

Роль і місце роїв безпілотних систем в операціях (бойових діях) та варіанти їх застосування

The role and place of swarms of unmanned systems in operations (combat operations) and options for their use

Олег Семененко^A

Corresponding author: д. військ. н., професор, заступник начальника Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України з наукової роботи, e-mail: aosemenenko@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6477-3414

Сергій Островський^A

к. в. н., начальник науково-дослідного управління, e-mail: ostrovserg@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4702-9808

Артур Мовчан^A

к. т. н., начальник науково-дослідного відділу, e-mail: asesciencepost4@gmail.com, ORCID: 0009-0006-0559-4962

Андрій Мельниченко^B

ад'юнкт наукового відділу, e-mail: gatling.511@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6072-4989

Сергій Столінець^C

старший викладач кафедри, e-mail: aosemenenko@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9202-0057

Станіслав Петренко^C

викладач, e-mail: aosemenenko@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5369-1683

Oleh Semenenko^A

Corresponding author: Dr of military Sciences, Professor, deputy head of the Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine for scientific work, e-mail: aosemenenko@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6477-3414

Serhii Ostrovskiy^A

Candidate of Military Sciences, Head of the Research Department, e-mail: ostrovserg@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2767-0891

Artur Movchan^A

Candidate of Technical Sciences, Head of the Research Department, e-mail: asesciencepost4@gmail.com, ORCID: 0009-0006-0559-4962

Andrii Melnychenko^B

PhD student, e-mail: gatling.511@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6072-4989

Serhii Stolinetz^C

Senior Lecturer of the Department, e-mail: aosemenenko@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9202-0057

Stanislav Petrenko^C

Lecturer, e-mail: aosemenenko@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5369-1683

^A Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна

^B Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

^C Кафедра військової підготовки Національного авіаційного університету, Київ, Україна

^A Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

^B National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

^C Department of Military Training of the National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Received: October 8, 2024 | Revised: October 24, 2024 | Accepted: October 31, 2024

DOI: 10.33445/sds.2024.14.5.7

Мета роботи: визначити роль, місце, завдання роїв безпілотних систем в операціях (бойових діях) та варіанти їх застосування.

Метод дослідження: методи аналізу та синтезу, методи індукції та дедукції, методи експертного опитування, методи дослідження операцій.

Практична цінність дослідження: приведено ключові складові роїв безпілотних систем; визначено основні завдання та місце роїв безпілотних систем в операціях (бойових діях); наведено раціональні варіанти застосування роїв безпілотних систем у операціях (бойових діях); розглянуто окремі рекомендації щодо застосування роїв безпілотних систем.

Теоретична цінність дослідження: визначено роль, місце та завдання роїв безпілотних систем, як нових елементів сучасних бойових дій. Приведено раціональні варіанти застосування у операціях (бойових діях) з урахуванням досвіду відбиття широкомасштабної збройної агресії російської федерації.

Тип статті: теоретичний, описовий, практичний.

Ключові слова: рої безпілотних систем; операції; бойові дії, система управління.

Purpose: Determine the role, place, tasks of swarms of unmanned systems in operations (combat operations) and options for their application

Method: methods of analysis and synthesis, methods of induction and deduction, methods of expert survey, methods of operations research.

Practical implications: the key components of swarms of unmanned systems are given; the main tasks and the place of swarms of unmanned systems in operations (combat actions) are determined; rational options for the use of swarms of unmanned systems in operations (combat actions) are given; separate recommendations for the use of swarms of unmanned systems are considered.

Theoretical implications: the role, place and tasks of swarms of unmanned systems as new elements of modern warfare are defined. Rational options for use in operations (combat actions) are given, taking into account the experience of repelling large-scale armed aggression of the russian federation.

Paper type: theoretical, descriptive, practical.

Key words: swarms of unmanned systems; operations; combat operations, control system.

Вступ

Досвід сучасних воєнних конфліктів і відбиття широкомасштабної збройної агресії РФ проти України свідчить про зростання ролі на полі бою різноманітних зразків дронів. Для виконання різних завдань все активніше застосовують не лише окремі безпілотні літальні апарати (БПЛА), а й одночасно значну їх кількість у групі. Перспективним способом застосування дронів є перехід до їх роїв. При цьому постає низка організаційних, технічних, правових та етичних питань, пов'язаних зі створенням роботизованої зброї із застосуванням штучного інтелекту. Варто розуміти термін “дрон” у більш широкому розумінні, ніж просто БПЛА, а як мобільний, автономний безпілотний апарат (БПА) (повітряний, наземний, надводний або підводний), призначений для виконання конкретних завдань [1–5].

Уже сьогодні, в багатьох державах світу проводяться дослідження з тактики застосування “роїв” розвідувальних та розвідувально-ударних безпілотних систем на основі безпілотних апаратів різного призначення. Такі дослідження базуються на створенні самоорганізованих груп (“роїв”) БПА (БПЛА) великої кількості, що мають спільну мету щодо виявлення та ураження об'єктів, наприклад, засобів ППО, великогабаритних надводних об'єктів (кораблів), пунктів управління тощо. Рій таких БПА (БПЛА) дуже складно знищити повністю, а зміна його завдань вимагатиме лише зміни елементів програмного забезпечення в системі управління ним. Застосування роїв БПА наземного (повітряного) типу дозволить вести ефективну розвідку та вражати об'єкти обраного типу (визначені цілі) з мінімальними матеріальними затратами та без втрат особового складу. Таким чином, у світі відбувається поступовий перехід від застосування поодиноких БПЛА до групового та зосередженого застосування, кульмінацією якого стає роїння дронів (БПА) для виконання визначених бойових завдань [6–9].

