

## Роїння дронів військового призначення: реалії та перспективи

**Резюме.** У статті на системній основі досліджено питання щодо створення та застосування рою дронів військового призначення. Показано, що відбувся перехід від поодиноких застосувань безпілотних літальних апаратів до групового та масового застосування, кульмінацією якого стає роїння дронів. Визначено особливості, що характеризують рій безпілотників: роївий інтелект, тактика рою, місія рою, спосіб формування рою та інші, а також переваги.

**Ключові слова:** дрон; рій дронів; роївий інтелект; безпілотний літальний апарат; воєнний конфлікт.

У монографії “Безпілотна авіація у військовій справі” (2019) [1] у розділі “Перспективи розвитку безпілотної авіації” акцентовано увагу на новому напрямі розвитку безпілотної авіації, яким є створення та застосування рою безпілотних літальних апаратів (БпЛА) різноманітного призначення. Очікувана реакція на цей факт в Україні поки ще на стадії осмислення.

Аналогічна ситуація вже мала місце стосовно відношення до перспектив безпілотної авіації для України після виходу в 2002 році у відкритому друці монографії “Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності: досвід, проблемні питання і тенденції” [2], що була підготовлена спільним авторським колективом Національної академії оборони України та Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова і в якій акцентувалась увага на перспективах безпілотної авіації. Посилення позиції перспективності безпілотної авіації було здійснене автором цієї статті в особистій монографії “Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития” (2008).

Зміна поглядів почала відбуватися лише в ході повномасштабної війни, де безпілотна авіація відіграє провідну роль у вирішенні низки важливих тактичних, оперативно-тактичних і оперативних завдань. Її значимість обумовила появу Указу Президента України “Про нарощування спроможностей сил оборони” від 06.02.2024 №51/2024, яким доручено “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” [3], хоча це питання з позиції

озброєння та військової техніки, а також термінології, є дискусійним. ЗС України застосовують у ході війни не лише повітряні, а також наземні та надводні дрони [4,5], у плані – підводні [6,7].

У сьогоденні світі, що швидко розвивається, де технологічні досягнення змінюють традиційні парадигми, ніде ця трансформація не є більш очевидною, ніж у сучасних воєнних конфліктах. Нині спостерігається глибока трансформація у військовій справі, що ґрунтується на досягненнях у сфері двох найважливіших технологій, пов’язаних зі штучним інтелектом (ШІ) і автономією машин. За заявою голови Об’єднаного комітету начальників штабів генерала армії США М. Міллі, “у списку технологій, які приходять до нас так швидко, можливо, найпотужнішою з усіх є штучний інтелект” [8].

Щоб країна не наступила у черговий раз на “граблі” стратегічної недалекрглядності слід звернути увагу на сучасний світовий тренд – створення та застосування різноманітних роїв дронів, що вже призводить до революційної зміни поглядів на воєнне мистецтво. У цій статті дрон розглядається у більш широкому розумінні ніж БпЛА – мобільний, автономний безпілотний апарат (повітряний, наземний, підводний, надводний), запрограмований на виконання відповідних завдань [9-11].

**Постановка проблеми.** Досвід сучасних воєнних конфліктів і теперішньої війни в Україні свідчить про зростання ролі дронів та різноманітності їхніх зразків (повітряних, наземних, надводних) на полі бою різного функціонального призначення. Разом з цим має місце активне застосування не лише поодиноких БпЛА, а також значної їх кількості одночасно у групі. Найближча сучасна перспектива – перехід до роїв дронів.

При цьому буде виникати низка організаційних, технічних, правових та етичних питань, пов'язаних із застосуванням рою дронів, особливо з урахуванням активного розвитку ШІ та його використання у сфері створення роботизованої зброї.

Така ситуація обумовлює потребу в актуалізації знань щодо рою дронів і його місій, позитивних і негативних сторін для людства, що, у свою чергу, вимагає формування загальної картини щодо роїння дронів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями, пов'язаними із дослідженнями щодо створення та застосування рою дронів, займаються вчені та фахівці різних країн світу: М. Абделькадер та ін. (алгоритми координації в рої дронів) [16], М. Берг (рої роботів-убивць) [11], Ф. Гольдштейн (ройовий інтелект) [25], Г. Гонрада (розробки в сфері інтелектуальних роїв дронів) [28]; В. Горбулін (смертельна автономна зброя з використанням рою БПЛА) [23], З. Калленборн та ін. (рої дронів і майбутнє ядерної, хімічної та біологічної зброї) [10], Б. Павар (технологія рою дронів та її вплив на майбутню війну) [19], Д. Хемблінг (рої дронів і його застосування) [22], Ю. Чжоу та ін. (основи та досягнення інтелектуальних технологій рою БПЛА) [27], Р. Чік (автономні роєві дрони) [21] та інші.

Праці зазначених вчених і фахівців у більшому ступені присвячені окремим питанням щодо рою дронів та його можливого застосування без актуалізації на системній основі знань і поглядів щодо позитивних і негативних сторін створення та застосування рою дронів в умовах воєнних конфліктів.

