

УДК 623.746.7:519.7

<https://doi.org/10.33099/2304-2745/2024-3-83/108-116>

Шовкошитний І. І. кандидат військових наук, старший науковий співробітник<sup>1</sup>  
(0000-0001-9245-4111)

Василенко О. А.<sup>2</sup> (0000-0003-2633-0131)

<sup>1</sup> – Національний університет оборони України, Київ;

<sup>2</sup> – Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

## Розроблення логіко-часової моделі ройового застосування ударних безпілотних літальних апаратів з урахуванням типових способів їх групового застосування в сучасних умовах

**Резюме.** У статті наведено визначення основних термінів, які характеризують перспективну форму ройового застосування ударних безпілотних літальних апаратів. На основі аналізу типових способів групового застосування таких апаратів у сучасних умовах запропоновано варіант формалізованої логіко-часової поетапної моделі застосування рою ударних безпілотних літальних апаратів, визначено напрями її подальшого розвитку.

**Ключові слова:** ударні безпілотні літальні апарати; рій; логіко-часова модель, проблеми застосування, способи застосування роїв безпілотних літальних апаратів, російсько-українська війна.

**Постановка проблеми.** Уроки застосування безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА) у війні РФ проти України майже незліченні й поширюються від тактичного до стратегічного рівня. Характерною тенденцією цієї війни є те, що безпілотні системи стали важливим інструментом здійснення асиметричних дій проти російських військ та об'єктів. Підтримуючи прискорений цикл інновацій і навчаючись на досвіді України, наші партнери, зокрема США, країни Євросоюзу, Азійсько-Тихоокеанського регіону, мають технологічні можливості випереджати своїх потенційних противників у розвитку сучасних видів озброєння і бути готовими до протистояння сучасним і майбутнім викликам у воєнній сфері під час поточних і можливих конфліктів, у яких безпілотні системи відіграватимуть ключову роль. Саме застосування таких систем у повітрі, на суші й на морі революційно змінює парадигму ведення сучасної війни, а швидка технологічна адаптація та перманентні інновації в цій галузі будуть критично важливими у підготовці до майбутніх війн.

Важливим уроком ведення бойових дій у російсько-українській війні стала доволі ефективна тактика групового застосування БпЛА. Проте з розширенням спроможностей систем вогневої та невогневої протидії БпЛА така ефективність значно знижується. Тобто кількість ударних БпЛА у групі поступово втрачає значення, а центр уваги зміщується в бік нових способів їх групового застосування, які базуються на принципах ройової

поведінки. Цьому сприяє революційний розвиток у світі роботизованих систем і ройових технологій, які знаходять першочергове застосування у системах військового призначення [1]. З метою розвитку та впровадження подібних технологій у системах озброєння Збройних Сил України (далі – ЗС України) та інших складових сектора безпеки і оборони виникає потреба у розробленні (розвитку) методологічних основ застосування роботизованих безпілотних систем на основі принципів ройової взаємодії. Одним із важливих напрямів при цьому є розроблення логіко-часової моделі ройового застосування ударних БпЛА.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Увага фахівців багатьох країн зосереджується на впровадженні у військовій сфері технологій ройового застосування засобів розвідки та ураження. Це стосується, зокрема, ройового застосування ударних БпЛА, яке, на думку фахівців [2–4], сприятиме підвищенню можливостей з ураження об'єктів противника за рахунок раціонального розподілу БпЛА по цілях, адаптивного реагування на зміну умов обстановки на полі бою, зменшення навантаження на оператора.

Упровадження ройових принципів застосування безпілотних роботизованих платформ розглядається як один із основних шляхів розвитку сучасних озброєнь, а також гарантування технологічної та військово-технічної переваги над противником [5, 6]. З огляду на це в багатьох країнах проводяться

інтенсивні дослідження, спрямовані на те, щоб досягти потрібного ефекту (розвідки, ураження, доставки вантажів тощо) завдяки використанню узгоджених алгоритмів дій БпЛА у групі [7]. Для України, на території якої фактично відбувається війна нового типу з випробуванням усіх новітніх технологій (зокрема в галузі безпілотної авіації та роботизованих комплексів), подібні питання є, безумовно, актуальними.

Водночас, у наукових публікаціях питання щодо методології ройового застосування ударних безпілотної літальних апаратів, зокрема етапів їх застосування у часі, розкриті недостатньо повно або в доволі абстрактних формулюваннях.

**Метою статті** є розроблення формалізованої логіко-часової поетапної моделі застосування рою ударних безпілотної літальних апаратів з урахуванням типових способів їх групового застосування в сучасних умовах.

**Виклад основного матеріалу.** Для переходу до формалізації логіко-часової моделі ройового застосування ударних БпЛА проведемо короткий аналіз еволюції групових форм їх застосування.

Одними з основних форм застосування ударних безпілотної авіаційних систем нині є: скид (пуск) засобів ураження, удар БпЛА, авіаційний (повітряний) удар, повітряний бій, спеціальний політ.