Розвиток технологій застосування рою БПА ґрунтується на безперешкодовому інформаційному обміні між ними, зменшенні їх габаритних параметрів, підвищенні маневреності та здешевленні конструкції, застосування за різним призначенням з різними підходами до управління та самоорганізації. Це забезпечує зменшення ефективності протидії (виявлення та ураження) БПА (роїв безпілотних систем), тим самим збільшує результативність застосування роїв безпілотних систем в інтересах виконання завдань угрупованнями військ (сил).

Теоретичні основи дослідження

Особливістю сучасної організації складних систем є те, що переважною організаційною структурою стає не ієрархія, а мережа. З'являються інтелектуальні мережі, здатні до аналізу і планування своєї поведінки і розумної організації деякого інтелектуального середовища. Мережеві структури мобільніші, більш стійкі, більш надійні; вихід з ладу деяких елементів мережі не призводить до відмови функціонування всієї мережі, по мережі більш оперативно поширюється різноманітна інформація і здійснюється взаємодія між різними організаційно-технічними рівнями.

В даний час поведінка безпілотних апаратів вже формується складним інтелектуальним чином. Наприклад, в даний час у ході планування застосування БПЛА розглядається і враховується, що БПЛА, які рухаються в групі можуть, наприклад, “жертвувати” собою заради виконання групою загального цільового завдання, змінювати по “домовленості між собою” цілерозподіл в реальному масштабі часу, здійснювати групові маневри, діючи колективно, тощо. Так безпілотні апарати можуть приймати рішення самостійно, виходячи з ситуації, що складається і “сповіщаючи” про свій стан і заходи, що вживаються інші апарати, здійснюють самостійний вибір цілей і раціональної поведінки для їх досягнення.

Проведений аналіз показує, що визначальною і реалізованою з високим ступенем довіреності інновацією при бойовому застосування безпілотних систем є можливість активного обміну інформацією між об'єктами управління у реальному часі, організації колективної поведінки бойових і хибних засобів і прийняття колективних рішень з їх ефективною індивідуальною реалізацією. Тоді головною компонентою в інфраструктурі бойового застосування стане єдина мережа інтелектуальних безпілотних систем зі спеціально організованою системою управління.

Сумісне застосування великої кількості апаратів дозволяє:

- спеціалізувати окремі БПА у групі на окремі функції розвідки, зв'язку, радіоелектронної протидії тощо;
- оперативно виявляти та вибірково уражати стаціонарні та рухомі цілі (мобільні, замасковані об'єкти).

Можливість функціональної спеціалізації БПА визначає доцільність розгляду варіанту їх бойового застосування, коли умова виконання поставленого завдання буде еквівалентна досягненню зони об'єкту противника одразу декількома апаратами.

Постановка проблеми

Отже, головною метою статті є визначення ролі, місця, завдань роїв безпілотних систем в операціях (бойових діях) та варіантів їх застосування.

Результати

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності застосування безпілотних систем є перехід до їх групового застосування (роїв) [6]. Це підтверджується бойовими діями під час відбиття широкомасштабної збройної агресії російської федерації проти України. Зокрема, в ході бойових дій РФ широко використовує практику нанесення групових ударів БПЛА-камікадзе "Shahed-136" ("Герань-2"), як прообраз застосування, так званих, роїв безпілотних систем повітряного типу. У цьому випадку засоби протиповітряної оборони мають обмежені можливості з виявлення та знищення таких цілей, внаслідок чого частина БПЛА влучає в об'єкти (ціль) [3].

Крім того, досвід збройних сил інших держав світу показує, що одним із перспективних напрямів є застосування ударних БПЛА (БПА) зі штучним інтелектом на основі алгоритмів самоорганізації. Застосування штучного інтелекту дає можливість об'єднувати БПЛА (БПА) у рої та організувати обмін інформацією між ними, а також забезпечити самостійне взаємоузгоджене вирішення завдань зі збирання та оброблення інформації щодо складних об'єктів і групових цілей, ідентифікувати їх елементи, здійснювати розподіл між ударними БПА (БПЛА) та уражати їх.

Хоча сучасні бойові дії характеризуються значною кількістю застосувань БПА різних класів, однак є ряд завдань, де застосування одиничних БПА не дозволяє вирішити бойові завдання. До таких завдань можна віднести:

- виявлення, розпізнавання і ураження наземних (повітряних) складних об'єктів і групових цілей;
- порушення та дезорганізація функціонування об'єктової та військової ППО шляхом формування віртуальної оперативної обстановки;
- ретрансляція і формування інформаційних мереж;
- груповий повітряний бій;
- боротьба з великогабаритними надводними об'єктами (цілями);
- завдання ударів по групах наземних малорозмірних цілей (живій силі, легкоброньованій техніці, артилерійських позиціях, інфраструктурних об'єктах тощо);

- коригування та цілерозподіл вогню артилерії на великих ділянках лінії зіткнення;
- деморалізація та підрив морально-психологічного стану особового складу противника та ін.