**Мета статті** - актуалізувати знання та погляди щодо створення та застосування рою дронів в умовах воєнних конфліктів.

**Виклад основного матеріалу.** Дрони швидко стають невід'ємною частиною бойових можливостей будь-якої розвинутої країни або країни, що активно розвивається. Дронізація війн стала природною кульмінацією змін, що розпочалися в середині 1990-х років і були зумовлені політично вмотивованим імперативом мінімізації ризиків для власних військових (комбатантів). Дискусії світового масштабу щодо застосування БПЛА, з появою в них ударної функції, тривалий час відбуваються з етичних і юридичних питань у площині заміни людини машиною під час вбивства як у ході бойових дій, так і в мирний час. Це пов'язано як із

зовнішніми пілотами (операторами корисного навантаження), які страждають на посттравматичний стресовий розлад, незалежно від того, як далеко відбуваються бойові дії (чи наносяться удари з використанням БПЛА за тисячі кілометрів по терористах у мирний період часу), так із некомбатантами (цивільними особами), які гинуть унаслідок ударів БПЛА по цілі (цілях) [12].

Незважаючи на численні дискусії, БПЛА, перетворившись на зброю зусиллями політиків, вчених, фахівців і виробників, активно застосовуються в ході сучасних воєнних конфліктів різної інтенсивності. Збройний конфлікт між Вірменією і Азербайджаном за Нагорний Карабах в 2020 році став першим конфліктом, у ході якого обидві сторони використовували БПЛА різного призначення, у тому числі розвідувально-ударні та ударні [13].

Широкомасштабна війна в Україні, яка характеризується активними одиночними і груповими застосуваннями БПЛА різного призначення, перевела в практичну площину питання регулярного та масового застосування безпілотної авіації на інноваційній основі, як безпосередньо на полі бою, так і в умовах нанесення ударів по тилових об'єктах критичної інфраструктури [14,15]. Безпілотники стали смертоносніші, простіші в експлуатації, менші за розмірами та доступніші за ціною (наприклад, FPV). Разом із БПЛА застосовуються наземні та надводні дрони [4,5].

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

Прикладами групового застосування БПЛА у цивільному секторі є світлові шоу, в яких сотні або тисячі безпілотників літають разом з ідеальною синхронністю. Так, у 2016 році Intel уперше занесла в Книгу рекордів Гіннеса найбільшу кількість БПЛА, що перебували в повітрі одночасно, сформувавши групу зі 100 безпілотників, оснащених світлодіодами, за якою послідував ще один рекорд у 500 безпілотників того ж року. Крайній рекорд найбільшого шоу з використанням БПЛА був поставлений у 2018 році з 2018 безпілотниками [16]. У таких виконаннях БПЛА зазвичай являє собою просту авіаційну платформу (наприклад, квадрокоптер), оснащену бортовим польотним контролером, GPS-датчиком для

позиціонування, настроюваними світлодіодами і модулем для зв'язку з наземною станцією управління. Наземна станція використовується для попереднього розрахунку необхідних індивідуальних місій (траєкторій без зіткнень у відкритому 3D-просторі) всіх БпЛА під час шоу. Потім кожна місія завантажується на відповідний безпілоти́к і реалізується через польотний контролер, встановлений на його борту. Наземна станція також постійно контролює стан групи під час шоу і забезпечує контроль над будь-якими необхідними екстремими діями. Разом з тим, окремі безпілоти́ки не усвідомлюють ні свого оточення, ні один одного.

Наступний крок після групового застосування в ері дронів – рої дронів [17]. Людство давно цікавиться роювою поведінкою, спостерігаючи за птахами, які в осені летять на південь величезними косяками, не збиваючись з курсу; спостерігаючи за колонією мурах, які працюють злагоджено і зводять такі архітектурні структури, що за складністю не поступаються сучасним мегаполісам; спостерігаючи за бджолами, які здатні точно визначати і добувати необхідне для всієї колонії харчування тощо. Історично можна констатувати, що у воєнній сфері тактика рою сходиться до Чингісхана, хоча часто не відігравала центральної ролі у воєнних конфліктах того часу [18].

Найближчою до створення і практичного застосування роїв дронів виявилась безпілотна авіація з використанням досягнень у сфері ШІ (рис. 1). Основними перевагами використання саме БпЛА вважається універсальність, гнучкість, відносно невеликі експлуатаційні витрати і можливість виключення людського чинника під час виконання поставленого завдання. Конвергенція технологій, що пов'язана із ШІ й автономією машин, дозволила створити концепцію “Рій БпЛА”, що складається із взаємодіючих автономних роботів, які функціонують на полі бою як єдине ціле. Реалізація цієї концепції призведе до фундаментальної зміни характеру воєнних конфліктів і воєнного мистецтва в цілому в ХХІ столітті [19].

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 тільки стратегічно ненадійним, а й економічно нестійким процесом. Кожен долар, спрямований на підтримку старіючих активів, за висновками іноземних фахівців, – це долар, не вкладений в інноваційні технології, що обіцяють змінити майбутнє конфліктів. Тому, майбутнє за гнучкими, економічно ефективними та стратегічно універсальними технологіями, втіленням яких є рої БпЛА.

