

## ВІДГУК

доктора технічних наук, професора ЗАЦЕРКОВНОГО Віталія Івановича  
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**

Дисертацію присвячено виявленню малорозмірних компактних об’єктів, а саме – поверхневих мін, за матеріалами аерознімання з малорозмірних безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Ця задача є дедалі більш актуальною через те, що стрімко розвиваються технології дистанційного мінування за допомогою роботизованих платформ та БПЛА. Задача виявлення підповерхневих мін також залишається актуальною, але має бути відокремлена через те, що потребує іншого набору сенсорів і методів, ніж використані в дисертації. При цьому логіка побудови методики для різних умов виявлення об’єктів може бути спільною, а відрізнитися повинні її складові – сенсори, різних фізичних принципів і методи виявлення. Водночас більшість сучасних публікацій робить акцент на виявленні наземних мін за допомогою окремих камер або сенсорів тих чи інших фізичних принципів, наприклад магнітометрів або георадарів. Також наявні оглядові публікації, що підсумовують і порівнюють результативність різних сенсорів і методів. Найменше представлено робіт, що містять опис цілісної методики комплексування результатів різних камер і сенсорів для конкретних умов виявлення. Дана дисертаційна робота має на меті частково компенсувати брак таких досліджень, тому вона є актуальною і своєчасною.

### **Зв’язок з науковими програмами та темами**

Дисертація виконана у рамках конкурсної 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, шифр НЦАДЗ-2024/1 (№ 0121U000075д) за Цільовою науково-технічною програмою оборонних досліджень НАН України на 2020-2024 рр.

### **Наукова обґрунтованість та достовірність положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Розроблені автором і викладені у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації мають достатній рівень обґрунтованості. Дисертантом опрацьовано і проаналізовано широкий спектр досліджень, присвячених як застосуванню сенсорів різних фізичних принципів для виявлення об'єктів, так і методам машинного і глибокого навчання, що застосовуються в необхідній для цього обробці даних. Результати виконаних досліджень спираються на передові досягнення у розпізнаванні образів, машинному навчанні і комплексуванні даних, та не суперечать теоретичним закономірностям, відомим фактам та загальноприйнятим уявленням про виявлення малорозмірних компактних об'єктів. Висновки та рекомендації автора є логічними і впливають із результатів проведеного об'єктивного аналізу, отриманих експериментально – шляхом проведення серії процедур розпізнавання реальних поверхневих мін та визначення показників точності виявлення та класифікації. Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів дослідження, наукових положень та рекомендацій дисертанта також підтверджено їх апробацією на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях.

### **Достовірність одержаних результатів**

Достовірність одержаних автором наукових результатів забезпечується коректним застосуванням сучасних технічних засобів виявлення та передових методів машинного та глибокого навчання. Одержані результати експериментальних досліджень не суперечать теоретичним викладкам. Велика кількість тестових виявлень та достатній обсяг статистичних вибірок підтримують достовірність наведених автором кількісних оцінок точності. Отримані результати узгоджуються з відомими опублікованими результатами та висновками інших дослідників, що підтверджує правильність трактування отриманих в роботі даних.

### **Наукова новизна та важливість результатів**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступних положеннях:

*Вперше* розроблено методику виявлення малорозмірних компактних об'єктів на основі комплексування даних аерознімання різної фізичної природи. Методика заснована на використанні сучасних методів машинного та глибокого навчання для виявлення компактних об'єктів, розташованих на земній поверхні, за результатами аерознімання в видимому спектральному діапазоні, аерознімання в інфрачервоному діапазоні та авіаційної магнітометрії. Передбачається, що всі камери та сенсори, залучені до виявлення мін в методиці, розташовуються на борту окремих БПЛА коптерного типу. Видові дані аерознімання аналізуються адаптованими до їх різновидів нейромережами, а магнітометричні вимірювання – шляхом статистичного виявлення аномалії сигналу магнітометра над магнітним фоном. Комплексування даних виконується в межах імовірнісної моделі виявлення за допомогою Байєсівського злиття ймовірностей, що забезпечує підвищення прикінцевої достовірності виявлення. Взаємодія всіх задіяних апаратних і програмних засобів здійснюється всередині єдиної геоінформаційної платформи, що має модульну архітектуру, яка також представлена у роботі. Застосування розробленої методики забезпечує виявлення мін на аерозображеннях видимого діапазону за допомогою нейромереж архітектури YOLO із показниками повноти  $R = 1$  та  $mAP50 = 0,983$ ,

а також можливість підвищення достовірності в умовах погіршеної видимості об'єктів з 0,2 до 0,8 при комплексуванні результатів сенсорів різної фізичної природи.