Рої безпілотних систем на полі бою, сьогодні, можуть відігравати важливу роль через високу ймовірність успішного виконання ними різних (багатьох) бойових завдань. Такий результат досягається з урахуванням низької ефективності протидії рою БПА, а саме:

по-перше, застосування на БПА адаптивних антенних решіток у складі приймачів супутникової системи навігації, підвищення точності бортових безплатформних інерційних навігаційних систем, встановлення малогабаритних оптичних та радіолокаційних датчиків, що реалізують відносні та кореляційно-екстремальні способи автономної навігації, знижують дальність дії та ефективність застосування засобів радіоелектронного подавлення;

по-друге, відбиття масованого нальоту БПЛА засобами зенітного ракетного артилерійського прикриття економічно нераціонально через використання дорогих ракет для ураження значної кількості відносно дешевих БПЛА та швидкого вичерпання гарматного боєкомплекту, що може призвести до подальшої нездатності відбиття основного удару ешелонами крилатих ракет та тактичної авіації;

по-третє, значну частину засобів повітряного нападу, які реалізовані на міні- та мікро-БПЛА, через їх малу ефективну площу розсіювання (до 0,01 м²), низькі висоти та швидкість польоту, традиційні засоби розвідки та ураження ППО (оглядові РЛС, зенітні ракетні комплекси та системи (ЗРК), ЗРС), винищувачі) не здатні не тільки вражати, а й виявляти їх. Тому, рої мікро- та міні-БПЛА, а також хибні цілі становитимуть особливу небезпеку для системи ППО;

четверте, застосування керованих роїв ударних БПЛА, що завдають одночасні удари по об'єктах і елементах систем управління (розвідки, ППО) з різних напрямків різко зменшує ймовірність прикриття останніх [7–10].

Разом з тим, поява великої кількості ударних БПА (БПЛА) потребує організації оборони значно більшої загальної кількості об'єктів безпосередньо з початком воєнних дій, а також оборони низки важливих об'єктів державного управління, промисловості, паливно-енергетичного комплексу, екологічно небезпечних об'єктів, об'єктів інфраструктури та масових заходів у мирний час.

Перевагою рою безпілотних систем є здатність автономно або напівавтономно виконувати завдання у режимі часу близькому до реального з мінімальним контролем з боку операторів та спроможністю адаптуватись до мінливих умов середовища.

Надійність, масштабованість, взаємозамінність і мультизадачність БПА, недетермінована поведінка рою БПА створює передумови набуття нових спроможностей угруповань військ (сил) Збройних Сил України. Крім того, застосування у рою недорогих БПА робить кожен з них менш вимогливим до ресурсів і більш енергоефективним.

Не дивлячись на те, що переваги застосування рою БПА є очевидними, цей напрям у Збройних Силах України перебуває на початковому етапі розвитку. Тому місце роїв безпілотних систем у структурі Збройних Сил України залежатиме від загальної стратегії розвитку безпілотних систем ЗС України та потреби для вирішення конкретних бойових завдань.

Загалом, рої БПА доцільно розглядати як складову вогневої підтримки в операціях, де вони будуть застосовуватися за єдиним замислом та планом вогневої підтримки.

Таким чином, можна стверджувати, що рій безпілотних систем – це багатокомпонентна система, в якій кожен компонент (БПА) функціонує самостійно в тісно узгодженій взаємодії з іншими складовими, з метою досягнення спільної мети (виконання поставленого завдання). Кожен окремий БПА в рою являється компонентом єдиної інформаційної мережі. Також, під роєм слід розуміти групу (сукупність) БПА, управління якою здійснюється за різними підходами в тому числі і за допомогою штучного інтелекту із застосуванням алгоритмів самоорганізації [6, 9].

У низці досліджень стосовно варіантів застосування роїв безпілотних систем, на сьогодні, розроблено загальну теорію ройового (групового) застосування БпА (БпЛА) в умовах динамічних, недетермінованих середовищ. Особливу увагу у дослідженні питань щодо варіантів застосування роїв БпА (роїв безпілотних систем) для реалізації розвідувальних (розвідувально-ударних) завдань приділяють у таких державах як США, КНР, Південна Корея та Індія, а також у Франції, Великій Британії, Ізраїлі, Туреччині, Ірані, рф та Естонії. Такі дослідження зосереджуються на питаннях управління застосуванням роїв БпА. При цьому рої БпА (безпілотних систем) можуть застосовуватися для виявлення засобів протиповітряної оборони та наземних цілей та їхнього ураження, радіоелектронної боротьби, розвідки тощо. Однією з основних проблем є організація управління застосуванням рою БпА (безпілотних систем), яке може бути централізованим, децентралізованим або змішаним та бути визначальним для формування варіантів застосування роїв безпілотних систем [9–11]. На рис. 1 наведені окремі (типові) форми координації роїв та міжройових зв'язків.