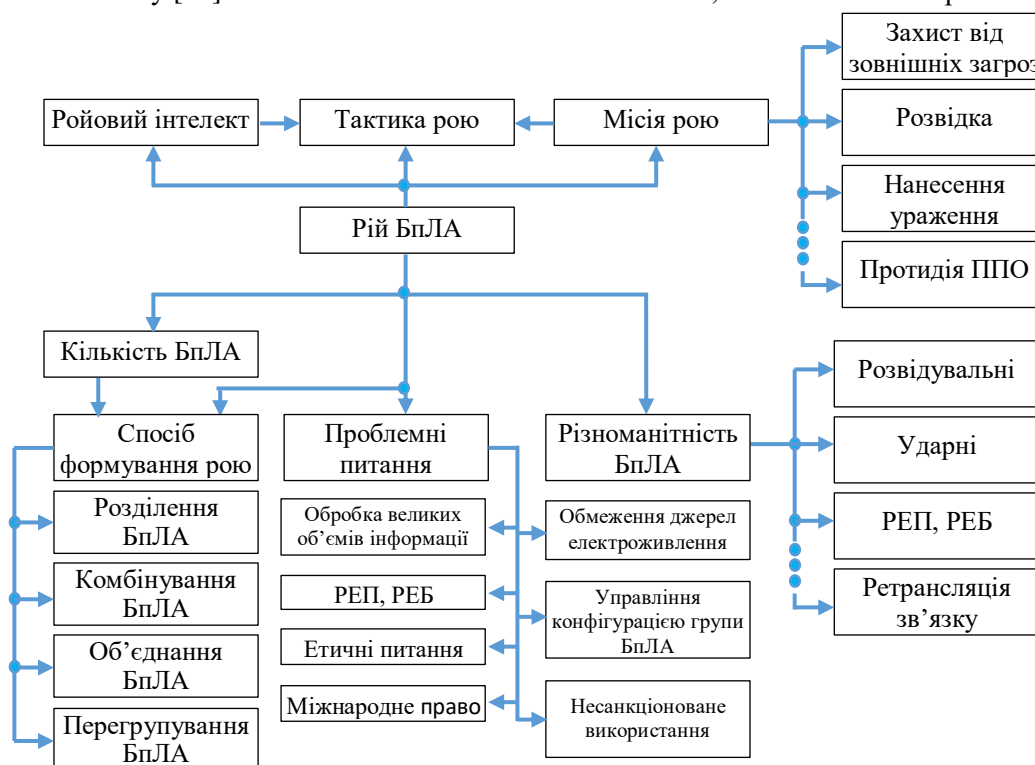


Рис. 1. Застосування рою БпЛА

Базова технологія рою БпЛА обертається навколо здатності дуже великої кількості безпілотників, зазвичай у категорії міні/мікро (зменшення розмірів зменшує їхню помітність), автономно ухвалювати рішення на основі спільної інформації, координувати свої дії, діяти самостійно по відношенню до інших БпЛА для досягнення поставленої загальної мети. Через значну кількість безпілотників, що можуть входити до складу будь-якого рою, існує значний ступінь автономії, яку рій загалом та окремі БпЛА можуть проявляти, наприклад, під час пошуку та ураження цілей [19,20].

Здатність автономних ройових БпЛА діяти узгоджено в поєднанні з притаманною окремим БпЛА адаптивністю й універсальністю призведе до створення сили, здатної швидко реагувати на мінливі умови на полі бою. Ці безпілотники, вдосконалені завдяки передовому ШІ та космічним технологіям, є не просто інструментами взаємодії, бо вони можуть слугувати водночас потужним стримувальним фактором. Психологічний вимір їхнього розгортання досить глибокий: ретельно скоординований, автономний рій БпЛА, а також у поєднанні з різноманітними дронами (наземними, надводними і підводними) не тільки потенційно може, за поглядами іноземних фахівців, домінувати у бойових сценаріях, а також стримувати потенційну агресію, запобігаючи ескалації в нестабільних регіонах [21]. Сприяючи розвитку автономності БпЛА і координації між БпЛА, воєнні відомства можуть привести свою стратегічну позицію у відповідність з вимогами і нюансами воєнних конфліктів ХХІ-го століття.

Ройня малорозмірних БпЛА розглядається іноземними фахівцями як альтернатива дорогим багатофункціональним безпілотникам, вартість яких порівняна з ціною пілотованих бойових літаків, а то й перевершує її. При цьому такі безпілотники вельми вразливі, як показує сучасний досвід воєнних конфліктів, перед діями засобів протиповітряної оборони (ППО) і радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника.

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, будуть здатні вразити задані цілі. Рій безпілотників, за оцінкою американських експертів, здатний прорвати найсильнішу оборону: десятки або

сотні БпЛА можуть бути збиті, але тисячі пройдуть, маючи достатньо боєприпасів, щоб вивести з ладу радары ППО та інші засоби захисту. Це відкриє шлях для атак крилатими ракетами, пілотованими літаками та іншою традиційною зброєю [22]. До цього слід додати переваги безпілотників, виробництво яких відбувається з використанням радіопрозорих або радіопоглинаючих матеріалів, щодо ускладнення як виявлення рою БпЛА, так і наведення на них зброї.

Розподіл функцій під час розв'язання завдань між малорозмірними, недорогими та численними монофункціональними БпЛА (розвідувальні, ударні, ретрансляції зв'язку, хибні для введення противника в оману тощо) може забезпечити кращу адаптацію за умов прискорення циклів технічного оновлення. Монофункціональні безпілотники дешевше і швидше розробляти і запускати у виробництво (наприклад, FPV). Більш того, об'єднані відповідним чином, вони здатні утворювати легко формовані рої різної розмірності та функціональності, які найбільше будуть підходити для виконання конкретних завдань.

У праці “Смертельна автономна зброя” (2022) акцентується увага на тому, що “у 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” [23]. Усе це відбувалося завдяки четвертій промисловій революції – 4IR (за визначенням К. Шваба [24]), яка сформувала необхідний науково-технічний ландшафт для дедалі більшої автоматизації (роботизації) усіх процесів і етапів виробництва.

