УДК 004.93:004.8

Р. Г. Чоларія; О. Г. Галепа

АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗЕКІПАЖНИХ КАТЕРІВ ПРОТИВНИКА БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ З ВИКОРИСТАННЯ КОМ'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Анотація. *Розглянуто актуальну задачу автоматизованого виявлення безекіпажних надводних катерів за відеопотоком із безпілотних літальних апаратів в умовах складної морської обстановки. Проаналізовано основні чинники, що ускладнюють виявлення малорозмірних надводних цілей, зокрема стан морської поверхні, сонячні відблиски, низьку контрастність і змінне освітлення. Запропоновано схему обробки відеопотоку, яка охоплює попередню обробку зображень, детектування цілі, фільтрацію хибних спрацювань і супровід цілі між кадрами. Окреслено підхід до оцінювання якості та швидкодії моделей на бортових і наземних обчислювальних платформах, а також розглянуто ризики застосування таких систем і напрями подальших досліджень.*

Ключові слова: *безекіпажний катер, безпілотний літальний апарат, комп'ютерний зір, виявлення об'єктів, глибоке навчання, морське середовище.*

Abstract. *This paper addresses the current challenge of automatically detecting unmanned surface vessels using video feeds from unmanned aerial vehicles under complex maritime conditions. The main factors complicating the detection of small surface targets are analyzed, including sea surface conditions, sun glare, low contrast, and variable lighting. A video stream processing scheme is proposed that encompasses image preprocessing, target detection, false alarm filtering, and target tracking across frames. An approach to evaluating the quality and performance of models on onboard and ground-based computing platforms is outlined, and the risks associated with the use of such systems and directions for further research are discussed.*

Keywords: *unmanned surface vessel, unmanned aerial vehicle, computer vision, object detection, deep learning, maritime environment.*

Безекіпажні катери стали одним із ключових засобів сучасної морської війни, оскільки поєднують низьку вартість, малу помітність і здатність діяти групами. Досвід останніх років показав, що невеликі за розмірами та недорогі засоби здатні створювати суттєві загрози для значно більших і дорожчих кораблів, а також для портової інфраструктури та морських комунікацій. Безекіпажні морські системи вже розглядаються як окремий клас технічних засобів моніторингу обстановки на морських акваторіях [1], однак те саме середовище, яке вони контролюють, є складним для виявлення таких засобів з боку противника та власних сил. Протидія безекіпажним катерам ускладнюється малими розмірами цілей, низькою посадкою корпусу відносно водної поверхні та значним рівнем завад від хвиль, піни, сонячних відблисків і кільватерного сліду. Безпілотні літальні апарати дають змогу підняти сенсор над водою, збільшити зону огляду, швидко змінювати ракурс спостереження та вести пошук на великих акваторіях без залучення дорогих пілотованих платформ. Проте відеопотік з їхнього борту надходить у великому обсязі, а оператор, який змушений постійно спостерігати за зображенням, швидко втомлюється й може пропустити ціль, що з'являється на короткий час. Тому автоматизація виявлення цілей за відеопотоком методами комп'ютерного зору є актуальним науково-прикладним завданням, розв'язання якого скорочує час реагування, знижує навантаження на оператора та підвищує оперативність виявлення та знищення загрози.

Питання виявлення морських цілей за зображеннями з безпілотних авіаційних комплексів розглядається в низці сучасних робіт. Зокрема, запропоновано модель комп'ютерного зору для виявлення морських цілей в умовах застосування безпілотних авіаційних систем, яка орієнтована на автоматизацію аналізу зображень, що надходять з борту літального апарата [2]. Метод виявлення багатороторних безпілотних літальних апаратів засобами штучного інтелекту, описаний у статті [3], демонструє, що ефективність виявлення малорозмірних об'єктів істотно залежить від якості та репрезентативності навчальної вибірки, а також від обраної архітектури