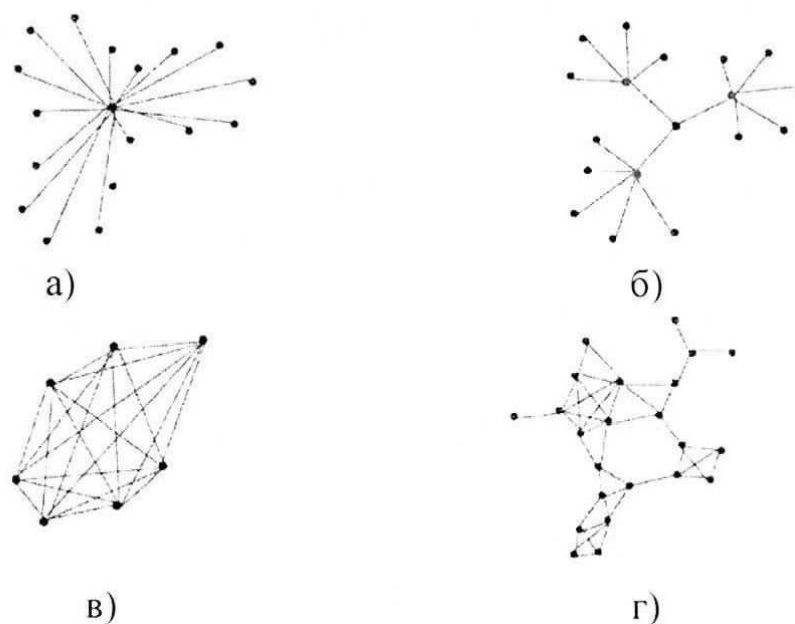


Рисунок 1 – Моделі управління та координації роїв: а) централізована, б) ієрархічна, в) консенсусна, г) емерджентна

Централізоване управління – елементи рою передають інформацію центральному планувальнику, який ставить задачі кожному елементу окремо.

Ієрархічне управління полягає в тому, що окремі елементи рою контролюються агентами нарівні “підрозділу”, який в свою чергу управляється агентом більш високого рівня, і так далі.

Координація на основі консенсусу, де елементи рою спілкуються один з одним і приймають рішення шляхом голосування або методом аукціону.

Емерджентна координація виникає природним шляхом між окремими елементами рою, що реагують на інших, подібно зграям живих істот.

Отже, можна зробити висновок, що варіанти застосування роїв безпілотних систем будуть визначатися метою їх застосування та бойовими завданням, а також вибором схеми (способу) управління роєм безпілотних систем.

Крім того, в умовах насичення військ різнотипними багатофункціональними БпА актуальним питанням є пошук адекватних поведінкових алгоритмів управління ройовим застосуванням роїв безпілотних систем.

Прийнято вважати, що колективна (ройова) поведінка групи БПА має виникати у результаті взаємодії між окремими БПА у рої та взаємодії БПА із навколишнім середовищем. Прості правила, визначені для кожного окремого БПА, можуть створювати багато варіантів складної поведінки рою. Циклічність процесу управління роєм безпілотних систем (БПА) полягає в тому, що взаємодія між окремими агентами рою впливає на стійкість рою в умовах впливу зовнішнього середовища, а поведінка рою, яка пов'язана з швидкоплинністю обстановки, призводить до коригування поведінки кожного окремого агента рою (безпілотних систем) та, як наслідок – до зміни поведінки усіх задіяних БПА (рис. 3). Відповідно до цього варіанту, тактика застосування рою безпілотних систем може передбачати зміну його структури під час виконання завдання, а також передбачає оперативну (залежно від ситуації) зміну тактики (варіанта) застосування.

Структура рою безпілотних систем передбачає ітеративну поведінку кожного окремого БПА одного того самого класу (ударний БПЛА, БПЛА розвідки, РЕБ, наземний БПА тощо) до моменту, коли буде досягнуто бажаний результат колективної поведінки рою безпілотних систем (тобто, коли завдання буде виконано). За цим підходом, можна виділити наступний варіант застосування роїв безпілотних систем:

- оператор рою безпілотних систем (БПА) призначає завдання для суброїв або окремих БПА (тобто, визначає мету та порядок їх дій);
- рій БПА здійснює пошук цілі (об'єктів) противника, стеження за ними та, за досягнення певних умов, – атаку на них.

Як уже зазначалося вище, управління роїв безпілотних систем може бути централізованим, децентралізованим або змішаним. При цьому функції оператора щодо контролю БПА можуть суттєво відрізнятись. З урахуванням зазначеного, виділимо наступні основні варіанти застосування роїв безпілотних систем наземного (повітряного) типу для реалізації розвідувальних (розвідувально-ударних) завдань:

1. Застосування роїв безпілотних систем із централізованим управлінням.

2. Застосування роїв безпілотних систем із децентралізованим управлінням за допомогою алгоритмів штучного інтелекту.

3. Застосування роїв безпілотних систем із змішаним управлінням.

Слід також враховувати перспективний варіант, який може бути реалізовано вже найближчим часом. За цим варіантом припускається можливість застосування роїв БПЛА (безпілотних систем) проти подібних ворожих роїв. Тоді, враховуючи специфіку завдання, алгоритм управління роями (варіант застосування) повинен передбачати виявлення і перехоплення БПЛА ворожого рою в умовах динамічної зміни взаємного положення БПЛА-контрагентів, поступової втрати частки функціональності рою, зміни пріоритетів завдань, втрати зв'язку з іншими БПЛА рою тощо.

Таким чином, виходячи із змісту основних завдань роїв безпілотних систем наземного (повітряного) типу (розвідка, корегування вогню сил і засобів ракетних військ та артилерії, ураження об'єктів (цілей) противника), доцільно для оцінювання ефективності застосування роїв безпілотних систем використовувати наступні показники.

1. Під час виконання завдань з розвідки та корегування вогню сил і засобів РВіА:

- математичне сподівання кількості (або частки) розвіданих об'єктів (цілей) противника;
- математичне сподівання кількості (або частки) цілей під час ведення вогню, по яких здійснювалось його корегування;

- час нанесення заданого ступеня ураження;

- математичне сподівання кількості (або частки) уражених (подавлених) об'єктів.

