

УДК 004.896:519.687.7

DOI: 10.18372/2073-4751.76.18246

¹Уткін Ю.В., к.т.н.,
orcid.org/0000-0003-2732-4438,²Рябий М.О., к.т.н.,
orcid.org/0000-0002-9651-9135,¹Копішинська О.П., к.ф.-м.н.,
orcid.org/0000-0002-3138-7215,²Сімчук А.Ю.,
orcid.org/0009-0007-8041-2724

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ВИЯВЛЕННЯ БПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

¹Полтавський державний аграрний університет²Національний авіаційний університет1008utkin@gmail.com,
myroslav.riabiy@npp.nau.edu.ua

Вступ

Повномасштабне вторгнення росії 24 лютого 2022 року на територію України обумовило національний супротив агресії та розвитку різноманітних інновацій та розробок, які в тій чи іншій мірі надають змогу Силам Оборони України протистояти «другій армії світу».

Аналіз особливостей війн та військових конфліктів початку ХХІ ст. надає змогу стверджувати, що перемогу на полі бою отримає той, хто не тільки вмів володіє стрілецькою зброєю та системами ураження, великою кількістю людського ресурсу, а й активно застосовує передові бойові системи зі штучним інтелектом [1].

Завдяки технологіям четвертої промислової революції – *4IR* (*4-th industrial revolution*) та концепту *Industry 4.0* автоматизовані системи озброєння та бойового ураження отримали нову назву «роботівубивць» і класифіковані як «смертоносна автономна зброя», як роботизовані бойові платформи, які в перспективі здатні виключити людський фактор [1].

Військове керівництво Збройних сил України (ЗСУ) з початку військової агресії із 2014 року намагалося створити сприятливі умови для автоматизації та роботизації наявного оборонного потенціалу як з огляду на новітні розробки в провідних країнах так і з розумінням про необхідність збереження людського ресурсу на

полі бою. У передвоєнний період зроблено чимало зусиль для імпорту озброєнь і військової техніки для ЗСУ, при цьому гальмувало цілу низку українських розробок, які могли б прийняти на озброєння [2].

З початком війни з росією Україна розпочала активну фазу модернізації вітчизняної армії. Такі вже реалізовані проекти як самохідний 120-міліметровий міномет «Смерека», 155 мм САУ 2С22 «Богдана», ударні баражувальні боєприпаси «Грім» та «PD-2», ударно-розвідувальний дрон «RAM II», безпілотний ударний гелікоптер «RZ-500», комплекси радіоелектронної боротьби «Полонез» та «Прометей» («Прометей-МФ5») засвідчують про об'єднання зусиль МО, державних установ оборонпрому та приватного сектору промисловості.

Короткий перелік наведених проектів в напрямку перезброєння ЗСУ засвідчує про інтенсивну діяльність в пошуку реалістичних, простих та економічних рішень, які в короткі терміни нададуть змогу Силам оборони України перемогти в протистоянні з країною-агресором.

При цьому, зарубіжні експерти, які працюють в сфері сучасних оборонних технологій дають високу оцінку тим інноваційним рішенням, які в короткі терміни та за рахунок небайдужих втілюють доволі потужні рішення, концентруючись не тільки на тактичних задачах на полі бою,

ай вже на рівні зарубіжних технологічних досягнень, які класифікуються як мережоцентрична війна [3].

Наряду з позитивними відгуками зарубіжних військових експертів стосовно розвитку та застосування технологій направлених на обороноздатність держави, існує ряд практичних напрямків, які потребують нагального вирішення. Одним із таких напрямків є боротьба з безпілотними літальними апаратами БПЛА ворога, які він активно застосовує для вирішення різноманітних завдань.

Постановка проблеми

По оприлюдненим даним [4], на території України зафіксовано (захоплено/збито) 15 моделей військових БПЛА від 7 російських виробників (табл. 1).

Аналізуючи дані з офіційних джерел [5], то в період з 24 лютого 2022 року по 25 березня 2023 року Силами оборони України було знищено 2214 БПЛА різних модифікацій, які ворог застосовував як для знищення військових об'єктів, цивільної інфраструктури, так і для збору розвідувальної інформації та коригування вогню.