Створення та використання рою БпЛА може відбуватися завдяки ройовому інтелекту (РІ), під яким розуміється галузь ШІ, яка фокусується на використанні програмного забезпечення ШІ, що дає змогу БпЛА діяти скоординовано, використовуючи децентралізований контроль, автоматизацію та самоорганізацію [25]. Термін “ройовий інтелект” був введений Херардо Бені та Цзін Ваном у 1989 році в контексті клітинних роботизованих систем [26].

Для реалізації РІ в кожний БпЛА необхідно ввести спеціальне програмне забезпечення ШІ, у результаті реалізації якого кожний з безпілотників має навчитися маневрувати автономно не тільки відносно

цїлі, на якій він сфокусований, а й відносно інших найближчих БпЛА у рої, щоб уникнути зіткнення (рис. 2). Спостерігаючи за різними природними прикладами роїв, з використанням методів математичного та імітаційного моделювання були розроблені різні моделі РІ (вовчої зграї, бджолоїної сім'ї, світлячків тощо [27]), чия поведінка ґрунтувалася на різних способах взаємодії з навколишнім середовищем і між собою.

Слід зазначити, що РІ реалізується для умов:

$$PI = f(A, M, C),$$

де  $A$  – кількість різнотипних (DJI Matrice 30T, FPV тощо) монофункціональних БпЛА різного призначення (розвідувальні, ударні, радіоелектронної протидії, ретрансляції зв'язку тощо) в рої для виконання конкретної місії  $M$  (масована атака на об'єкт противника, розвідка об'єктів противника, викриття об'єктів ППО, перевірка маскування своїх військ тощо) по відношенню до цїлі  $C$  (інфраструктурний об'єкт противника; пункти управління зброєю противника; тиловий стратегічний об'єкт противника; засоби ППО противника; склади зі зброєю тощо).

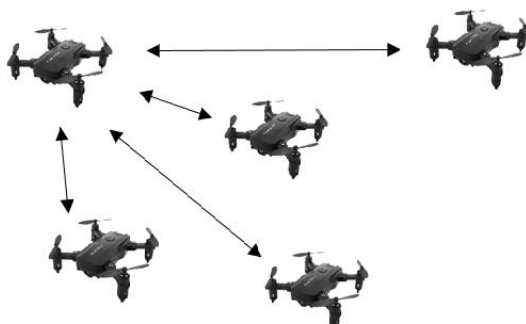


Рис. 2. Зберігання розділення (відстані від інших БпЛА) в умовах рою

Груповий зв'язок для БпЛА в рої може ґрунтуватися на радіочастотному, стільниковому або супутниковому зв'язку, а також може реалізуватися за допомогою розподіленої лазерної "сітчастої" мережі обміну даними [28]. Рій може використовувати спеціальні мережеві технології, особливо під час функціонування за межами прямої видимості (BVLOS) і на великих територіях, де наявний зв'язок не гарантований. Окремі БпЛА можуть постійно

підключатися до мережі та відключатися від неї, що робить децентралізовану спеціальну мережеву структуру дуже корисною.

Управління роєм БпЛА часто може здійснюватися за допомогою однієї наземної станції управління (рис. 3), що спрощує вимоги до розгортання та обладнання, хоча БпЛА здебільшого працюватимуть автономно (рівні автономності встановлені), тож одному оператору не доведеться самотійно керувати кількома БпЛА в режимі реального часу.

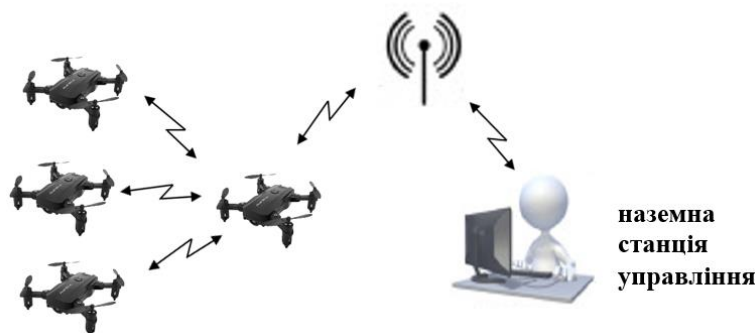


Рис. 3. Управління роєм БпЛА через наземну станцію управління та автономно

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 питань, як-то здатність зберігати розділення, щоб уникати зіткнень у повітрі, і здатність кожного безпілота

передбачати, де у будь-який момент перебуватимуть сусідні з ним БпЛА; розподіл і перерозподіл завдань між безпілотниками в умовах мінливої бойової обстановки; забезпечення реконфігурації рою в разі зміни його складу – втрати БпЛА або, навпаки, додавання додаткових БпЛА. Цим можливостям може сприяти зондування в

масштабі реального часу, а також алгоритми РІ і комп'ютерного зору [20, 27].

Також, однією з основних проблем залишається обмеженість терміну застосування БпЛА в польоті, оскільки типовий БпЛА коптерного типу вимагає підзарядки приблизно щогодини. Рої БпЛА вразливі для атак РЕБ і РЕП. 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 БпЛА повинен мати почуття ситуаційної обізнаності, безперервно сприймаючи навколишнє середовище. Зазначена вимога відповідає отриманню змінних параметрів щодо стану сусідніх БпЛА, таких як положення, швидкість і співвідношення. Обмін такими даними між безпілотниками в рої вимагає розроблення механізмів локалізації та зв'язку і може призвести до збільшення обчислювальних витрат унаслідок збільшення розміру рою [16].