Інтегральний показник ефективності (по чисельному значенню якого приймаються рішення):

- математичне сподівання втрат бойового потенціалу угруповання противника, за яким вимірюється (оцінюється) “ефект” від нових властивостей (можливостей) роїв безпілотних систем наземного (повітряного) типу;

- “затрати” – математичне сподівання кількості уражених (втрачених) безпілотних систем наземного (повітряного) типу зі складу рою та їх вартість;

- витрати на підготовку та застосування.

2. Під час виконання завдань з ураження об’єктів (цілей) роєм безпілотних систем наземного (повітряного) типу:

- математичне сподівання кількості (або частки) розвіданих об’єктів (цілей) противника;

- математичне сподівання кількості (або частки) об’єктів (цілей) противника, по яких застосовувались ударні (розвідувально-ударні) безпілотних систем наземного (повітряного) типу;

- математичне сподівання кількості (або частки) уражених об’єктів (цілей) противника.

Інтегральний показник ефективності (по чисельному значенню якого приймаються рішення):

- математичне сподівання бойового потенціалу угруповання противника;

- “затрати” – математичне сподівання кількості уражених (втрачених) безпілотних систем наземного (повітряного) типу (у тому числі знищених ППО) зі складу рою та їх вартість;

- витрати на підготовку та застосування.

Під час виконання завдань (розвідки, коригування вогню сил і засобів РВіА) ефект за визначеними показниками від застосування роїв безпілотних систем може бути досягнутий за рахунок раціонального розподілу зусиль БпА-розвідників по районах (зонах, напрямках) з урахуванням їх важливості, автоматичного вирішення задач виявлення, ідентифікації та оброблення інформації, яка надходить від декількох джерел практично одночасно.

Під час виконання завдань з ураження об’єктів (цілей) противника ефект за визначеними показниками від застосування роїв безпілотних систем може бути досягнутий за рахунок раціонального цілерозподілу (централізованого, змішаного).

Під час підготовки та ведення операцій (бойових дій) доцільно розглядати рої безпілотних систем як невід’ємний елемент складу сил і засобів об’єднаної вогневої підтримки. Тому, застосування роїв безпілотних систем повинно здійснюватись за єдиним замислом та планом об’єднаної вогневої підтримки. Враховуючи особливості роїв безпілотних систем, зокрема:

- високоточість та можливість ефективного ураження складних об’єктів (групових цілей);

- значна дальність застосування;

- маневреність;

- висока швидкість;

рекомендується визначити пріоритетними завданнями, під час виконання яких доцільно застосовуються рої безпілотних систем:

- ведення розвідки з метою систематичної тактичної (оперативної) обізнаності командирів (штабів) щодо положення та дій противника в масштабі часу наближеного до реального;

- здійснення коригування вогню сил і засобів РВіА, у тому числі в складі РВК (РУК);

- нанесення ударів за планом об’єднаної вогневої підтримки переважно по складних об’єктах (групових цілях) противника (в районах зосередження, на марші та під час розгортання);

- створення маневрених резервів для вирішення раптово виникаючих (ситуативних) завдань з вогневого ураження.

Крім того, враховуючи обмежений час на виконання завдань роями безпілотних систем (обмежену ємкість бортових енергоносіїв), доцільно планувати періодичну заміну роїв безпілотних систем (їх складових) під час операцій (бойових дій).

Найбільш перспективними та реалістичними завданнями для роїв безпілотних систем є їх застосування для виявлення та ураження засобів ППО, важливих, переважно групових наземних цілей, ведення радіоелектронної боротьби (радіоелектронного подавлення, радіоелектронної розвідки) та інші подібні. При цьому варіант застосування рою безпілотних систем буде залежати від організації (вибору) управління їх застосуванням.

У разі централізованого управління роєм безпілотних систем управління здійснюється з єдиного центру управління кожним БпА. За такого способу управління можливе управління групою БпА складом до 20 дронів.

Децентралізоване управління роєм безпілотних систем передбачає застосування штучного інтелекту з алгоритмами самоорганізації. За такого способу управління можливе управління роєм БпА складом до 200 дронів.

При змішаному способі управління роєм безпілотних систем застосовується принцип поділу БпА на окремі суброї. При цьому централізоване управління здійснюється суброями, а управління всередині суброю здійснюється штучним інтелектом. За такого способу управління можливе управління роєм безпілотних систем складом до 1200 дронів.

Загалом, для успішного виконання завдань в операції (бойових діях), покладених на рої безпілотних систем, доцільно розглядати ситуативне створення роїв безпілотних систем для досягнення мети їх застосування за визначеним варіантом. У такому випадку, важливим питанням є визначення вихідних даних щодо принципів та логіки формування рою розвідувальних (розвідувально-ударних) безпілотних систем. Зокрема, цільовим призначенням рою, як варіант, може бути пошук та ураження наземних цілей заданого типу у визначеному районі (області простору). Також, принципово важливим є визначення типу рою (однорідний, різнорідний), що суттєво впливає на склад рою безпілотних систем (роїв та суброїв). Тому, під час планування операції (бойових дій) із ситуативним створенням рою безпілотних систем, з метою успішного (раціонального) його застосування, рекомендовано створювати (орієнтуватись на) логіко-часову (поетапну) модель застосування рою безпілотних систем. Для прикладу, на рис. 2 відображено застосування рою ударних БпЛА у логіко-часовій моделі за етапами їх застосування [8–11].

Таким чином, виходячи із змісту основних завдань роїв безпілотних систем наземного (повітряного) типу (розвідка, корегування вогню сил і засобів ракетних військ та артилерії, ураження об'єктів (цілей) противника), доцільно для оцінювання ефективності застосування роїв безпілотних систем використовувати наступні показники.