Таблиця 1. Військові БПЛА від російських виробників

Тип БПЛА	Модель	Виробник
Ударні	«Оріон»	Група «Кронштадт» на заводі в м. Дубно Московської області
Камікадзе	«Куб»	Підприємство концерну «Калашникова» – <i>Zala aero</i> , м. Іжевськ
Розвідувальні	«Орлан-10», «Орлан-20», «Орлан-30»	Спеціальний технологічний центр», м. Санкт-Петербург
	«Форпост», «Застава»	Уральський завод цивільної авіації, виробничі та інженерні майданчики в м. Єкатеринбург, м. Москва, м. Санкт-Петербург, м. Казань, м. Таганрог, м. Нижній Новгород
	«Гранат-1», «Гранат-2», «Гранат-4», «Тахіон»	НВО «Іжевські безпілотні системи», м. Іжевськ
	«Елерон-3»	«Енікс», м. Казань
	ZALA 421-16E2	Підприємство концерну «Калашникова» – <i>Zala aero</i> , м. Іжевськ
	«Горизонт Ейр S-100»	АТ «Горизонт», м. Ростов-на-Дону
	«Мерлін-ВР»	НДІ сучасних телекомунікаційних технологій, м. Смоленськ (серійно не виробляється)

На підставі оприлюднених даних ворог почав активно застосовувати БПЛА з березня 2014 року (статистика заповнення сторінки ведеться з 28 травня 2014 року) і 12 вересня 2012 року офіційні джерела повідомили [6], що агресор почав застосовувати далекобійні ударні дрони іноземного виробництва *Shahed-136*.

Ефективність застосування такого класу баражуючих боєприпасів на початку їх застосування на території України була високою (велика частина інфраструктури була пошкоджена в тій чи іншій мірі) і згодом, більша їх частина знищувалась

Силами оборони України як стрілецьким озброєнням так і ЗРК. Все ж, кількість їх неураження дозволяє трактувати необхідність пошуку більш альтернативних рішень для їх виявлення та знищення.

Група військових експертів (професор Джастін Бронк, Нік Рейнольдс та доктор Джек Уотлінг) [7] висунули ряд рекомендацій, одна з яких трактує наступне: «...в короткостроковій перспективі Україні потрібні економічно ефективні способи захисту від *Shahed-136*. Одним із варіантів можуть бути компактні радіолокаційні і/або лазерні дальнометричні і прицільні

системи, які нададуть можливість багаточисленним існуючим зенітним озброєнням бути набагато більш точними та ефективними проти них...».

Методика застосування агресором *Shahed-136* аналізуються, вивчаються в порядку їх застосування фахівцями

Таблиця 2. Основні характеристики *Shahed-136*

Основні характеристики	Показники
Дальність польоту, тис. км.	до 2,5
Швидкість, км/год.	185
Вага, кг	200
Довжина корпусу, м	3,5
Розмах крил, м	2,5
Розміщення бойового заряду	в носовій частині
Запуск	зі спеціальної платформи
Бойовий заряд складає вибухівки, кг	до 50
Система наведення	інерціальна / дистанційна

Науковці та представники комерційної промисловості об'єднують свої зусилля для відпрацювання різних варіацій технічного та апаратного застосування виявлення БПЛА на ранній стадії їх застосування з метою їх знищення.

На сьогодні існує ряд систем, які дозволяють виявляти БПЛА: акустичні датчики та системи; радарні системи; оптичні системи; радіочастотні системи; мультисенсорні системи [9].

Враховуючи відсутність фінансування на довготривалі розробки, відсутність часу на розроблення відповідної документації в умовах ведення війни, Сили оборони України вже зараз потребують швидкого впровадження технічних рішень, які були б в змозі надати військовим можливість завчасно виявляти а потім знищувати подібного типу БПЛА.

Виклад основного матеріалу

На думку авторів, враховуючи вищевказані аспекти, для вирішення цієї задачі має місце застосування наявних на

території України відеокамер які застосовуються в системах відеоспостереження, моніторингу автотранспорту на автомагістралях та навіть відеосистеми охоронних систем приватних домоволодінь для отримання відеопотоку та обробки його в режимі реального часу із

відповідних установ, оскільки для протидії Силами оборони України це є новим видом БПЛА хоч і не унікальним і для його знищення існує потреба відпрацювання алгоритму взаємодії як організаційних, так і технічних засобів [8]. Основні характеристики *Shahed-136* наведені в табл. 2.

застосуванням технології розпізнання об'єктів відповідного типу (БПЛА).