детектора. Хоча ця робота стосується повітряних цілей, закладені в ній підходи до роботи з малими об'єктами на однорідному фоні мають методичну цінність і для морського середовища. Для морських сценаріїв сформовано відкриті еталонні набори даних, що дають змогу порівнювати моделі за єдиною методикою. Набір SeaDronesSee орієнтований на виявлення людей у відкритій воді за знімками з безпілотних літальних апаратів і містить зображення, зроблені з різних висот і під різними кутами [4]. Набір MODS призначений для виявлення об'єктів і сегментації перешкод із борту безекіпажних надводних апаратів і задає правила оцінювання моделей у прибережному середовищі [5]. Ці набори закріплюють єдину методику порівняння, однак стосуються переважно пошуково-рятувальних і навігаційних сценаріїв. Окрему групу становлять роботи з порівняння архітектур детекторів. Результати порівняльних випробувань моделей сімейства YOLO від восьмої до двадцять шостої версії на тепловізійних зображеннях з безпілотних літальних апаратів, виконаних для іншого класу малорозмірних об'єктів, підтвердили придатність цього сімейства до задач виявлення в реальному часі та показали доцільність систематичного порівняння кількох версій на одній вибірці [6]. Водночас у розглянутих джерелах не виявлено систематичних досліджень, які поєднують виявлення саме безекіпажних катерів із безпілотних літальних апаратів в умовах активного хвилювання моря та сонячних відблисків. Недостатньо висвітленими залишаються також питання формування спеціалізованих вибірок, оцінювання швидкодії на бортових обчислювачах з обмеженими ресурсами та узгодження результатів автоматичного виявлення з діями оператора. Саме ці прогалини зумовили вибір напряму дослідження.

Запропонована схема обробки відеопотоку починається з покадрового виділення зображень та їх попередньої обробки, яка включає вирівнювання яскравості, послаблення сонячних відблисків. Далі кожен кадр передається до нейромережевої моделі, яка визначає положення потенційних цілей та оцінює ймовірність належності кожної з них до класу безекіпажних катерів. На етапі постобробки виконується фільтрація хибних спрацювань, спричинених гребенями хвиль, піною, кільватерними слідами та плаваючими об'єктами, а також супровід цілі між послідовними кадрами. Супровід дає змогу не лише згладити випадкові пропуски детектора, а й відрізнити стійку ціль від короткочасних помилкових спрацювань, оскільки справжній об'єкт зберігає узгоджену траєкторію руху, тоді як помилкові виявлення з'являються хаотично. Вибір детекторів сімейства YOLO для порівняння обґрунтовано їхньою високою швидкодією, наявністю версій різного розміру для різних обчислювальних платформ та результатами порівняльних випробувань, наведеними в роботі [6]. Для розширення навчальної вибірки застосовується аугментація зображень, зокрема зміна масштабу, обертання, зміна контрасту та яскравості, а також імітація туману й бризок, що наближає навчальні дані до реальних умов спостереження. Для попереднього навчання моделей і перевірки їхньої узагальнювальної здатності можуть використовуватися відкриті морські набори даних [4, 5], після чого модель донавчається на спеціалізованих зображеннях катерів.

Оцінювання якості виявлення пропонується проводити за загальноприйнятими показниками, а саме за точністю, повнотою та середньою точністю, обчисленою за різних порогів перетину передбаченої та еталонної рамки. Такі показники дають змогу побачити, чи модель не пропускає цілі та чи не генерує надмірну кількість хибних спрацювань, і порівнювати результати з опублікованими даними на еталонних наборах. Окремо розглядається здатність моделі до застосування на борту та на наземному пункті управління, яка визначається кількістю оброблюваних кадрів за секунду та затримкою між надходженням кадру й отриманням результату. Ця характеристика має принципове значення, оскільки висока точність, досягнута ціною значних обчислювальних витрат, не може бути реалізована на малогабаритному бортовому обчислювачі з обмеженим енергоспоживанням. Тому порівняння архітектур доцільно виконувати не лише за якістю виявлення, а й за співвідношенням точності та швидкодії на цільовій апаратній платформі.

Аналіз умов застосування показує, що основними чинниками, які знижують ефективність виявлення, є зменшення кутового розміру цілі зі збільшенням висоти польоту, сильне хвилювання моря, відблиски на поверхні води та низька контрастність цілі на тлі води за умов слабкого освітлення. Використання інфрачервоного каналу в поєднанні з видимим діапазоном розглядається як спосіб зменшити залежність від освітлення та посилити виявлення в сутінках і вночі, проте воно потребує додаткових даних для навчання та узгодження зображень двох

каналів.