1. Під час виконання завдань з розвідки та корегування вогню сил і засобів РВіА:

- математичне сподівання кількості (або частки) розвіданих об'єктів (цілей) противника;
- математичне сподівання кількості (або частки) цілей під час ведення вогню, по яких здійснювалось його корегування;

- час нанесення заданого ступеня ураження;

- математичне сподівання кількості (або частки) уражених (подавлених) об'єктів.

Інтегральний показник ефективності (по чисельному значенню якого приймаються рішення):

- математичне сподівання втрат бойового потенціалу угруповання противника, за яким вимірюється (оцінюється) "ефект" від нових властивостей (можливостей) роїв безпілотних систем наземного (повітряного) типу;

- "затрати" – математичне сподівання кількості уражених (втрачених) безпілотних систем наземного (повітряного) типу зі складу рою та їх вартість;

- витрати на підготовку та застосування.

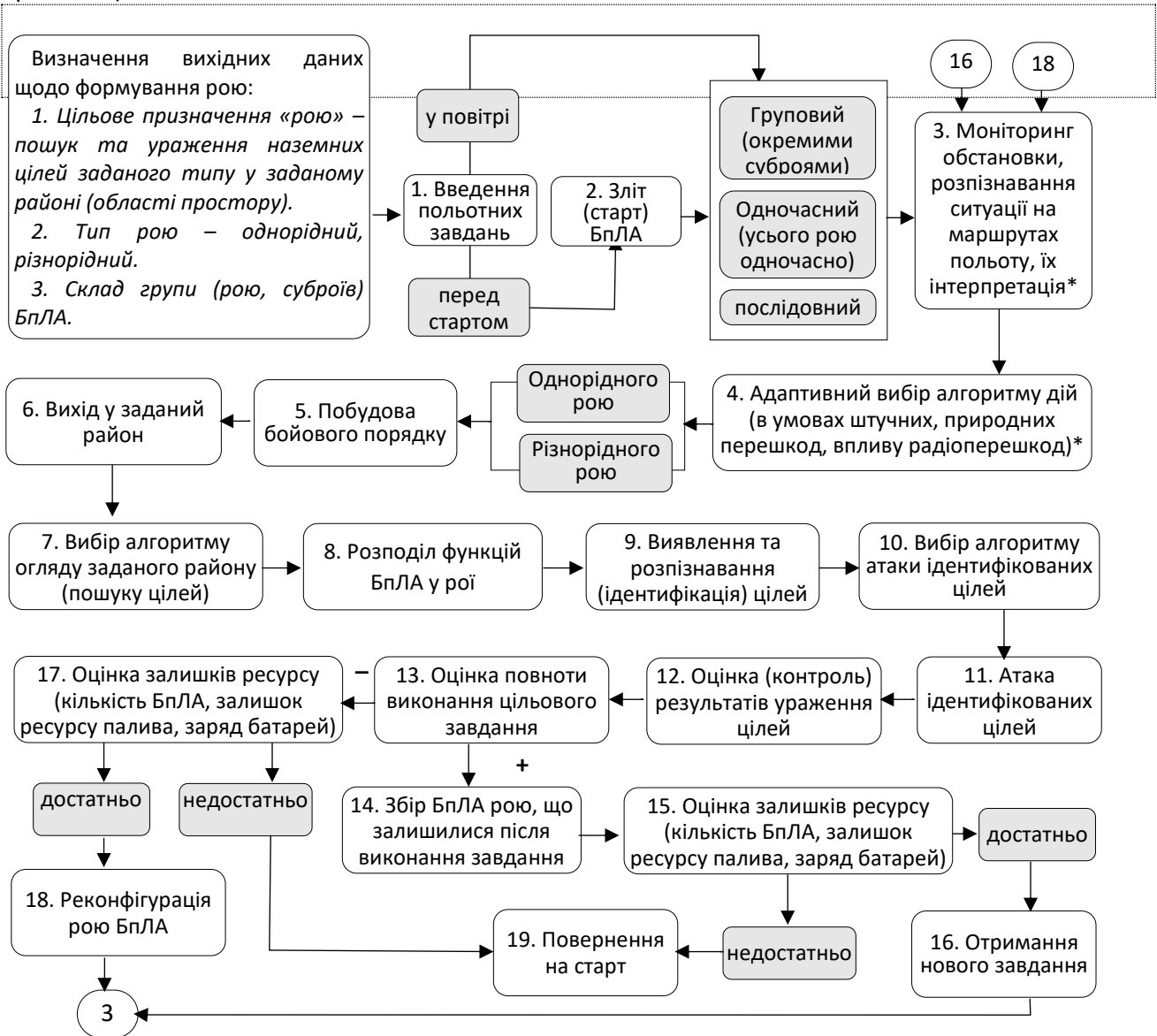
2. Під час виконання завдань з ураження об'єктів (цілей) роєм безпілотних систем наземного (повітряного) типу:

- математичне сподівання кількості (або частки) розвіданих об'єктів (цілей) противника;

- математичне сподівання кількості (або частки) об'єктів (цілей) противника, по яких застосовувались ударні (розвідувально-ударні) безпілотних систем наземного (повітряного) типу;

- математичне сподівання кількості (або частки) уражених об'єктів (цілей) противника.

Інтегральний показник ефективності (по чисельному значенню якого приймаються рішення):



Примітка. Заходи, позначені зіркою (*) виконуються безперервно протягом усього часу від зльоту до завершення виконання цільового завдання групою (роєм) БпЛА.