Думка та ідея була підтверджена шляхом проведення натурального експерименту в польових умовах спочатку на території Полтавської області. В польових умовах була розгорнута мережа відеокамер (рис. 1) із системою захоплення відеопотоку (відеореєстратор) з подальшою його обробкою по відповідному алгоритму. Камери були взяті різних виробників та різних характеристик з різною роздільною здатністю та фокусною відстанню, всі вони були встановлені приблизно на однаковій висоті та взяті їх *GPS*-координати. Експериментальне дослідження мало на мені дві важливі задачі:

- виявлення летючих цілей;
- розрахунок координат виявленого об'єкта.

В якості об'єктів дослідження були використанні дрони 2-х моделей компанії *Dajiang Innovation Technology (DJI) AGRAS T30* (рис. 2) та *MAVIC 2* (рис. 3). За допомогою операторів, здійснювались прольоти дронів на різних висотах, в різних напрямках та на різні відстані від лінії встановлення мережі відеокамер.

Рис. 4 демонструє вирізку фреймів з відеопотоку, що обробляється за допомогою нейронної мережі для захоплення

об'єктів у лабораторії ПДАУ. Код мережі написаний на мові *Python* з використанням бібліотек *OpenCV* та *NumPy*. Використовуючи алгоритм *MOG2* для створення тла, мережа відстежує рух об'єктів та відмічає їх контур. В процесі обробки відеопотоку, виконуються операції морфологічної обробки та бінаризації зображення, а також

визначення центру мас контуру. На основі координат центрів мас, мережа відстежує рух об'єктів та позначає їх напрямком стрілкою на відео. Ця мережа є ефективним інструментом для відстеження руху об'єктів та може бути використана для вирішення завдань у сферах, пов'язаних з дослідженням руху об'єктів.



Рис. 2. DJI AGRAS T30



Рис. 3. DJI MAVIC 2



Рис. 1. Фото місцевості розгортання мережі відеокамер



Рис. 4. Вибрка кадрів роботи обробленого відеопотоку із захопленням об'єкта в лабораторії ПДАУ

Далі були проведені експерименти проводилися за двома напрямками детектор руху об'єктів з відкиданням області яку не потрібно враховувати та виявлення об'єктів за допомогою навченої моделі дані для якої були взяті з мережі, далі була

створена технологія на основі математичних алгоритмів та програмних методів бібліотеки *Dlib* на мові програмування *C++* Результат роботи останнього варіанту представлено на рис. 5.



Рис. 5. Вибірка кадрів роботи обробленого відеопотоку із захопленням об'єкта

На території нашої держави було встановлено багато камер відеоспостереження за правилами дорожнього руху (рис. 6), нагляду за об'єктами інфраструктури, моніторингу транспортної ситуації за допомогою яких, при умові підключення їх до єдиного моніторингового

центру обробки інформації є можливість створення системи виявлення БПЛА (дронів) та передачі координат їх виявлення на для подальшої організації відповідними підрозділами Сил оборони України для їх знищення.

