



ГОРБУЛІН

Володимир Павлович — академік НАН України, перший віцепрезидент НАН України



МОСОВ Сергій Петрович —

доктор військових наук, професор кафедри авіації та авіаційного пошуку і рятування Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

РОЇ ДРОНІВ — КУЛЬМІНАЦІЯ ДРОНІЗАЦІЇ ВОЄН

У статті на системній основі розглянуто актуальне питання, пов'язане зі створенням та застосуванням роїв дронів військового призначення. Показано, що у світі відбувся перехід від поодиноких використань БпЛА до групового та масового застосування, кульмінацією якого стає роїння дронів — мобільних автономних безпілотних апаратів (повітряних, наземних, підводних чи надводних), запрограмованих на виконання відповідних завдань. Перелічено особливості, що характеризують рій безпілотників, визначено загальні умови реалізації роївового інтелекту. Технологію рою можна використовувати також для комбінування БпЛА з іншими роботизованими засобами. Проаналізовано сучасний стан створення і перспективи використання технології роїння дронів, передусім військового призначення, в провідних країнах світу. Зроблено висновок, що в найближчі 10—15 років з розвитком роївового інтелекту, складних систем озброєння і повітряних матеріалів рої дронів перейдуть на етап домінування.

Погляд на безпілотну авіацію почав змінюватися в ході нинішньої повномасштабної війни, в якій безпілотники дедалі більше стали відігравати провідну роль у вирішенні низки важливих тактичних, оперативнотактичних і оперативних завдань. Значущість безпілотної авіації зумовила появу відповідного указу Президента України, в якому є доручення «Кабінету Міністрів України із залученням Генерального штабу Збройних Сил України опрацювати питання щодо створення у структурі Збройних Сил України Сил безпілотних систем як окремого роду сил»¹.

У сучасному світі, який швидко розвивається, технологічні досягнення часто змінюють традиційні парадигми, але найбільш очевидними ці перетворення стають під час ведення воєн. Нині у військовій справі спостерігається глибока трансформація, що ґрунтується на досягненнях у сфері двох найважливіших технологій: штучного інтелекту (ШІ) і автономії машин.

Минулого року, обговорюючи нову доктрину модернізації Збройних сил США, тодішній голова Об'єднаного комітету

¹ Про нарощування спроможностей сил оборони: Указ Президента України від 06.02.2024 № 51/2024. <https://www.president.gov.ua/documents/512024-49625>

начальників штабів США генерал армії США Марк Міллі заявив, що «у списку технологій, які приходять до нас так швидко, можливо, найпотужнішою з усіх є штучний інтелект»². І щоб Україна не наступила на «граблі» стратегічної недалекоглядності, слід звернути особливу увагу на сучасний світовий тренд — створення та застосування різноманітних роїв дронів, що вже революційно змінює погляди на військове мистецтво.

У цій статті ми вживатимемо термін «дрон» у більш широкому розумінні, ніж просто безпілотний літальний апарат (БпЛА), — як мобільний, автономний безпілотний апарат (повітряний, наземний, надводний або підводний), запрограмований на виконання конкретних завдань³.

Отже, досвід сучасних воєнних конфліктів і нинішньої війни в Україні свідчить про зростання ролі на полі бою різноманітних зразків дронів. Для виконання різних завдань все активніше застосовують не лише окремі БпЛА, а й одночасно значну їх кількість у групі. Найближча перспектива, яка проглядається, — це перехід до роїв дронів. При цьому постає низка організаційних, технічних, правових та етичних питань, пов'язаних зі створенням роботизованої зброї із застосуванням штучного інтелекту. Така ситуація потребує формування загальної картини щодо тактики роїння дронів, актуалізації знань у цій сфері та аналізу позитивних і негативних для людства наслідків стрімкого розвитку таких технологій.

Дослідженнями, пов'язаними з роївим застосуванням дронів, у багатьох країнах світу займаються вчені та фахівці в різних галузях науки. Їхні праці присвячено різним аспектам цієї проблеми, зокрема розробленню алгорит-

мів координації дронів у рої, розвитку роївого інтелекту, розробкам у сфері інтелектуальних роїв дронів, перспективам застосування смертельної автономної зброї з використанням рою БпЛА, впливу на майбутні війни технології роїння дронів тощо.