Рисунок 2 – Логіко-часова поетапна модель застосування рою ударних БпЛА (варіант)

- математичне сподівання бойового потенціалу угруповання противника;

- “затрати” – математичне сподівання кількості уражених (втрачених) безпілотних систем наземного (повітряного) типу (у тому числі знищених ППО) зі складу рою та їх вартість;

- витрати на підготовку та застосування.

Під час виконання завдань (розвідки, коригування вогню сил і засобів РВіА) ефект за визначеними показниками від застосування роїв безпілотних систем може бути досягнутий за рахунок раціонального розподілу зусиль БпА-розвідників по районах (зонах, напрямках) з урахуванням їх важливості, автоматичного вирішення задач виявлення, ідентифікації та оброблення інформації, яка надходить від декількох джерел практично одночасно.

Під час виконання завдань з ураження об'єктів (цілей) противника ефект за визначеними показниками від застосування роїв безпілотних систем може бути досягнутий за рахунок раціонального цілерозподілу (централізованого, змішаного).

Висновки

Досвід сучасних воєнних конфліктів і відбиття широкомасштабної збройної агресії РФ проти України свідчить про активне збільшення ролі застосування не лише окремих дронів, а й їх груп та навіть роїв. Така ситуація потребує формування загальної картини щодо тактики роіння дронів та формалізації їх завдань. При цьому існує низка невирішених організаційних, технічних та правових питань, пов'язаних зі створенням роїв безпілотних систем (роботизованої зброї) із застосуванням штучного інтелекту.

Розвиток варіантів застосування роїв безпілотних систем ґрунтується на безперешкодовому інформаційному обміні між його елементами (БпА), зменшенні габаритних параметрів, підвищенні маневреності та здешевленні конструкції БпА, застосування за різним призначенням з різними підходами до управління та самоорганізації в інтересах виконання завдань угрупованнями військ (сил).

Загалом прийнято, що рій безпілотних систем – це багатокomпонентна система, в якій кожен компонент (БпА) функціонує самостійно в тісно узгодженій взаємодії з іншими складовими для досягнення спільної мети (виконання поставленого завдання). Також, під роєм слід розуміти групу (сукупність) БпА, управління якою здійснюється за різними підходами, в тому числі, і за допомогою штучного інтелекту із застосуванням алгоритмів самоорганізації.

До типових завдань застосування роїв безпілотних систем слід віднести: виявлення, розпізнавання і ураження наземних (повітряних) складних об'єктів і групових цілей, порушення та дезорганізація функціонування об'єктової та військової ППО, ретрансляція і формування інформаційних мереж, боротьба з великогабаритними надводними об'єктами (цільми), завдання ударів по групах наземних малорозмірних цілей (живій силі, легкоброньованій техніці, артилерійських позиціях, інфраструктурних об'єктах тощо), коригування вогню артилерії на великих ділянках лінії зіткнення, деморалізація та підриг морально-психологічного стану особового складу противника, та в перспективі, груповий повітряний бій.

Рекомендується розглядати рій безпілотних систем як невід'ємний елемент складу сил і засобів об'єднаної вогневої підтримки під час підготовки та ведення операцій (бойових дій). Застосування роїв безпілотних систем повинно здійснюватися за єдиним замислом та планом об'єднаної вогневої підтримки. При цьому варіант застосування рою безпілотних систем буде суттєво залежати від організації (вибору способу) управління їх застосуванням. У подальшій перспективі місце роїв безпілотних систем у структурі Збройних Сил України залежатиме від загальної стратегії розвитку безпілотних систем у ЗС України та потреби для вирішення конкретних бойових завдань.

Можна виділити наступні основні варіанти управління застосуванням роїв безпілотних систем наземного (повітряного) типу для реалізації розвідувальних (розвідувально-ударних) завдань: застосування роїв безпілотних систем із централізованим способом управління, застосування роїв безпілотних систем із децентралізованим способом управління за допомогою алгоритмів штучного інтелекту та застосування роїв безпілотних систем із змішаним способом управління.

На цей час не визначено єдиного погляду щодо комплексної оцінки ефективності роїв безпілотних систем застосування. Тому, виходячи із змісту можливих завдань роїв безпілотних систем наземного (повітряного) типу доцільно проводити оцінювання ефективності застосування роїв безпілотних систем за частковими та основними показниками ефективності.

Для вибору раціонального варіанта застосування роїв безпілотних систем у Збройних

