коптерного типу. Видові дані аерознімання аналізуються адаптованими до їх різновидів нейромережами, а магнітометричні вимірювання – шляхом статистичного виявлення аномалії сигналу магнітометра над магнітним фоном. Виконується статистичне злиття ймовірностей виявлення цільових об'єктів, що забезпечує підвищення результуючої достовірності їх виявлення. Взаємодія всіх задіяних апаратних і програмних засобів здійснюється в межах єдиної геоінформаційної платформи, архітектуру якої обґрунтовано. Застосування розробленої методики забезпечує можливість виявлення мін на аерозображеннях видимого діапазону за допомогою згорткових нейромереж із показниками повноти $R = 1$ та $mAP50 = 0,983$, та впевнене підвищення достовірності у складних умовах виявлення до 0,8 при комплексуванні результатів сенсорів різної фізичної природи.

Удосконалено модель донавчання згорткової нейромережі з урахуванням особливостей мін як об'єктів виявлення, а саме: з урахуванням ступеня представлення розпізнавальних ознак цільових об'єктів у шарах основи базової пренавченої нейромережі (що залежить від вибору базового датасету), трансферне навчання пренавченої нейромережі відбувається із попередньо підібраними оптимальними значеннями таких гіперпараметрів, як кількість незмінних шарів основи та кількість епох донавчання. Таке удосконалення моделі донавчання дозволило покращити достовірність виявлення мін на

аерозображеннях, що характеризується збільшенням показника $mAP50$ з 0,316 до 0,983 за тих самих базового та цільового датасетів.

Подальшого розвитку набуло статистичне виявлення об'єктів на аерокосмічних зображеннях. Експериментальним шляхом визначено кількість пікселів, достатню для впевненого виявлення компактного об'єкта неймережею архітектури YOLO. Результат адаптовано для виявлення поверхневих мін різної форми. Визначення потрібної піксельної розрізненості дозволяє більш ґрунтовно визначати параметри польоту БПЛА під час виявлення поверхневих мін за допомогою різних бортових сенсорів і тим самим підвищити загальну продуктивність аерознімання за збереження достовірності.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Аргументування та критичність оцінки запропонованих автором рішень порівняно з відомими

Метою дослідження є підвищення достовірності виявлення і класифікації малорозмірних компактних об'єктів, а саме поверхневих мін, на земній поверхні за матеріалами знімання з БПЛА.

Об'єктом дослідження є дані аерознімання малорозмірних компактних об'єктів, отримані від RGB, інфрачервоних камер та бортових магнітометрів.

Предметом дослідження є методи та алгоритми виявлення малорозмірних компактних об'єктів за комбінацією даних аерознімання різної фізичної природи.

Для досягнення поставленої мети у роботі розв'язано такі часткові наукові завдання:

1) Проведено аналіз методів виявлення й класифікації компактних об'єктів на аерозображеннях, а також їхніх переваг і недоліків.

2) Проведено аналіз властивостей архітектур неймереж, що застосовуються для виявлення і класифікування компактних об'єктів, здійснити вибір архітектури.

3) Проведено аналіз властивостей доступних навчальних наборів зображень загального користування та цільових.

4) Оцінено можливості використання попередньо навчених мереж разом з донавчанням на обмежених наборах даних.

5) Створено дослідні набори даних різної фізичної природи – оптичні, теплові, магнітометричні.

6) Розроблено методику, що використовує сучасні архітектури нейромереж, набори даних загального користування, обмежені цільові набори даних і комплексує ймовірнісний результат, отриманий з обробки даних різної фізичної природи.

7) Експериментально перевірено розроблену методику, порівняно досягнуту достовірність виявлення малорозмірних компактних об'єктів з відомими методами.

8) Надано рекомендації щодо можливостей і сфер подальшого використання розробленої методики.

Практична значимість та важливість для галузі

За результатами експериментальних досліджень розроблена методика продемонструвала можливість досягнення для нейромережі архітектури YOLO показника **повноти** (*recall*) виявлення мін, рівного 1, для аерозображень, отриманих з висоти польоту БПЛА 10 м, і показника *mAP50* 0,994 для виявлення і класифікації мін. Для комплексування результатів різних сенсорів, а саме – аерозображень видимого діапазону, теплових аерозображень і магнітометричних даних, продемонстровано можливість покращення достовірності в складних випадках у середньому з 0,2 до 0,8. Досягнуто можливості донавчання нейромережі із середньою кількістю навчальних епох 23, що дає змогу швидко розширити набір об'єктів виявлення і класифікації. Обґрунтовано архітектуру єдиної геоінформаційної платформи для підтримки наскрізного процесу виявлення мін з БПЛА. Створено власні датасети RGB та

теплових аерозображень реальних мін, натреновано набір нейромереж із широким спектром варіацій кількості епох і фіксації шарів.

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.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, чітко сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Поставлені задачі є взаємопов'язаними та повністю розкриваються у змісті дисертації.

У першому розділі виконано ґрунтовний аналіз сучасних методів виявлення малорозмірних об'єктів за даними аерознімання, включаючи оптичні, теплові та магнітометричні підходи. Показано, що використання лише одного типу сенсорів не забезпечує необхідного рівня достовірності, що обґрунтовує доцільність комплексування даних.

Другий розділ присвячений розробці підходів до виявлення об'єктів із застосуванням згорткових нейронних мереж. Обґрунтовано вибір архітектури сімейства нейромереж YOLO, описано процес формування навчальних і тестових датасетів (понад 600–1000 зображень для кількох типів мін), а також застосування трансферного навчання. Показано, що використання передавального навчання дозволяє скоротити необхідну кількість епох навчання до 15–25, що є суттєво меншим порівняно з типовими значеннями (~100 епох) і відповідає концепції few-shot learning.