Дрони швидко перетворюються на невід'ємну частину бойових можливостей будь-якої армії. Дронізація воєн стала природною кульмінацією змін, які розпочалися в середині 1990-х років і були зумовлені політично вмотивованим імперативом мінімізації ризиків для власних військових (комбатантів). З появою у БпЛА ударної функції у світі поширилися дискусії щодо етичних і юридичних питань їх застосування з огляду на заміну людини машиною під час вбивства як на полі бою, так і в мирний час (наприклад, удари по терористах за допомогою БпЛА у мирний період). Це стосується як зовнішніх пілотів (операторів корисного навантаження), які страждають на посттравматичний стресовий розлад незалежно від того, як далеко відбуваються бойові дії, так і цивільних (некомбатантів), які гинуть унаслідок ударів БпЛА по цілях⁴.

Незважаючи на численні дискусії, БпЛА зусиллями політиків, вчених, фахівців і виробників уже перетворилися на зброю і активно застосовуються в сучасних воєнних конфліктах різної інтенсивності. Збройне протистояння між Вірменією і Азербайджаном за Нагірний Карабах у 2020 р. стало першим конфліктом, у якому обидві сторони використовували БпЛА різного призначення, в тому числі розвідувально-ударні та ударні дрони [1].

Війна в Україні, яка характеризується активними одиничними і груповими застосуваннями БпЛА різного призначення, перевела в практичну площину питання регулярного та масового використання безпілотної авіації на інноваційній основі як безпосередньо на полі бою, так і для завдання ударів по тилкових об'єктах критичної інфраструктури⁵. Безпі-

² Штучний інтелект визнали найпотужнішою зброєю для військових у США. *No Worries. News*. 10.05.2023. <http://surl.li/qznyv>

³ Kallenborn Z. The Era of the Drone Swarm is coming, and we need to be ready for it. *Modern War Institute*. <http://surl.li/qzocxy>; Kallenborn Z., Bleek P. Drones of Mass Destruction: Drone Swarms and the Future of nuclear, chemical, and biological Weapons. *War on the Rocks*. 14.02.2019. <http://surl.li/qzodp>; Berg M. Killer robot swarms, an update. *Politico*. 07.02.2023. <http://surl.li/qzoen>

⁴ Philosophy of Drones. An inquiry beyond ethics: Who will kill whom? <http://surl.li/raoom>

⁵ Thompson K.D. How the Drone War in Ukraine Is Transforming Conflict. *Council on Foreign Relations*. 16.01.2024.

лотники стали смертоноснішими, простішими в експлуатації, меншими за розмірами та доступнішими за ціною (наприклад, FPV). Поряд із БпЛА широкого застосування набули наземні та надводні дрони⁶.

Раніше свідком групових атак БпЛА став Близький Схід, коли ІДІЛ здійснювала до 70 атак за один день, що тимчасово зупинило наступ іракської армії під час битви за Мосул у 2017 р.

Прикладами групового застосування безпілотників у цивільному секторі є світлові шоу, в яких сотні й тисячі БпЛА літають разом з ідеальною синхронністю. Так, у 2016 р. в Книзі рекордів Гіннеса було зафіксовано найбільшу кількість БпЛА, що одночасно перебували в повітрі, сформувавши групу зі 100 безпілотників [2]. На сьогодні світлові шоу з кількома тисячами БпЛА стали вже звичним атрибутом святкових програм.

БпЛА для таких застосувань зазвичай являють собою просту авіаційну платформу (наприклад, квадрокоптер), оснащену бортовим польотним контролером, GPS-датчиком для позиціонування, налаштованими світлодіодами і модулем для зв'язку з наземною станцією керування. Наземна станція використовується для попереднього розрахунку необхідних індивідуальних місій усіх БпЛА під час шоу (траєкторій без зіткнень у відкритому 3D-просторі). Потім кожна місія завантажується на відповідний безпілотник і реалізується через польотний контролер, встановлений на його борту. Наземна станція також постійно контролює стан групи під час шоу і в разі необхідності забезпечує контроль над будь-якими екстремними діями. При цьому окремі безпілотники не «усвідомлюють» ні свого оточення, ні один одного.

<http://surl.li/raovl> ; Ryan M. Drone warfare features in the Ukraine-Russia conflict. It is changing warfare in five ways. 28.08.203. <http://surl.li/raowp>

⁶ Ударні морські дрони у війні проти Росії. *Military*. 20.06.2023. <http://surl.li/rapan> ; «Морські дрони — унікальна розробка СБУ», — Василь Малюк розкрив деталі резонансних спецоперацій Служби безпеки України. <http://surl.li/rapdg>

Роїння дронів є наступним кроком після їх групового застосування [3]. Людство здавна цікавилось ройовою поведінкою в природі, спостерігаючи за птахами, які восени величезними косяками летять на південь, не збиваючись з курсу; або за колонією мурах, які працюють злагоджено, зводячи архітектурні структури, що за складністю не поступаються сучасним мегаполісам; або за бджолами, які здатні точно визначати, де є необхідне для всієї колонії харчування. Можна констатувати, що у військовій сфері тактика рою історично сходиться до часів імперії Чингісхана, хоча будь-якої помітної ролі в тодішніх воєнних конфліктах вона не відіграла [4].