*Удосконалено* модель передавального навчання (тонкого налаштування) згорткової нейромережі з урахуванням особливостей поверхневих мін як об'єктів виявлення, а саме: з урахуванням ступеня присутності розпізнавальних ознак мін у шарах основи попередньо навченої на основі базового датасету нейромережі, передавальне навчання нейромережі відбувається із попередньо підібраними оптимальними значеннями кількості незмінних (“заморожених”) шарів основи та кількості епох донавчання. Таке удосконалення моделі донавчання дозволило покращити достовірність виявлення мін на аерозображеннях, що характеризується збільшенням показника *mAP50* з 0,32 до 0,98 за тих самих базового та цільового (донавчального) датасетів.

*Подальший розвиток* отримало статистичне виявлення об'єктів на аерозображеннях. Експериментальним шляхом визначено піксельну розрізненність аерозображення, достатню для впевненого виявлення компактного об'єкта згортковою нейромережею архітектури YOLO. Результат уточнено для виявлення поверхневих мін різної форми. Визначення мінімально необхідної піксельної розрізненності дозволяє більш ґрунтовно визначати необхідну висоту польоту БПЛА під час виявлення поверхневих мін за допомогою різних бортових сенсорів і таким чином покращувати загальну продуктивність аерознімання, зберігаючи при цьому достовірність виявлення.

Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання виконано повністю, мету дослідження досягнуто; здобувач достатньою мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Аргументування та критичність оцінки запропонованих автором рішень порівняно з відомими**

Мета дослідження полягала у підвищенні достовірності передусім виявлення, але також і класифікації малорозмірних компактних об'єктів, а саме

– протипіхотних та протитанкових мін, на земній поверхні за матеріалами знімання з БПЛА.

Об'єктом дослідження виступали дані аерознімання малорозмірних компактних об'єктів, отримані з камер видимого діапазону, інфрачервоних камер та бортових магнітометрів.

Предметом дослідження були методи та алгоритми виявлення малорозмірних компактних об'єктів із комплексуванням 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 сучасних архітектур нейромереж, що застосовуються для виявлення і класифікування компактних об'єктів, здійснено вибір архітектури YOLO.

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

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

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

6) Розроблено методику, що використовує сучасні архітектури нейромереж, набори даних загального користування, обмежені цільові набори даних і комплексує ймовірнісні результати 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**

Розроблена методика продемонструвала практичну можливість досягнення для нейромережі архітектури YOLO показника **повноти** виявлення мін, рівного 1 (що відповідає виявленню усіх цілей, хоча й не виключає хибних тривог), для аерозображень, отриманих з висоти аерознімання 10 м, а також показника *mAP50*, рівного 0,99 для виявлення і класифікації мін. Для комплексування результатів аерозображень видимого діапазону, інфрачервоних аерозображень і магнітометричних даних продемонстровано можливість покращення достовірності у випадках погіршеної видимості у середньому з 0,2 до 0,8. Досягнуто можливості донавчання нейромережі із середньою кількістю навчальних епох 23, що дає змогу оперативно розширити набір цілей для виявлення і класифікації. Обґрунтовано архітектуру єдиної геоінформаційної платформи для підтримки наскрізного процесу виявлення мін з БПЛА. Створено датасети RGB-зображень та теплових аерозображень реальних мін, проведено тренування нейромереж із різною кількістю епох і заморожених шарів.

## **Оцінка змісту дисертації, її завершеності 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, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано мету і наукові завдання, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Поставлені завдання є взаємопов'язаними та повністю розкриваються у змісті дисертації.

У першому розділі проведено докладний аналіз сучасних методів виявлення малорозмірних об'єктів за даними аерознімання, зокрема оптичних, теплових та магнітометричних підходів. Показано, що використання одного типу сенсорів не забезпечує необхідного рівня достовірності; відповідно, доцільним є комплексування даних.