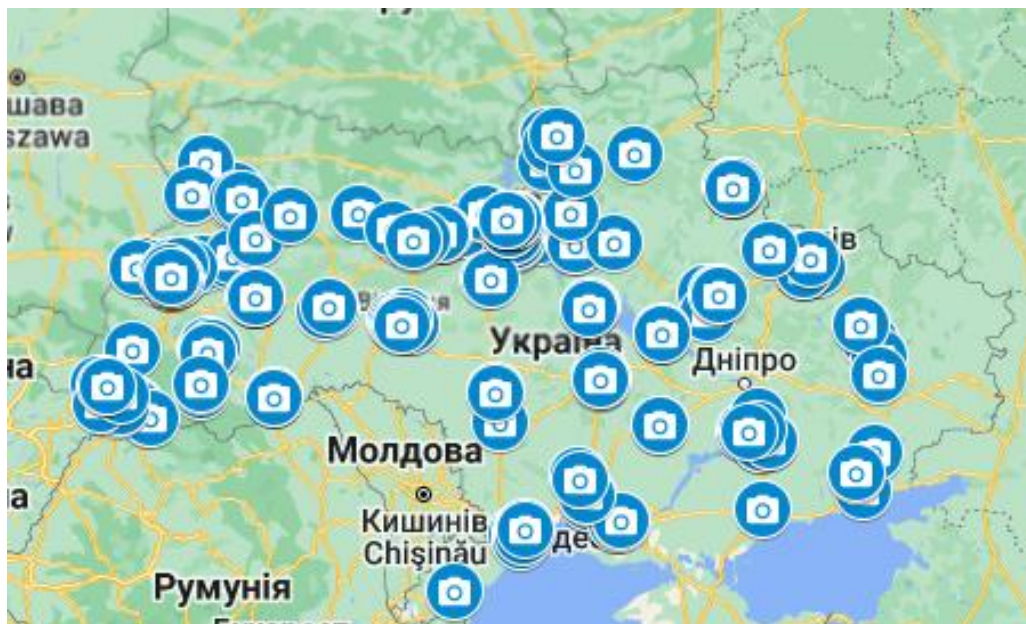


Рис. 6. Камери контролю за дотриманням правил дорожнього руху

Попередньо, пілотна система отримала назву: автоматизована система виявлення повітряних цілей і вже була презентована як проєкт від Центру впровадження Індустрії 4.0 Полтавського державного

аграрного університету на щорічній конференції науково-освітніх закладів-партнерів розвитку Індустрії 4.0 – 5.0 під назвою «В єдності – сила» на базі КПІ імені Ігоря Сікорського 7 лютого 2023 року [10] і

вже 30 березня в м. Кошице (Словаччина) на форумі, який організований Європейською платформою кластерної співпраці (ЕССР) від імені Європейської комісії та у партнерстві зі Словацьким інноваційним та енергетичним агентством, Союзом словацьких кластерів, Українським кластерним альянсом та *Enterprise Europe Network* [11].

Висновки

Результати, отримані в ході досліджень, дають змогу відпрацювати рекомендації по організації виявленню місцеположення ворожих БПЛА та подальші напрямки досліджень:

1. Організувати роботи по аналізу місць встановлення камер відео нагляду по регіонах та можливості їх підключення до моніторингового центру.

2. Організувати підключення відеокамер, які використовуються в населених пунктах для систем контролю за правопорядком з налаштуванням їх по лінії горизонту (при умові попереднього перегляду камери та доцільності її використання на маршрутах проходження).

3. Сконцентрувати подальші дослідження по розширенню можливостей виявлення повітряних цілей, а саме літаків, крилатих ракет та інші.

4. Автоматизувати процес розрахунку координат повітряних цілей при наявності різнокомпонентної системи.

При виконанні запропонованих рекомендацій є можливість отримати в короткі строки розгалужену мережу точок контролю за повітряним простором України для виявлення та супроводження маршруту руху ворожих БПЛА із передачею даних про напрямок їх руху систему «Віраж-Планшет» для подальшого їх знищення підрозділами Сил оборони України усіма доступними засобами.

При цьому, при застосуванні наявного програмного забезпечення та камер вуличного спостереження розраховані та отримані наступні дані: виявлення повітряних об'єктів (від 100 м до 1000 м в залежності від типу обладнання та розміру (1,5x5 м)); класифікація повітряних

об'єктів (від 100 м до 350 м в залежності від типу обладнання та розміру (1,5x5 м)).

Запропонована система має основний недолік: ефективна робота її може бути тільки в денний час і на короткі відстані. Цей недолік із часом є можливість усунути, застосовуючи термографічні та біспектральні камери більшої потужності, які застосовуються в подібних закордонних аналогах [12,13].

При дослідженні роботи системи із використанням спеціалізованої камери обладнаною термографічним датчиком, отримані результати: виявлення повітряних об'єктів (від 4000 м до 9000 м в залежності від типу обладнання та розміру (1,5x5 м)); класифікація повітряних об'єктів (від 1000 м до 3000 м в залежності від типу обладнання та розміру (1,5x5 м)).

В подальшому розвитку, є можливість створювати мобільні комплекси (встановленні на авто та спеціальному транспорті).

Література

1. Штучний інтелект на полі бою російсько-української війни. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3444808-stucnij-intelekt-na-poli-bou-rosijskoukrainskoi-vijni.html> (дата звернення: 10.05.2023).

2. Захист власними силами: найвагоміші здобутки 2021 року. URL: https://lb.ua/news/2022/01/06/502535_zahist_vlasnimi_silami_nayvagomishi.html (дата звернення: 10.05.2023).

3. Ukraine Has Digitized Its Fighting Forces on a Shoestring. URL: <https://www.wsj.com/articles/ukraine-has-digitized-its-fighting-forces-on-a-shoestring-11672741405> (дата звернення: 12.05.2023).

4. Аналогівнет: 7 фактів та міфів про російські дрони. URL: <https://mind.ua/publications/20243873-analogivnet-7-faktiv-ta-mifiv-pro-rosijski-droni> (дата звернення: 12.05.2023).