Найближчою до створення і практичного застосування роїв дронів виявилася безпілотна авіація з використанням досягнень у сфері штучного інтелекту. Основними перевагами застосування саме БпЛА вважають їх універсальність, гнучкість, відносно невеликі експлуатаційні витрати і можливість зменшення ролі людського чинника під час виконання поставленого завдання. Конвергенція технологій, пов'язаних із ШІ та автономією машин, дозволила розробити концепцію рою БпЛА, що складається з автономних роботів, які взаємодіють один з одним і функціонують на полі бою як єдине ціле. Реалізація цієї концепції фундаментально змінить характер воєнних конфліктів і розвиток військового мистецтва в ХХІ ст.⁷

При цьому слід зазначити, що глобальний оборонний ландшафт постійно змінюється. Його формують як геополітичні міркування, так і економічні реалії. Утримання величезних парків застарілої військової техніки виявляється не лише стратегічно ненадійним, а й економічно нестійким процесом. За висновками іноземних фахівців, кожен долар, спрямований на підтримку старіючих активів, — це долар, не вкладений в інноваційні технології, які обіцяють змінити наступні воєнні конфлікти. Тому майбутнє — за гнучкими, економічно

⁷ Pawar B. Drone Swarm Technology and its impact on future Warfare. *The Daily Guardian*. 16.05.2020. <http://surl.li/rantw>

ефективними та стратегічно універсальними технологіями, такими як ройові БпЛА.

Базова технологія рою БпЛА фокусується навколо здатності досить великої кількості безпілотників (зазвичай категорій міні/мікро, оскільки зменшення розмірів знижує їхню помітність) автономно ухвалювати рішення на основі спільної інформації, координувати свої дії, самостійно взаємодіяти з іншими БпЛА для досягнення поставленої загальної мети. Через значну кількість безпілотників, що можуть входити до складу рою, рій загалом та окремі БпЛА в ньому матимуть значний ступінь автономності під час пошуку та ураження цілей⁸.

Здатність автономних ройових БпЛА діяти узгоджено в поєднанні з притаманною окремим БпЛА адаптивністю й універсальністю приведе до створення сили, здатної швидко реагувати на мінливі умови на полі бою. Такі вдосконалені завдяки передовому ШІ та космічним технологіям безпілотники є не просто інструментами взаємодії — вони можуть слугувати також потужним стримувальним фактором. Психологічний вимір розгортання роїв БпЛА досить глибокий. На думку окремих фахівців, ретельно скоординований, автономний рій БпЛА в поєднанні з різноманітними наземними, надводними і підводними дронами потенційно може не лише домінувати в бойових сценаріях, а й стримувати ворожу агресію, запобігаючи ескалації в нестабільних регіонах⁹. Сприяння розвитку автономності БпЛА і координації між ними може допомогти військовим відомствам привести свою стратегічну позицію у відповідність до вимог і нюансів воєнних конфліктів ХХІ ст.

Ройня малорозмірних БпЛА розглядають як альтернативу дорогим багатофункціональним безпілотникам, вартість яких зіставна з ціною пілотованих бойових літаків, а то й перевищує її. При цьому, як показує досвід сучасних воєнних конфліктів, такі високовартісні

безпілотники доволі вразливі перед засобами протиповітряної оборони (ППО) і радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника. Натомість кілька десятків або сотень недорогих малорозмірних БпЛА, що функціонують спільно в рамках єдиного плану, неминуче зможуть перенаситити повітряний простір над районом бойових дій. Частина їх, імовірно, буде збито, але ті, що залишаться, зможуть вразити задані цілі. За оцінками американських експертів, рій безпілотників здатний прорвати навіть найсильнішу оборону: десятки, сотні БпЛА можуть бути збиті, але тисячі пройдуть і, маючи достатньо боєприпасів, зможуть вивести з ладу радары ППО та інші засоби захисту, що відкриє шлях для атак крилатими ракетами, пілотованими літаками та іншою традиційною зброєю¹⁰. До цього слід додати переваги безпілотників, вироблених з використанням радіопрозорих або радіопоглинальних матеріалів, що ускладнює для ворога як виявлення рою БпЛА, так і наведення на них зброї.