У третьому розділі представлено розроблену методику виявлення малорозмірних компактних об'єктів на основі комплексування даних різної фізичної природи. Детально описано підхід до інтеграції результатів за допомогою байєсівського злиття ймовірностей. Показано, що в складних умовах (камуфлювання, завади) застосування комплексування дозволяє

підвищити достовірність виявлення з рівня близько 0,15–0,2 до 0,8, що є суттєвим практичним результатом.

Четвертий розділ містить результати експериментальних досліджень, які є достатньо повними та переконливими. Проведено аналіз впливу гіперпараметрів навчання (кількість епох, кількість фіксованих шарів), типу базового датасету та архітектури нейромережі на якість виявлення. Показано, що в результаті оптимізації значення показника *mAP50* зростає з початкових значень близько 0,27–0,55 до 0,98–0,99, а показник повноти (recall) досягає значення 1 для окремих конфігурацій.

Окремо продемонстровано ефективність роботи з реальними аерозображеннями: донавчена модель нейромережі забезпечує приріст кількості виявлених об'єктів до 25% порівняно з базовою моделлю. Також встановлено граничні умови просторової розрізненості (близько 6 мм/піксель), за яких можливе надійне виявлення навіть найменших об'єктів (наприклад, міни розміром 18×10 пікселів).

Результати дослідження підтверджують, що застосування потужніших базових датасетів дозволяє отримати більш збалансовані результати, а вплив даних у багатьох випадках є визначальним порівняно з вибором архітектури нейромережі.

Висновки дисертації є логічними, обґрунтованими та повністю відповідають поставленим задачам.

Дисертаційна робота характеризується високим рівнем узгодженості між розділами, логічною послідовністю викладення матеріалу та завершеністю отриманих результатів.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям 172 - Електронні комунікації та радіотехніка в частині виявлення та класифікування об'єктів на аеро- та космічних зображеннях.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 “Про затвердження вимог до оформлення дисертації”.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Саприкіна Євгена Юрійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Оцінка мови та стилю дисертації

Дисертаційна робота написана українською мовою. Мова та стиль викладення дисертації дозволяють цілком зрозуміти суть розроблених наукових положень та одержаних практичних результатів. Структура роботи є продуманою та логічною, всі розділи дисертації мають внутрішню єдність та змістову завершеність. З огляду на предметну область дослідження, вживані терміни є загальноприйнятими, а їх використання – досить коректним. Отримані підсумкові результати досліджень, висновки та рекомендації повністю узгоджуються із метою роботи та науковими завданнями, зазначеними у вступі. Таким чином, дисертаційна робота є добре структурованою, логічною та завершеною науковою працею.

Підтвердження повноти викладу результатів дисертації в наукових фахових виданнях

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 базі даних Scopus); статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорія *A* – 1 стаття; категорія *B* – 4 статті; 5 публікацій у збірниках та матеріалах тез

доповідей вітчизняних та міжнародних конференціях, з яких 3 проіндексовані в наукометричній базі Scopus.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційного дослідження

1. Є чітка визначеність малорозмірних об'єктів, міні для зображень, отриманих з БПЛА не можуть вважатися мілко розмірними.
2. Недостатньо розкрито новизну методики з точки зору виявлення мін в пластмасових корпусах.
3. В роботі не розглянуто питання хибних артефактів та можливих хибних спрацювань.
4. Введено новий термін - авіаційна магнітометрія. Спираючись на це можливо вводити термін автомобільна магнітометрія і т.д.
5. Не вказано яким чином в рамках трансферного навчання обирається навчальна вибірка із іншого домену для переднавчання.
6. Недостатньо розкрито спосіб підбору гіперпараметрів при машинному навчанні.
7. Недостатньо висвітлено спосіб визначення кількості пікселів, достатніх для впевненого виявлення компактного об'єкта нейромережею архітектури YOLO.
8. Не зрозуміло, чи враховує методика погодні умови.
9. Потребує додаткового обґрунтування твердження, що для прихованих мін теплові зображення є головним універсальним джерелом інформації.
10. Не можна погодитися з автором відносно його негативної оцінки використання інтелектуальних методів обробки гіперспектральних, мультиспектральних зображень.

Висновки

За результатами вивчення дисертаційної роботи Саприкіна Є.Ю., та опублікованих ним наукових праць за темою дисертації можна зробити висновок, що робота є завершеним кваліфікаційним науковим дослідженням. Наукові результати в повному обсязі розкривають шляхи вирішення наукового завдання, а саме розробки методики виявлення компактних об'єктів, заснованої на використанні даних різної фізичної природи, одержуваних з БПЛА, і методах машинного навчання.

За своїм змістом та одержаними результатами робота, незважаючи на зауваження, задовольняє вимогам пунктів 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 № 44, а її оформлення відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. “Про затвердження Вимог до оформлення дисертації” (зі змінами від 12.07.2019 р.), а її автор Саприкін Євген Юрійович заслуговує присудження ступеня доктора філософії у з галузі знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації за спеціальністю 172 – Електронні комунікації та радіотехніка.

Опонент

заступник директора

Інституту прикладного системного аналізу

НТУУ “КПІ імені І. Сікорського”

доктор технічних наук, професор

24 липня 2026 року

Підпис В.Синєглазова засвідчую

Віктор СИНЕГЛАЗОВ



Посада особи, що може засвідчити Ваш підпис _____
(підпис)

(власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)