Оскільки результати автоматичного виявлення можуть впливати на оперативні рішення, доцільно враховувати ризики помилкової класифікації цивільних суден, зниження якості роботи моделі в умовах, відмінних від навчальних, і залежності від якості розмітки даних. Для оцінювання та зменшення таких ризиків можна спиратися на рамкову модель управління ризиками систем штучного інтелекту, яка передбачає ідентифікацію ризиків, їх вимірювання, управління ними та постійний контроль протягом усього життєвого циклу системи [7].

Отже, виявлення безекіпажних катерів із безпілотних літальних апаратів є актуальною задачею, а наявні відкриті набори даних і дослідження охоплюють переважно суміжні сценарії, що вказує на потребу у створенні спеціалізованих вибірок та проведенні цільових експериментів. Застосування детекторів сімейства YOLO у поєднанні з попередньою обробкою зображень, фільтрацією хибних спрацювань і супроводом цілі є доцільним підходом, який поєднує точність і швидкодію, необхідні для роботи в реальному часі.

Список використаних джерел:

1. Frolov S. M., Sydorenko O. V. Unmanned marine robotic systems (complexes) for monitoring the situation in the Sea of Azov. Collection of scientific papers of the Center for Military and Strategic Research of the Ivan Chernyakhovsky National University of Economics. 2020. No. 3-67. Pp. 110–114. URL: https://doi.org/10.33099/2304-2745/2019-3-67/110-114 (дата звернення: 02.10.2026).
2. Deep learning for UAV thermal bird detection: Benchmarking YOLOv8–YOLOv26 / A. Safonova et al. Remote Sensing Applications: Society and Environment. 2026. Vol. 42. P. 101981. URL: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2026.101981 (дата звернення: 02.10.2026).
3. I. Tupitsya, V. Kryvonos, D. Chezlov, R. Cholaria, I. Sheviakov, Computer vision model for detection of sea targets in the conditions of application of unmanned aircraft systems. URL: https://journal-hnups.com.ua/index.php/soi/article/view/2946/2726 (дата звернення: 02.10.2026).
4. S. Gorelov, O. Barmak, E. Manzyuk, Method for detecting multi-rotor UAVs using artificial intelligence. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2023. T. 329, № 6. C. 84–91. URL: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-329-6-84-91 (дата звернення: 02.10.2026).
5. Varga L. A., Kiefer B., Messmer M., Zell A. SeaDronesSee: A Maritime Benchmark for Detecting Humans in Open Water. Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). 2022. P. 2260–2270. URL: https://arxiv.org/abs/2105.01922 (дата звернення: 02.10.2026).
6. Bovcon B., Muhovič J., Vranac D., Mozetič D., Perš J., Kristan M. MODS — A USV-oriented object detection and obstacle segmentation benchmark. arXiv:2105.02359. 2021; версія 2 від 09.02.2022. URL: https://arxiv.org/abs/2105.02359 (дата звернення: 02.10.2026).
7. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). 2023. URL: https://www.nist.gov/itl/ai-risk-management-framework (дата звернення: 02.10.2026).

Чоларія Ростислав Гізович **–** командир відділення 244, 245 навчальних груп інженерно-авіаційного факультету, Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: rostislavcolaria@gmail.com , ORCID https://orcid.org/0009-0000-6888-7304.

Галепа Олександр Григорович – викладач кафедри експлуатації та застосування безпілотних авіаційних систем та комплексів повітряної розвідки , Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: galepa0904@ukr.net , ORCID https://orcid.org/0000-0002-0413-6365.

Cholaria Rostislav Gizovich – Commander of Department 244, 245 of the training groups of the Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: rostislavcolaria@gmail.com , ORCID https://orcid.org/0009-0000-6888-7304.

Galepa Oleksandr Hryhorovych – lecturer at the Department of Operation and Application of Unmanned Aviation Systems and Air Reconnaissance Complexes, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: galepa0904@ukr.net , ORCID https://orcid.org/0000-0002-0413-6365.