Розподіл функцій між малорозмірними, недорогими та численними монофункціональними БпЛА (розвідувальні, ударні, для ретрансляції зв'язку, фальшиві — для введення противника в оману тощо) може забезпечити кращу адаптацію за умови прискорення циклів технічного оновлення. Монофункціональні безпілотники дешевше і швидше розробляти, впроваджувати у виробництво (як приклад, FPV). Більше того, об'єднані відповідним чином, вони здатні утворювати рої, розмірність та функціональність яких легко змінювати залежно від умов виконання конкретного завдання.

У статті «Смертельна автономна зброя» [5] увагу акцентовано на тому, що «в перших двох декадах ХХІ ст. в арміях провідних країн світу спостерігалось поступове скорочення кількості особового складу і прийняття на озброєння сучасних систем ураження, розвідки, передачі даних, керування військами, серед яких особливо слід відзначити бойові системи на основі ШІ». Усе це стало можливим завдя-

⁸ Drone Swarm Technology. *UST*. 20.10.2023. <http://surl.li/rbgeq>

⁹ Autonomous Swarm Drones New Face of Warfare. *National Defense*. 13.12.2023. <http://surl.li/raobo>

¹⁰ Hambling D. The US Navy wants swarms of thousands of small drones. *MIT Technology Review*. 24.10.2022. <http://surl.li/ranwm>

ки четвертій промисловій революції — 4IR (за визначенням Клауса Шваба [6]), яка сформувала необхідний науково-технічний ландшафт для дедалі більшої автоматизації (роботизації) всіх процесів і етапів виробництва.

Роїння БпЛА ґрунтується на застосуванні методів та алгоритмів роювого інтелекту (swarm intelligence) як одного з напрямів теорії штучного інтелекту, які забезпечують можливість БпЛА діяти скоординовано, використовуючи децентралізований контроль, автоматизацію та самоорганізацію¹¹. Термін «роювий інтелект» ввели в науковий обіг Херардо Бені та Цзін Ван у 1989 р. в контексті клітинних роботизованих систем¹².

Для реалізації роювого інтелекту в кожний з безпілотників необхідно ввести спеціальне програмне забезпечення і «навчити» його автономно маневрувати не лише відносно цілі, на якій він сфокусований, а й відносно інших, найближчих до нього БпЛА у рої так, щоб уникати зіткнень. На основі спостережень за різними природними прикладами роювої поведінки та з використанням методів математичного й імітаційного моделювання було розроблено різні моделі роювого інтелекту (вовчої зграї, бджолої сім'ї, світлячків тощо [7]), в яких поведінка окремих одиниць ґрунтувалася на різних способах взаємодії з навколишнім середовищем і всередині групи.

Слід зазначити, що роювий інтелект реалізується з урахуванням кількості в рої різних типів монофункціональних БпЛА (DJI Matrice 30T, FPV тощо) різного призначення (розвідувальні, ударні, радіоелектронної протидії, ретрансляційні тощо), конкретної місії (масована атака на об'єкт противника, розвідка, виявлення об'єктів ППО, перевірка маскуваності своїх військ тощо) та заданої цілі (інфраструктурний об'єкт противника, пункти керування зброєю, тиловий стратегічний об'єкт, засоби ППО, склади зі зброєю тощо).

¹¹ Goldstein P. Swarm Intelligence: What Is It and How Are Agencies Using It? *FedTech*. 23.02.2023. <http://surl.li/ralwe>

¹² Swarm intelligence. *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_intelligence

Груповий зв'язок для БпЛА в рої може забезпечуватися на основі радіочастотного, стільникового або супутникового зв'язку і реалізуватися за допомогою розподіленої лазерної «сітчастої» мережі обміну даними¹³. Рій може використовувати також спеціальні мережеві технології, особливо коли діє за межами прямої видимості (BVLOS) і на великих територіях, де наявність зв'язку не гарантовано. Окремі БпЛА можуть постійно підключатися до мережі та відключатися від неї, що робить децентралізовану спеціальну мережеву структуру дуже корисною.

Керування роєм БпЛА часто може здійснюватися за допомогою однієї наземної станції керування, що спрощує необхідне обладнання та вимоги до розгортання. Оскільки БпЛА працюватимуть здебільшого автономно (рівень автономності встановлюється для кожного конкретного застосування), одному оператору не доведеться самостійно керувати кількома БпЛА в режимі реального часу.