Силах України можуть використовуватися критерії придатності та математичного очікування втрат бойового потенціалу угруповання військ (сил) противника.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Лупандін В.А., Мегельбей Г.В., Самойленко В.М., Тюріна В.Ю. Обґрунтування напрямків захисту об'єктів та озброєння і військової техніки від роїв безпілотних літальних апаратів. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків. 2021. № 4(45). С. 58–64.
2. Лупандін В.А., Сотніков О.М., Мегельбей Г.В., Танцюра О.Б. Модель захисту об'єктів і військової техніки від роїв безпілотних літальних апаратів Системи обробки інформації. 2022. Випуск 4 (171). С. 41–47.
3. Авілов А.І., Ткачук С.С. Ієрархічна модель взаємодії оператора з “роєм” безпілотних літальних апаратів. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. Харків. 2023. № 1(75). С. 37–40.
4. Єфремов О.В., Горбенко В.М., Коршець О.А. Методика оцінювання ефективності застосування підрозділів безпілотних авіаційних комплексів. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. Харків. 2018. 4(58) С. 30–36
5. Горбулін В.П., Мосов С.П. Рої дронів – кульмінація дронізації воєн. Вісн. НАН України, 2024. № 3. С. 3–11.
6. Шовкошитний І.І., Василенко О.А. Проблемні питання ройового застосування ударних безпілотних літальних апаратів. Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence. 2023. № 3(48). С. 27–34.
7. Гусак Ю.А., Василенко О.А. Mathematical model for controlling the use of a swarm of striking unmanned aerial vehicles based on artificial intelligence algorithms. Міжнародний академічний форум “Воєнні інновації в сучасних війнах”: Збірник тез міжнародного форуму. ЦНДІ ЗС України. Київ. 7 БЦ, 2024. С. 36–37 (м. Київ, 18–19 квітня). ЦНДІ ЗС України
8. Шовкошитний І. І., Василенко О. А. Проблемні питання ройового застосування ударних безпілотних літальних апаратів. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони: наук. журн. Нац. ун-т оборони України. Київ. 2023. № 3 (48). С.27–34.
9. Василенко О.А., Ярошенко Я. В. Деякі питання управління роями безпілотних літальних апаратів та їх адаптація до потреб Збройних Сил України. Інтеграція закордонних платформ у структуру Сил оборони України. Спроможності, застосування, підтримка : Зб. матеріалів наук.-практ. семінару 07 лютого 2024 року. Київ. НУОУ, 2024. С. 35–40.
10. Гусак Ю.А., Василенко О.А., Коломієць Ю.М. Розроблення алгоритму дій групи ударних безпілотних літальних апаратів. Сектор безпеки і оборони України на захисті національних інтересів: актуальні проблеми та завдання в умовах воєнного стану : тези II Міжнародної науково-практичної конференції (Хмельницький, 23 листопада 2023 року). Хмельницький. Видавництво НАДПСУ. 2024. С. 123–125.
11. Шовкошитний І. І., Василенко О. А. Перспективи та проблемні питання впровадження ройових принципів застосування ударних безпілотних літальних апаратів. Спільні дії

військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та шляхи вирішення в умовах воєнного стану: тези V міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, 20 жовтня 2023 року). С. 137–138.

References

1. Lupandin V.A., Megelbey G.V., Samoilenko V.M., Tyurina V.Yu. Justification of directions for the protection of objects and weapons and military equipment from swarms of unmanned aerial vehicles. *Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*. Kharkiv. 2021. No. 4(45). P. 58–64.
2. Lupandin V.A., Sotnikov O.M., Megelbey G.V., Tansyura O.B. a model of protection of objects and military equipment from swarms of unmanned aerial vehicles Information processing systems. 2022. Issue 4 (171). P. 41–47
3. Avilov A.I., Tkachuk C.S. A hierarchical model of operator interaction with a “swarm” of unmanned aerial vehicles. *Collection of scientific works of the Kharkiv National University of the Air Force*. Kharkiv. 2023. No. 1(75). P. 37–40.
4. Yefremov O.V., Horbenko V.M., Korshets O.A. Methodology for evaluating the effectiveness of the use of units of unmanned aviation complexes. *Collection of scientific works of the Kharkiv National University of the Air Force*. Kharkiv. 2018. 4(58) P. 30–36
5. Gorbulin V.P., Mosov S.P. Swarms of drones are the culmination of the droneization of wars. *Visn. NAS of Ukraine*, 2024. No. 3. P. 3–11.
6. Shovkoshitny I.I., Vasylenko O.A. Problematic issues of swarm use of attack unmanned aerial vehicles. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defense*. 2023. No. 3(48). P. 27–34.
7. Husak Yu.A., Vasylenko O.A. Mathematical model for controlling the use of a swarm of striking unmanned aerial vehicles based on artificial intelligence algorithms. International academic forum “Military innovations in modern wars”: Collection of theses of the international forum. Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine. Kyiv. 7 BC, 2024. P. 36–37 (Kyiv, April 18–19). Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine
8. Shovkoshitny I. I., Vasylenko O. A. Problematic issues of the swarm application of attack unmanned aerial vehicles. *Modern information technologies in the field of security and defense: science. journal National University of Defense of Ukraine*. Kyiv. 2023. No. 3 (48). P.27–34.
9. Vasylenko O.A., Yaroshenko Ya.V. Some issues of control of swarms of unmanned aerial vehicles and their adaptation to the needs of the Armed Forces of Ukraine. Integration of foreign platforms into the structure of the Defense Forces of Ukraine. Capabilities, application, support: Coll. scientific and practical materials. seminar on February 7, 2024. Kyiv. NDUU, 2024. P. 35–40.
10. Husak Yu.A., Vasylenko O.A., Kolomiets Yu.M. Development of an algorithm of actions of a group of attack unmanned aerial vehicles. The security and defense sector of Ukraine in defense of national interests: current problems and tasks in the conditions of martial law: theses of the 2nd International Scientific and Practical Conference (Khmelnyskyi, November 23, 2023). Khmelnyskyi. NADPSU Publishing House. 2024. P. 123–125.
11. Shovkoshitny I. I., Vasylenko O. A. Prospects and problematic issues of implementation of swarm principles of use of attack unmanned aerial vehicles. Joint actions of military formations and law enforcement agencies of the state: problems and solutions in the conditions of martial law: theses of the 5th international scientific and practical conference (Odesa, October 20, 2023). P. 137–138.