Перспективи створення та використання технології роїння дронів, і, в першу чергу, роїння БпЛА військового призначення, вже охопили низку країн, серед яких США, КНР, Ізраїль, РФ, Туреччина, Індія та інші. Країни створили або прагнуть створити і використовувати в якості зброї рої автономних дронів, які здатні по-новому вплинути на руйнівні можливості в воєнних конфліктах. Майбутнє за гнучкими, економічно ефективними та стратегічно універсальними технологіями, втіленням яких є роїві дрони.

Першим зареєстрованим випадком застосування рою БпЛА в інтересах повітряної розвідки та спостереження вважається операція ізраїльських військових в секторі Газа в травні 2021 року. Завдяки спостереженню безпілотники, що управлялися РІ без допомоги GPS, визначили, звідки і коли ХАМАС вів вогонь, що дало змогу ЦАХАЛу успішно атакувати и завдати ударів по цих позиціях [29]. Цю операцію можна вважати серединою між повністю автономними роївими операціями та напіваавтономними, або децентралізованими.

США вже провели випробування, принаймні, з одним роєм із 40 БпЛА у каліфорнійській пустелі, тоді як Агентство передових оборонних дослідницьких проєктів DARPA стверджує, що можливе створення рою з 1000 безпілотників [30]. Активну позицію займають ВМС США. У квітні 2022

року вони провели навчання з використанням рою БпЛА для атаки на корабель. Перевага безпілотників, на думку експертів, у порівнянні з протикорабельною ракетою Нагрооп полягає в тому, що рій БпЛА може атакувати з різних кутів, прагнучи пошкодити або знищити критично важливі об'єкти корабля: антени радарів і системи озброєння. Плани ВМС США включають запуски роїв БпЛА з кораблів, підводних човнів, літаків і наземних транспортних засобів ("багатодоменні операції"). Безпілотники матимуть різне корисне навантаження: деякі можуть нести різні за призначенням датчики, деякі – постановники перешкод або інше обладнання для радіоелектронної боротьби, а деякі – боєголовки. Завдяки об'єднанню проєктів Super Swarm ВМС США зможуть запускати масові рої безпілотників для подолання великих відстаней, проводити детальну розвідку на великій території, а також знаходити й атакувати цілі [22]. Дослідження армії США, проведене ще у 2018 року, засвідчило, що роїння зробить ударні БпЛА щонайменше на 50% смертоноснішими, а втрати, яких вони можуть зазнати від оборонного вогню, знизяться на 50%.

Військові ігри, що проводили військово-повітряні сили (ВПС) США, продовжують демонструвати величезну цінність, яку пропонують рої відносно недорогих мережевих безпілотників з високим ступенем автономності. Зокрема, моделювання показало, що вони можуть стати вирішальними факторами в сценаріях захисту острова Тайвань за умов виникнення збройного конфлікту з Китаєм [31].

Перші випробування групи БпЛА зі ШІ були проведені на спільних навчаннях військових із США, Великої Британії та Австралії у 2023 році. Рій безпілотників виконував завдання виявлення і відстеження військових цілей в репрезентативному середовищі в масштабі реального часу. Захід дав змогу трьом країнам поділитися моделями ШІ, щоб забезпечити сумісність із БпЛА, що були задіяні в навчаннях [32].

Незважаючи на те, що США, як і раніше, є світовим лідером у галузі технологій БпЛА, саме Китай перебрав на себе лідерство у виробництві та поширенні безпілотників у світі. Китайці працюють над питанням ведення бойових дій з використанням рою БпЛА. У напрямку досліджень у галузі ШІ країна інвестувала \$30 млрд [33], що надає Китаю можливість грати одну з перших ролей у вирішенні питань роїння БпЛА. Розробки з

цієї тематики отримують у країні істотну державну підтримку і ведуться з 2020 року. Одним з 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 високі гнучкість застосування і ступінь виживання. До складу рою входять дрони з чотирма (MR40) або шістьма (MR150) гвинтами, кожен із них буде нести засоби розвідки (включно з РЛС) і авіаційні боєприпаси. Рій мультикоптерів може діяти в мережецентричному середовищі. Радіус його дії складає приблизно 30 км, усередині цього радіусу практично гарантовано знищуються цілі будь-якого типу [34]. Китай також продемонстрував роїння БпЛА з використанням 67 безпілотників із нерухомих крилом і серйозно розглядає можливість нападу на американські авіаносці [35].

Індія нещодавно здійснила демонстрацію технології рою БпЛА коптерного типу в День армії 2021 року. У 2022 році, на тлі зростаючої напруженості на кордоні з Китаєм, індійська армія ввела до складу мотопіхоти роїнові безпілотники. Передбачається, що в поєднанні з силами наземного маневрування роїнові БпЛА забезпечать можливість повітряного маневрування під час наступальних і оборонних операцій. Індійські ВПС також працюють над створенням, розгортанням і контролем рою з тисяч невеликих БпЛА, які можуть групуватися разом, щоб розтросувати засоби ППО своєю величезною чисельністю [36]. Можливо, що єдиним способом змінити співвідношення з Китаєм щодо розробки технологій роїння БпЛА є співпраця Індії зі світовими лідерами у цій сфері, якими є США й Ізраїль.