Технологію рою можна також використовувати для комбінування БпЛА з іншими роботизованими засобами, такими як наземні, надводні та підводні дрони.

Роїння БпЛА вимагає від розробників вирішення низки проблем. Зокрема, це питання, пов'язані зі здатністю безпілотників зберігати розділення, щоб уникати зіткнень у повітрі; здатністю кожного безпілотника передбачати, де в будь-який момент перебуватимуть сусідні з ним БпЛА; розподілом і перерозподілом завдань між безпілотниками в умовах мінливої бойової обстановки; забезпеченням реконфігурації рою в разі змінення його складу — втрати БпЛА або, навпаки, приєднання додаткових одиниць. Вирішенню цих проблем може сприяти зондування в режимі реального часу, а також використання алгоритмів роювого інтелекту і комп'ютерного зору [7].

Однак однією з основних проблем залишається обмеженість часу застосування безпілотника в польоті, оскільки типовий БпЛА коптерного типу потребує підзарядки приблизно

¹³ AUKUS is moving to intelligent drone swarms. *Asia Times*. 27.03.2023. <http://surl.li/ralzz>

щогодини. Крім того, рої БпЛА дуже вразливі до атак засобами РЕБ. Оскільки рої БпЛА залежать від зв'язку між безпілотниками, порушення цього сигналу може призвести до руйнування рою.

Щоб застосовувати алгоритми координації до рою БпЛА, кожен з безпілотників повинен мати ситуаційну обізнаність, безперервно сприймаючи інформацію про навколишнє середовище. Цій вимозі відповідає отримання змінних параметрів стану сусідніх БпЛА, таких як їх положення, швидкість і кількість. Обмін такими даними між безпілотниками в рої потребує розроблення механізмів локалізації та зв'язку і може привести до зростання обчислювальних витрат унаслідок збільшення розміру рою [2].

Перспективи застосування технологій роїння дронів, насамперед військового призначення, вже усвідомили в багатьох країнах, таких як США, Китай, Ізраїль, РФ, Туреччина, Індія та ін. Військові цих країн прагнуть створити і використовувати як зброю рої автономних дронів, справедливо вважаючи, що вони здатні по-новому вплинути на їхні можливості у воєнних конфліктах.

Першим зареєстрованим випадком застосування рою БпЛА в інтересах повітряної розвідки та спостереження вважають операцію ізраїльських військових у секторі Газа, проведену в травні 2021 р. За допомогою безпілотників, які діяли на основі ройового інтелекту без використання GPS, було визначено, звідки ХАМАС веде вогонь, що дало змогу ЦАХАЛ успішно завдати ударів по цих позиціях. Цю операцію можна вважати чимось середнім між повністю автономними ройовими операціями та напівавтономними, або децентралізованими¹⁴.

США вже провели в каліфорнійській пустелі тестові випробування принаймні з одним роєм із 40 БпЛА, тоді як Агентство передових оборонних дослідницьких проєктів DARPA

стверджує, що можливе створення рою з 1000 безпілотників¹⁵.

Активну позицію займають ВМС США. У квітні 2022 р. вони провели навчання з використанням рою БпЛА для атаки на корабель. На думку експертів, перевага безпілотників порівняно з протикорабельною ракетною атакою полягає в тому, що рій БпЛА може атакувати з різних кутів, прагнучи пошкодити або знищити критично важливі об'єкти корабля: антени радарів, системи озброєння. Плани ВМС США передбачають запуски роїв БпЛА з кораблів, підводних човнів, літаків і наземних транспортних засобів (багатодоменні операції). Безпілотники матимуть різне корисне навантаження: деякі можуть нести датчики, деякі — постановники перешкод або інше обладнання для радіоелектронної боротьби, а деякі — боеголовки. Завдяки об'єднанню проєктів Super Swarm ВМС США зможуть запускати масові рої безпілотників для подолання великих відстаней, проводити детальну розвідку на значній території, а також знаходити й атакувати цілі¹⁶.

Дослідження армії США, проведене ще у 2018 р., засвідчило, що роїння зробить ударні БпЛА щонайменше на 50 % більш смертоносними, а втрати, яких вони можуть зазнати від оборонного вогню, знизяться на 50 %.

Штабні ігри, які проводили військово-повітряні сили США, демонструють величезну цінність на полі бою роїв досить недорогих мережевих безпілотників з високим ступенем автономності. Зокрема, одне з моделювань показало, що вони можуть стати вирішальним фактором у сценаріях захисту острова Тайвань у разі виникнення збройного конфлікту з Китаєм¹⁷.