Другий розділ присвячений теоретичному обґрунтуванню та розробці підходів до виявлення об'єктів із застосуванням згорткових нейронних мереж. Обґрунтовано вибір архітектури сімейства нейромереж YOLO, описано процес формування навчальних і тестових датасетів, а також обґрунтовано застосування передавального навчання. Продемонстровано, що використання передавального навчання дає змогу скоротити необхідну кількість епох навчання до 15–25, що є суттєво меншим порівняно з типовими рекомендованими значеннями для загального випадку (~100 епох).

У третьому розділі, який є ядром дисертації, розроблено і викладено методику виявлення малорозмірних компактних об'єктів на основі комплексування даних різної фізичної природи. Докладно описано підхід до інтеграції результатів за допомогою байєсівського злиття ймовірностей. Показано, що в умовах погіршеної видимості через камуфлювання або природні завади комплексування дозволяє підвищити достовірність виявлення з 0,2 до 0,8, що є суттєвим практичним результатом.

Четвертий розділ включає результати експериментальних досліджень з апробації та тестування розробленої методики, які є достатньо повними та переконливими. Проведено аналіз впливу кількості епох, кількості фіксованих шарів основи, базового датасету та архітектури нейромережі на якість виявлення. Показано, що в процесі оптимізації значення показника  $mAP50$  зростає з 0,27–0,55 до 0,98–0,99, а показник повноти досягає значення 1 для оптимальних значень гіперпараметрів.

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 розрізненності аерознімання (близько 6 мм/піксел), за яких можливе надійне виявлення навіть найменших об'єктів, наприклад – зображень мін розміром  $18 \times 10$  пікселів.

Результати дослідження підтверджують, що застосування потужніших базових датасетів дозволяє отримати більш достовірні та збалансовані

результати, а вплив даних у багатьох випадках є визначальним порівняно з вибором архітектури нейромережі.

Висновки дисертації достатньо повно описують її результати, вони є логічними, обґрунтованими та добре відповідають поставленим задачам.

Дисертаційна робота характеризується високим рівнем логічності взаємозв'язків між розділами, зрозумілою послідовністю викладення матеріалу та завершеністю отриманих результатів.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації в частині виявлення та класифікування об'єктів за матеріалами аеро- та космічної зйомки.

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

Розглянувши звіт за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння та використання штучного інтелекту, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Саприкіна Євгена Юрійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату, запозичень або генерації тексту штучним інтелектом. 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 зрозуміти як суть розроблених наукових положень, так і одержаних практичних результатів. Структура роботи є послідовною та логічною; усі розділи дисертації мають внутрішню єдність, змістову завершеність і взаємозв'язки одного з одним. З огляду на предметну область дослідження, використані терміни є загальноприйнятими, а їх використання – 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 базі даних Scopus.

В зазначених публікаціях основні наукові результати дисертаційної роботи висвітлені достатньо повно і детальне для їх розуміння.

### **Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційного дослідження**

1. Варто було б порівняти результати виявлення мін у роботі із результатами застосування інших методів машинного навчання, зокрема класичних, до тих самих контрольних вибірок.
2. У роботі використано дані, отримані лише на одному полігоні в одних ландшафтно-кліматичних умовах; можливості виявлення мін в інших ландшафтно-кліматичних зонах України не досліджувалися.
3. Слабше у порівнянні із зображеннями видимого діапазону досліджено можливості глибокого навчання із використанням теплових зображень.
4. Розроблений в роботі власний тренувальний датасет теплових зображень наземних мін, на жаль, не надано у відкритому доступі.
5. Недостатньо докладно визначено порядок урахування розпізнавальних ознак мін у фіксованих шарах даних в процедурі донавчання нейромережі.

6. Оскільки в завдання гуманітарного розмінування входить виявлення, окрім мін, ще й інших вибухонебезпечних предметів, варто було б протестувати методику на них також.
7. Не досліджувалися інші відомі методи комплексування результатів виявлення мін, окрім байєсівського.

## 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 розв'язання наукової задачі, 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 на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації за спеціальністю 172 – Електронні комунікації та радіотехніка.

Опонент

завідувач кафедри геоінформатики

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка,

ННІ «Інститут геології», МОН України,

доктор технічних наук, професор

Віталій ЗАЦЕРКОВНИЙ

15 серпня 2026 року

Підпис В. Зацерковного засвідчую