5. Загальні втрати російських загарбників становлять уже майже 170 тис. осіб, знищено 520 РСЗВ та 291 вертоліт ворога – Генштаб ЗСУ. URL: <https://www.mil.gov.ua/news/2023/03/25/sta>

novlyat-uzhe-majzhe-170-tis-osib-znishheno-520-rszv-ta-291-vertolit-voroga-%E2%80%93genshtab-zsu/ (дата звернення: 20.05.2023).

6. ЗСУ вперше збили іранський ударний безпілотник (фото). URL: <https://glavcom.ua/country/incidents/zsu-vpershe-zbili-iranskij-udarnij-bezpilotnik-foto-875010.html> (дата звернення: 10.05.2023).

7. The Russian Air War and Ukrainian Requirements for Air Defence. URL: <https://rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/russian-air-war-and-ukrainian-requirements-air-defence> (дата звернення: 15.05.2023).

8. Іранські дрони Shahed-136: збивати їх уже можна, але це ще не просто. URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/iranski-droni-shahed-136-zbivati-yih-uzhe-mozhna-a/> (дата звернення: 10.05.2023).

9. Системи виявлення дронів і протидронні системи. URL: <https://www.bezpeka-shop.com/blog/obzor/sistemy-obnaruzheniya-dronov-i-protivodronnye-sistemy/> (дата звернення: 10.05.2023).

10. «В єдності – сила». URL: <https://www.pdau.edu.ua/news/v-yednosti-syla> (дата звернення: 13.05.2023)

11. Центр впровадження Індустрії 4.0 ПДАУ на європейській арені кластерних організацій. URL: <https://www.pdau.edu.ua/news/centr-vprovadzhennya-industriyi-40-pdau-na-yevropeyskiy-areni-klasternyh-organizacij/> (дата звернення: 10.05.2023)

12. IMCO's Systems Introduces Technologies to Achieve Terrain Dominance. URL: https://defense-update.com/20210211_imco.html#.ZCqHY3bP2Uk (дата звернення: 10.05.2023)

13. HENSOLDT delivers 17 high-performance cameras to Scandinavia. URL: <https://www.hensoldt.net/news/hensoldt-delivers-17-high-performance-cameras-to-scandinavia/> (дата звернення: 10.05.2023)

Уткін Ю.В., Рябий М.О., Копішинська О.П., Сімчук А.Ю.

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ВІЯВЛЕННЯ БПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Стан сьогодення зумовлює розвиток різноманітних розробок та інновацій в галузі інформаційних технологій, що можуть мати подвійне призначення та використовуватися як у мирний так і у військовий час. Короткий перелік наведених у роботі проектів в напрямку переозброєння ЗСУ засвідчує про інтенсивну діяльність в пошуку реалістичних, простих та економічних рішень, які в короткі терміни нададуть змогу Силам оборони України перемогти в протистоянні. Наряду з позитивними відгуками зарубіжних військових експертів стосовно розвитку та застосування технологій направлених на обороноздатність держави, існує ряд практичних напрямків, які потребують нагального вирішення. Одним із таких напрямків є боротьба з БПЛА ворога, які він активно застосовує для вирішення різноманітних завдань. В роботі запропоновано концепцію побудови апаратно-програмного комплексу виявлення БПЛА з використанням штучного інтелекту в загальному вигляді та розглянута можливість подальшого розвитку запропонованого концепту.

Ключові слова: БПЛА, штучний інтелект, відеопотік, обробка відео даних, програмний комплекс.

Utkin Y.V., Raybyy M.O., Kopishynska O.P., Simchuk A.Y.

THE CONCEPT OF BUILDING A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX OF UAV DETECTION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The current state of affairs dictates the development of various developments and innovations in the field of information technology, which can have a dual purpose and be used both in peacetime and in wartime. The short list of projects in the direction of the rearmament of the armed of the Armed Forces of Ukraine testifies to intensive activity in the search for realistic, simple and economic solutions that will enable the Defense Forces of Ukraine to win the confrontation in a short period of time. Along with the positive reviews of foreign military experts regarding the development and application of technologies aimed at the defense capability of the state, there are a number of practical directions that require urgent solutions. One of these directions is the fight against the enemy's UAVs, which he actively uses to solve various tasks. The paper proposes the concept of building a UAV detection hardware and software complex using artificial intelligence in general and considers the possibility of further development of the proposed concept.

Keywords: UAV, artificial intelligence, video stream, video data processing, software complex.