¹⁵ Harding T., Tollast R. The future of drone warfare: From AI-assisted swarms to unmanned jet aircraft. *The National*. 06.10.2023. <http://surl.li/rbrf>

¹⁶ Hambling D. The US Navy wants swarms of thousands of small drones. *MIT Technology Review*. 24.10.2022. <http://surl.li/ranwm>

¹⁷ Trevithick J. Massive Drone Swarm over Strait Decisive in Taiwan Conflict Wargames. *The War Zone*. 19.05.2022. <http://surl.li/rbsjl>

¹⁴ Briscoe S. Drone Swarms: The Good, the Bad, and the Terrifying Future. *ASIS International*. 19.09.2023. <http://surl.li/rbrnj>

Перші випробування групи БпЛА зі штучним інтелектом було проведено на спільних навчаннях військових із США, Великої Британії та Австралії у 2023 р. Рій безпілотників виконував завдання з виявлення і відстеження військових цілей у репрезентативному середовищі в режимі реального часу. Розробники з цих трьох країн поділилися один з одним своїми ШІ-моделями, щоб забезпечити сумісність задіяних у навчаннях БпЛА¹⁸.

Незважаючи на те, що США, як і раніше, є світовим лідером у галузі технологій БпЛА, саме Китай перебрав на себе першість у виробництві та поширенні у світі безпілотників. Китайці активно працюють над проблемою ведення бойових дій з використанням рою БпЛА. У дослідження в галузі ШІ країна інвестувала \$30 млрд¹⁹, що дає Китаю можливість відігравати одну з перших ролей у вирішенні питань роїння БпЛА. Роботи за цією тематикою ведуться з 2020 р. і мають широку державну підтримку. Одним із перших у світі Китай реалізує концепцію рою бойових БпЛА коптерного типу. Вона передбачає можливість групового удару по противнику за різних конфігурацій рою, причому рій має дуже високу гнучкість і високий ступінь виживання. До складу рою входять дрони з чотирма (MR40) або шістьма (MR150) гвинтами, кожен з яких матиме засоби розвідки (зокрема, РЛС) і боєприпаси. Рій мультикоптерів може діяти в мережецентричному середовищі. Радіус його дії становить приблизно 30 км. У середині цього радіусу практично гарантовано знищуються цілі будь-якого типу²⁰. Китай продемонстрував також роїння 67 безпілотників із нерухомим крилом і серйозно розглядає можливість їх використання з метою нападу на американські авіаносці²¹.

Індія нещодавно провела демонстрацію технології роїння БпЛА коптерного типу на святкуванні Дня армії в 2021 р. У 2022 р. на тлі зростання напруженості на кордоні з Китаєм індійська армія ввела до складу мотопіхоти роїві безпілотники. Передбачається, що в поєднанні з силами наземного маневрування роїві БпЛА забезпечать можливість повітряного маневрування під час наступальних та оборонних операцій. Індійські військово-повітряні сили працюють також над створенням і розгортанням рою з тисяч невеликих БпЛА, які можуть групуватися для знищення засобів ППО противника завдяки своїй величезній кількості²². Можливо, єдиним способом для Індії змінити на свою користь співвідношення з Китаєм щодо розроблення технологій роїння БпЛА є співпраця зі світовими лідерами у цій сфері, такими як США та Ізраїль.

Розробки щодо створення та використання рою БпЛА є також і в Росії, яка намагається не відставати від США і Китаю. В РФ створено систему «Стая-93», в основу якої покладено рій БпЛА Flock-93, що самоорганізується. Кожен з безпілотників здатний взяти на борт до 2,5 кг (5,5 фунтів) різного бойового навантаження. Основним призначенням рою безпілотників є завдання ударів по групових і поодиноких наземних, а також повітряних цілях в умовах протидії систем ППО і засобів РЕБ противника. Американські експерти вважають, що Росія поки що відстає у сфері подібних розробок від провідних західних країн, але це відставання буде поступово скорочуватися²³.