Розробки щодо створення та використання рою БпЛА здійснюються в РФ, яка намагається не відставати від США і Китаю. У країні розроблена система "Стая-93", основою якої є рій БпЛА СОМ-93, що самоорганізується. Кожен з безпілотників здатний взяти на борт до 2,5 кг різного бойового навантаження. Основним призначенням рою безпілотників є нанесення 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 відставання буде поступово скорочуватися [37].

Просувається у напрямку роїння БпЛА і Туреччина. У 2023 році за участю турецької оборонної компанії Havelsan були проведені польові випробування, в яких взяли участь: два БпЛА Ваха, два безпілотних наземних апарати Barkan і рій, що складався з п'яти БпЛА [38].

Разом із великою силою приходить і велика відповідальність, і поява автономних роїнових БпЛА не є винятком. Потенціал цих безпілотників, оснащених смертоносними можливостями, викликає серйозні етичні питання у світовому суспільстві. Рішення, які колись були прерогативою людей-солдатів, незабаром можуть ухвалюватися алгоритмами, і цей перехід вимагає ретельного самоаналізу і контролю.

Створення надійних рамок управління стає першочерговим завданням. Такі рамки мають не тільки визначати правила застосування роїв БпЛА, а й забезпечувати відповідність їхнього розгортання міжнародно визнаним нормам і стандартам. Це особливо важливо з огляду на транснаціональний характер багатьох сучасних конфліктів і зацікавленість світової спільноти в запобіганні ненавмисній ескалації [21,39].

У міру того, як країни всього світу приходять до згоди зі стратегічними імперативами сучасної епохи, гонка за використання всього потенціалу автономних роїнових БпЛА, безсумнівно, посилиться. Ранні послідовники можуть отримати вирішальну перевагу як з погляду безпосередньої бойової ефективності, так і з погляду ширшої психологічної війни.

Якими є перспективи України щодо розробки технології роїння дронів? На теперішній час країна знаходиться в стані війни і фактично перетворилась на випробувальний полігон для новітніх зразків озброєння, оскільки країни прагнуть створити більш смертоносні та економічно ефективні безпілотники. Так, наприклад, у вересні 2023 року МО України допустило БпЛА Saker Scout до експлуатації в ЗС України, керованих програмою на основі ШІ. У складі безпілотного авіаційного комплексу флагманський БпЛА-розвідник, а також кілька дронів-камікадзе типу FPV, які коригуються в тому числі за допомогою флагманського безпілотника [40]. Велика Британія співпрацює з країнами, включаючи США, щоб надати Україні тисячі нових БпЛА, які працюють за підтримки ШІ [41].

Разом з тим, українські виробники БпЛА не залишаються осторонь і розробляють

окремі технології на базі ШІ. Компанія Twist Robotics представила тестові матеріали свого програмного забезпечення на базі ШІ, яке здатне оновити український арсенал безпілотників FPV [42]. Компанія DevDroid розробила кулеметні установки з використанням ШІ. Нейромережа дозволяє знаходити ціль – ворожих солдатів – на відстані 800 м, автоматично фіксувати цю ціль на полі бою, наводити на неї кулемет і налаштовувати балістику [43].

Незважаючи на складну ситуацію, перспективи розробки технології роіння дронів (БпЛА, наземних, надводних, підводних) в Україні можливі за умов цілеспрямованої допомоги з боку таких передових у цих питаннях країн, як США, Ізраїль і Велика Британія.

**Висновки.** З появою РІ, складних систем озброєння і новітніх матеріалів рої дронів здатні швидко актуалізуватися і перейти на етап домінування в найближчі 10-15 років. Можливо, навіть раніше провідні в економічному, науково-технічному та воєнному сенсі країни світу відмовляться від дорогих і складних пілотованих авіаційних операцій на користь БпЛА й їхніх роїв, здатних виконувати низку функцій без ризику для життя свого особового складу.

Незважаючи на позитивні результати експериментів щодо роіння БпЛА, результати можна вважати проміжними, бо на сьогодні не існує жодної роївової системи БпЛА та роїв інших видів дронів чи комбінованих, які прийняті на озброєння. Для подальшої реалізації концепцій “Рій дронів” потрібне вирішення низки питань, зазначених в статті.

Разом з тим, виявиться життєво важливим питання розробки технології боротьби з роєм дронів, оскільки країни працюватимуть над тим, як перемогти рій дронів, особливо за допомогою ШІ і машинного навчання. Більш розумні дрони створять особливі труднощі, якщо вони будуть атакувати десятками або навіть сотнями з різних напрямків і висот, одночасно з повітря, землі та води.

**Напрямки подальших досліджень.** Подальші дослідження мають відбуватися за такими актуальними напрямками: розробка алгоритмів РІ; способи боротьби з роєм дронів (протидії рою дронів); етичні та юридичні аспекти застосування роїв дронів, особливо тих, що будуть оснащатися зброєю тощо.