Просувається у розробках роїння БпЛА і Туреччина. У 2023 р. за участю турецької оборонної компанії Havelsan було проведено польові випробування, в яких взяли участь два

¹⁸ Saballamay J. UK, US, Australia Jointly Test AI-Enabled Drone Swarm. *The Defense Post*. 31.05.2023. <http://surl.li/rbsnp>

¹⁹ Marks R.J. Meet the U.S. Army new Drone Swarms. *Mind Matters*. 11.09.2020. <http://surl.li/rbsta>

²⁰ Gabriel H. China speeding into the low-cost drone swarm lead. *Asia Times*. 06.11.2023. <http://surl.li/rbsyt>

²¹ Drone Swarm Technology and its Impact on future Warfare. *Defence Guardian*. 16.05.2020. <http://surl.li/rbtak>

²² Sharma R. Indian Air Force 'Bets Big' on Swarm Drone Technology to Overwhelm, Outfox Enemy Defense Systems. *EurAsian Times*. 19.08.2023. <http://surl.li/rbtdv>

²³ Bendelt S. Strength in Numbers: Russia and the Future of Drone Swarms. *Modern War Institute* 20.04.2021. <http://surl.li/rcphm>

БпЛА *Baha*, два безпілотних наземних апарати *Barkan* і рій з п'яти БпЛА²⁴.

Разом із великою силою приходять і велика відповідальність, і поява автономних ройових БпЛА не є винятком. Потенціал ройових безпілотників зі смертоносними можливостями ставить перед світовою спільнотою серйозні етичні питання. Рішення, які раніше були прерогативою людей-солдатів, незабаром можуть ухвалюватися алгоритмами, і цей перехід потребує ретельного аналізу та контролю. Створення надійних рамок застосовності стає першочерговим завданням. Такі рамки мають не лише визначати правила використання роїв БпЛА, а й забезпечувати їх відповідність міжнародно визнаним нормам і стандартам. Це особливо важливо з огляду на транснаціональний характер багатьох сучасних конфліктів і зацікавленість світової спільноти в запобіганні ненавмисній ескалації²⁵.

У міру того, як країни всього світу доходять згоди щодо стратегічних імперативів сучасної епохи, гонка за використання всього потенціалу автономних ройових БпЛА очевидно посилиться. Ті, хто почне раніше, зможуть отримати вирішальну перевагу як у безпосередній бойовій ефективності, так і в ширших можливостях психологічного тиску.

Які ж перспективи щодо розроблення технологій роїння дронів має Україна? На сьогодні країна перебуває у стані війни і фактично перетворилася на випробувальний полігон для новітніх зразків озброєння, оскільки всі прагнуть створити більш смертоносні та економічно ефективні безпілотники. Так, у вересні 2023 р. Міністерство оборони України допустило до експлуатації в ЗСУ безпілотний комплекс *Saker Scout*, керований програмою на основі штучного інтелекту. До складу цього комплексу входять флагманський БпЛА-розвідник, а також кілька дронів-камікадзе

типу *FPV*, дії яких коригуються, зокрема, за допомогою флагманського безпілотника²⁶.

Велика Британія співпрацює з деякими країнами, в тому числі й з США, щоб надати Україні тисячі нових БпЛА, які працюють за підтримки штучного інтелекту²⁷.

Українські виробники БпЛА також не залишаються осторонь і розробляють окремі технології на основі ШІ. Компанія *Twist Robotics* представила тестову версію свого програмного забезпечення на базі ШІ, яке здатне оновити український арсенал безпілотників *FPV*²⁸. Компанія *DevDroid* розробила кулеметні установки з використанням ШІ. Нейромережа дозволяє знаходити ціль — ворожих солдатів — на відстані 800 м, автоматично фіксувати її на полі бою, наводити кулемет і налаштовувати балістику²⁹.

Незважаючи на складні обставини воєнного часу, перспективи розроблення технологій роїння дронів (БпЛА, наземних, надводних, підводних) в Україні існують за умови цілеспрямованої допомоги з боку таких провідних у цій галузі країн, як США, Ізраїль і Велика Британія.

Висновки. З появою технологій ройового інтелекту, складних систем озброєння і новітніх матеріалів рої дронів здатні швидко розвиватися і в найближчі 10–15 років перейти на етап домінування. Можливо, навіть раніше провідні в економічному, науково-технічному та військовому плані країни світу відмовляться від дорогих і складних пілотованих авіаційних операцій на користь БпЛА та їхніх роїв, здатних виконувати деякі функції без ризику для життя особового складу.