**Подяка.** Дослідження проведені в межах гранту № AP14869765.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Безпілотна авіація у військовій справі: кол. монографія / С.П. Мосов, М.В. Погорєцький, С.М. Салій, О.В. Селюков, А.Л. Фещенко; за ред. проф. С.П. Мосова. Київ: Інтерсервіс, 2019. 324 с.
2. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності: досвід, проблемні питання і тенденції: кол. монографія / Л.М. Артюшин, С.П. Мосов, Д.В. Пясковський, В.Б. Толубко. Київ: НАОУ, 2002. 202 с.
3. Про нарощування спроможностей сил оборони : Указ Президента України від 06.02.2024 № 51/2024. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/512024-49625> (дата звернення 06.02.2024).
4. Ударні морські дрони у війні проти Росії. URL: <https://mil.in.ua/uk/articles/udarni-morski-drony> (дата звернення 05.01.2024).
5. Унікальні надводні дрони виготовляють на підземному виробництві в Україні, – СБУ. ВІДЕО. URL: <https://vechirniy.kyiv.ua/news/87021> (дата звернення 05.01.2024).
6. В Україні розробляють підводний дрон «Марічка» з дальністю понад 1000 км. Які в нього переваги та можливості. URL: <https://dev.ua/news/pidvodnyi-dron-marichka-1691475820> (дата звернення 05.01.2024).
7. ВМФ Росії приготували! В Україні розробили підводний дрон Toloka TLK-150 – на що він здатний. URL: <https://vikna.tv/dlia-tebe/vijna-v-ukrayini/v-ukrayini-rozrobyly-pidvodnyj-dron-toloka-tlk-150-harakterystyky> (дата звернення 05.01.2024).
8. Штучний інтелект визнали найпотужнішою зброєю для військових у США. URL: <https://noworries.news/shtuchnyj-intelekt-vyznaly-najpotuzhnishoyu-zbroyeyu-dlya-vijskovyh-u-ssha> (дата звернення 05.01.2024).
9. Kallenborn Z. The Era of the Drone Swarm is coming, and we need to be ready for it. URL: <https://mwi.westpoint.edu/era-drone-swarm-coming-need-ready> (дата звернення 05.01.2024).
10. Kallenborn Z., Bleek P.C. Drones of Mass Destruction: Drone Swarms and the Future of nuclear, chemical, and biological Weapons. URL: <https://warontherocks.com/2019/02/drones-of-mass-destruction-drone-swarms-and-the-future-of-nuclear-chemical-and-biological-weapons> (дата звернення 05.01.2024).
11. Berg M. Killer robot swarms, an update. URL: <https://www.politico.com/newsletters/digital-future-daily/2023/02/07/killer-robot-swarms-an-update-00081623> (дата звернення 05.01.2024).
12. Philosophy of Drones. An inquiry beyond ethics: Who will kill whom? URL: <https://medium.com/philosophical-inquiry/philosophy-of-drones-318f92618c02> (дата звернення 05.01.2024).
13. Hecht E. Drones in the Nagorno-Karabakh War: Analyzing the Data. URL: <https://www.militarystrategymagazine.com/article/drones-in-the-nagorno-karabakh-war-analyzing-the-data> (дата звернення 05.01.2024).