²⁶ Бойові завдання в ЗСУ виконуватимуть дрони зі штучним інтелектом. *Militarnyi*. 04.09.2023. <http://surl.li/rbuay>

²⁷ Bloomberg: Британія і США планують надати Україні тисячі дронів, якими керуватиме штучний інтелект. *Українська правда*. 18.02.2024. <http://surl.li/rbunf>

²⁸ Як війна в Україні створює БпЛА із штучним інтелектом. *Speka*. 26.07.2023. <http://surl.li/rbuos>

²⁹ Штучний інтелект на полі бою. Огляд розумної зброї: Україна, Ізраїль, США, Австралія. *BBC Україна*. 20.01.2024. <http://surl.li/rbupq>

²⁴ Ozberk T. Turkey's Havelsan tests robots, drone swarm for Digital Troop concept. *Defense News*. 24.08.2023. <http://surl.li/rbtmmp>

²⁵ Maguire L. The Ethics of Drone Warfare. *Philosophy Talk*. 09.09.2015. <http://surl.li/rbtm>

Незважаючи на позитивні результати експериментів щодо роїння безпілотників, їх поки можна вважати проміжними, оскільки на сьогодні немає жодної роївової системи БПЛА та роїв інших видів дронів чи їх комбінацій, які було б прийнято на озброєння. Для подальшої реалізації концепцій роїння дронів потрібно вирішити низку проблем, про які йшлося вище.

Разом з тим, життєво важливим стає розроблення технологій боротьби з роєм дронів, і країни світу працюватимуть над тим, як за до-

помогою III і машинного навчання перемогти рій дронів. Більш розумні дрони створять значні труднощі, якщо вони атакуватимуть десятками і навіть сотнями з різних напрямків і висот, одночасно з повітря, землі та води.

Отже, найбільш актуальними напрямками подальших досліджень є такі: створення й удосконалення алгоритмів роївового інтелекту; способи боротьби (протидії) рою дронів; опрацювання етичних та юридичних аспектів застосування роїв дронів, особливо оснащених зброєю.

REFERENCES

1. Hecht E. Drones in the Nagorno-Karabakh War: Analyzing the Data. *Military Strategy Magazine*. 2022. 7(4): 31–37. <https://www.militarystrategymagazine.com/article/drones-in-the-nagorno-karabakh-war-analyzing-the-data/>
2. Abdelkader M., Güler S., Jaleel H., Shamma J.S. Aerial Swarms: Recent Applications and Challenges. *Curr. Robot. Rep.* 2021. 2: 309–320. <https://doi.org/10.1007/s43154-021-00063-4>
3. Horbulin V.P., Mosov S.P. Unmanned military aviation is the focus of global scientific and technological progress. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (11): 48–56. <https://doi.org/10.15407/visn2023.11.048> [Горбулін В.П., Мосов С.П. Безпілотна авіація військового призначення у фокусі світового науково-технічного прогресу. *Вісник НАН України*. 2023. № 11. С. 48–56.]
4. Mosov S.P., Stankevich S.A. The place and role of asymmetry in war. *Science and Defence*. 2023. (1): 28–36. <https://doi.org/10.33099/2618-1614-2023-21-1-28-36> [Мосов С.П., Станкевич С.А. Місце і роль асиметрії у війні. *Наука і оборона*. 2023. № 1. С. 28–36.]
5. Horbulin V.P., Mosov S.P. Deadly autonomous weapon. *Oboronnyi Visnyk*. 2022. (3-4): 18–24 (in Ukrainian). [Горбулін В., Мосов С. Смертельна автономна зброя. *Оборонний вісник*. 2022. № 3-4. С. 18–24.]
6. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. Crown, 2017.
7. Zhou Y., Rao B., Wang W. UAV Swarm Intelligence: Recent Advances and Future Trends. *EEE Access*. 2020. 8: 183856. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3028865>

Volodymyr P. Horbulin

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Sergey P. Mosov

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0833-3187>

DRONE SWARMS ARE THE CULMINATION OF THE DRONEIZATION OF WARS

The article systemically discusses the topical issue related to the creation and use of military drone swarms. It is shown that the world has seen a transition from individual uses of UAVs to group and mass use, the culmination of which is the swarming of drones – mobile autonomous unmanned vehicles (air, ground, underwater, or surface), programmed to perform appropriate tasks. The features characterizing drone swarm are listed, and the general conditions for the implementation of swarm intelligence are defined. Swarm technology can also be used to combine UAVs with other robotic means. The current state of creation and prospects for the use of drone swarming technology, primarily for military purposes, in the leading countries of the world are analyzed. It is concluded that in the next 10-15 years, with the development of swarm intelligence, complex weapons systems and the novel materials, drone swarms will enter the stage of dominance.

Cite this article: Horbulin V.P., Mosov S.P. Drone swarms are the culmination of the droneization of wars. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2024. (3): 3–11. <https://doi.org/10.15407/visn2024.03.003>