14. Thompson K. D. How the Drone War in Ukraine Is Transforming Conflict. URL: <https://www.cfr.org/article/how-drone-war-ukraine-transforming-conflict> (дата звернення 05.01.2024).
15. Ryan M. Drone warfare features in the Ukraine-Russia conflict. It is changing warfare in five ways. URL: <https://www.abc.net.au/news/2023-08-29/russia-ukraine-drone-warfare-five-ways-combat-will-change/102782938> (дата звернення 05.01.2024).
16. Abdelkader M., Güler S., Jaleel H., Shamma J.S. Aerial Swarms: Recent Applications and Challenges. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43154-021-00063-4#article-info> (дата звернення 05.01.2024).
17. Горбулін В.П., Мосов С.П. Безпілотна авіація військового призначення у фокусі світового науково-технічного прогресу // Вісник НАН України. 2023. № 11. С. 48-56. DOI: <https://doi.org/10.15407/vism2023.11.048> (дата звернення 05.01.2024).
18. Mosov S.P., Stankevich S.A. The place and role of asymmetry in war // Наука і оборона. 2023. № 1. С. 28-36.
19. Pawar B. Drone Swarm Technology and its impact on future Warfare. URL: <https://theguardian.com/drone-swarm-technology-and-its-impact-on-future-warfare> (дата звернення 05.01.2024).
20. Drone Swarm Technology. URL: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/drone-swarm-technology> (дата звернення 05.01.2024).
21. Cheek R. Autonomous Swarm Drones New Face of Warfare. URL: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2023/12/13/industry-perspective-autonomous-swarm-drones-new-face-of-warfare> (дата звернення 05.01.2024).
22. Hambling D. The US Navy wants swarms of thousands of small drones. URL: <https://www.technologyreview.com/2022/10/24/1062039/us-navy-swarms-of-thousands-of-small-drones> (дата звернення 05.01.2024).
23. Горбулін В., Мосов С. Смертельна автономна зброя// Оборонний вісник. 2022. № 3-4. С. 18-24.
24. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Crown, 2017. 192 p.
25. Goldstein Ph. Swarm Intelligence: What Is It and How Are Agencies Using It? URL: <https://fedtechmagazine.com/article/2022/02/swarm-intelligence-what-it-and-how-are-agencies-using-it-perfcon> (дата звернення 05.01.2024).
26. Swarm intelligence. // Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Swarm\\_intelligence#:~:text=Swarm](https://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_intelligence#:~:text=Swarm) (дата звернення 05.01.2024).
27. Zhou Yon., Rao B., Wang W. UAV Swarm Intelligence: Recent Advances and Future Trends. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9214446> (дата звернення 05.01.2024).
28. Honrada G. AUKUS is moving to intelligent drone swarms. URL: <https://asiatimes.com/2023/05/aukus-moving-from-nuke-subs-to-ai-drone-swarms> (дата звернення 05.01.2024).
29. Briscoe S. Drone Swarms: The Good, The Bad, and The Terrifying Future. URL: <https://www.asisonline.org/security-management-magazine/latest-news/today-in-security/2023/sepember/drone-swarms-good-bad-and-terrifying> (дата звернення 05.01.2024).
30. Harding T., Tollast R. The future of drone warfare: From AI-assisted swarms to unmanned jet aircraft. URL: <https://www.thenationalnews.com/world/2023/10/06/drone-warfare-future-ai> (дата звернення 05.01.2024).
31. Trevithick J. Massive Drone Swarm Over Strait Decisive In Taiwan Conflict Wargames. URL: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/massive-drone-swarm-over-strait-decisive-in-taiwan-conflict-wargames> (дата звернення 05.01.2024).
32. Saballamay J. UK, US, Australia Jointly Test AI-Enabled Drone Swarm. URL: <https://www.thedefensepost.com/2023/05/31/uk-us-australia-ai-drone> (дата звернення 05.01.2024).
33. Marks R.J. Eet the U.S.Army new Drone Swarms. URL: <https://mindmatters.ai/2020/09/meet-the-u-s-armys-new-drone-swarms> (дата звернення 05.01.2024).
34. Gabriel H. China speeding into the low-cost drone swarm lead. URL: <https://asiatimes.com/2023/11/china-speeding-into-the-low-cost-drone-swarm-lead> (дата звернення 05.01.2024).
35. Drone Swarm Technology and its Impact on future Warfare. URL: <https://defence.theguardian.com/defence/drone-swarm-technology-and-its-impact-on-future-warfare> (дата звернення 05.01.2024).
36. Sharma R. Indian Air Force 'Bets Big' On Swarm Drone Technology To Overwhelm, Outfox Enemy Defense Systems. URL: <https://www.eurasiantimes.com/the-era-of-swarm-drones-is-here-the-indian-air-force> (дата звернення 05.01.2024).
37. Рій безпілотників. Майбутнє бойових дій. URL: <https://telegra.ph/Roj-besplotnikov-budushcheboevyuh-dejstvij-09-23> (дата звернення 05.01.2024).
38. Ozberk T. Turkey's Havelsan tests robots, drone swarm for Digital Troop concept. URL: <https://www.defensenews.com/unmanned/2023/08/24/turkeys-havelsan-tests-robots-drone-swarm-for-digital-troop-concept> (дата звернення 05.01.2024).
39. Maguire L. The Ethics of Drone Warfare. URL: <https://www.philosophytalk.org/blog/ethics-drone-warfare>. URL: (дата звернення 05.01.2024).
40. Бойові завдання в ЗСУ виконуватимуть дрони зі штучним інтелектом. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/bojovi-zavdannya-v-zsu-vkonuvatymut-drony-zi-shtuchnym-intelektom> (дата звернення 05.01.2024).
41. Івашків О. Bloomberg: Британія і США планують надати Україні тисячі дронів, якими

- керуватиме штучний інтелект. URL: stvoryuyje-bpla-z-stucnim-intelektom-984k6p.  
<https://www.pravda.com.ua/news/2024/02/18/7442390> (дата звернення 05.01.2024).
42. Тартачний О. Як війна в Україні створює БПЛА із штучним інтелектом. URL: <https://speka.media/yak-viina-v-ukrayini->
43. Карп'як О. Штучний інтелект на полі бою. Огляд розумної зброї: Україна, Ізраїль, США, Австралія. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/crg78jn5pkdo> (дата звернення 05.01.2024).

Стаття надійшла до редакційної колегії 25.02.2024

## Swarming of military drones: realities and prospects

### Annotation

The experience of modern military conflicts and the current war in Ukraine shows the growing role of drones and the variety of their types (air, ground, surface) on the battlefield for various functional purposes. At the same time, there is an active use of not only single UAVs, but also a significant number of them simultaneously in a group. The nearest modern prospect is the transition to swarms of drones. This will raise a number of organizational, technical, legal and ethical issues related to the use of drone swarms, especially given the active development of artificial intelligence (AI) and its use in the field of robotic weapons.

The article systematically examines the issues related to the creation and use of military drone swarms. It is shown that there has been a transition from single use of unmanned aerial vehicles to group and mass use, culminating in drone swarming.

Despite the positive results of the UAV swarming experiments, the results can be considered intermediate, as there is no UAV swarm system or swarms of other types of drones or combined drones that have been adopted for service. Further realization of the "Swarm of drones" concept requires addressing a number of issues mentioned in the article.

At the same time, the development of anti-drone swarm technology will be vital as countries work on how to defeat drone swarms, especially with the help of AI and machine learning. Smarter drones will pose particular challenges if they attack by the dozens or even hundreds from different directions and altitudes, simultaneously from the air, ground, and water.

As further areas of research, it is recommended to develop algorithms for swarm intelligence and ways to combat drone swarms (drone swarm countermeasures), as well as to study the ethical and legal aspects of using swarms of drones, especially those that will be equipped with weapons.

**Keywords:** drone; drone swarm; swarm intelligence; unmanned aerial vehicle; military conflict.