Особлива увага приділяється розвитку способів групового застосування БпЛА, а також спільного застосування пілотованої й безпілотної авіації, яка діятиме в єдиному інформаційному просторі згідно із концепціями ведення “мережецентричних війн” [9]. Наочним прикладом нової тактики є, зокрема, групова скоординована атака БпЛА-камікадзе на російські військові об’єкти в Сирії у 2018 році, яка показала, яким може бути застосування БпЛА у війнах майбутнього. Необхідно враховувати, що подібна тактика застосовується не тільки регулярними збройними формуваннями, а й терористичними організаціями, що пояснюється безконтрольним поширенням сучасних технологій, зокрема подвійного призначення.

Крім того, узагальнення досвіду сучасних збройних конфліктів дозволило визначити низку способів застосування БпЛА для вирішення завдань розвідки, коригування вогню (цілевказання), завдання ударів, контролю їхніх результатів, а також ведення РЕБ.

Основними типовими способами застосування БпЛА нині є [9]:

- послідовний пошук цілі в заданій виконавчій зоні;

- баражування БпЛА в заданій зоні;

- обліт заданого рубежу або заданої точки;

- пошук цілі в заданому кутовому секторі або на маршруті польоту;

- групове (ройове) застосування БпЛА під час завдання ударів по об’єктах;

- подавлення ліній радіозв’язку у заданому районі;

- подавлення окремого радіоелектронного об’єкта групою (роєм) БпЛА – постановників радіоперешкод.

Деякі із зазначених способів застосовувались під час ведення бойових дій у Сирії, де, зважаючи на фактичну відсутність ударних БпЛА в угрупованні РФ, найбільш характерними їхніми завданнями були: розвідка цілей для завдання авіаційних ударів, коригування вогню сирійської артилерії, оцінювання збитку.

БпЛА I–III класів (I клас – “Легкі”, злітна маса до 150 кг, тактичний радіус – до 50 км; II клас – “Середні”, злітна маса 150–600 кг, тактичний радіус – понад 50 км; III клас – “Важкі”, злітна маса понад 600 кг, тактичний радіус – понад 200 км) [8] застосовувалися переважно для виконання таких завдань: точна доставка корисного навантаження (скидання вибухівки або атаки БпЛА-камікадзе); спостереження (розвідка позицій противника, координація атаки або коригування вогню); порушення інфраструктури; використання мікро БпЛА для ускладнення функціонування критичних об’єктів, зокрема аеропортів, інформаційно-комунікаційних мереж кібервпливом на них спеціальними групами БпЛА.

Наведемо деякі способи застосування БпЛА. Перспективними вважаються способи застосування:

- розвідувальних БпЛА у режимі розвідувально-ударного (розвідувально-вогневого комплексу);

- груп (роїв) БпЛА у складі ешелону прориву ППО;

- груп (роїв) БпЛА під час забезпечення дій підрозділів Сил спеціальних операцій;

- груп (роїв) БпЛА для постановки активних радіоперешкод об’єктам противника;

- груп (роїв) БпЛА під час виконання допоміжних завдань (з доставки вантажів, ведення технічної розвідки, виконання завдань пошуково-рятувального забезпечення,

евакуації поранених з поля бою тощо). Деякі із цих способів уже частково реалізовано на практиці. Графічний опис, переваги та недоліки деяких способів представлено на рис. 1–6.

На рис. 1 наведено спосіб застосування груп БпЛА у складі ешелону прориву ППО противника, який передбачає спільне застосування пілотованої та безпілотної авіації під час прориву (подавлення) ППО противника і дає змогу долати зони ППО для завдання ударів у глибині оборони противника з найменшими втратами.

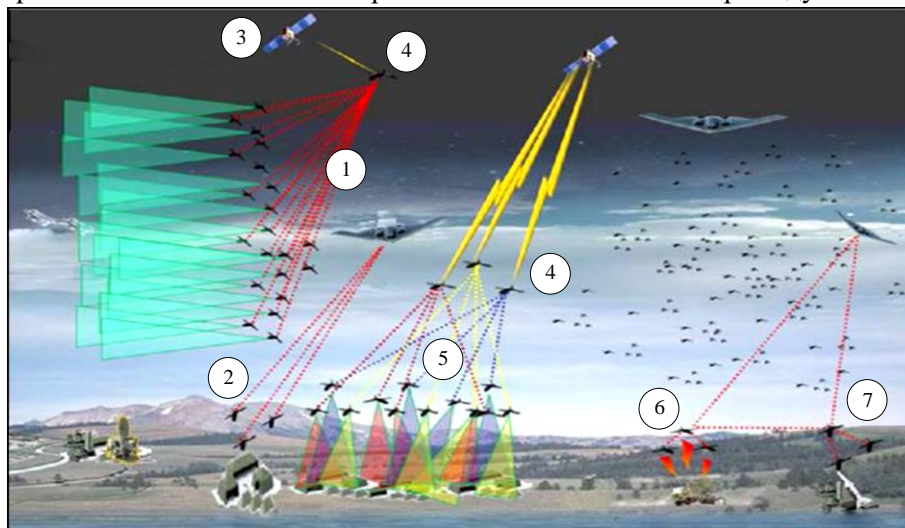


Рис. 1. Спосіб застосування груп БпЛА у складі ешелону прориву ППО противника

На рис. 2 продемонстровано спосіб застосування груп БпЛА для пошуку і знищення цілей під час забезпечення дій підрозділів Сил спеціальних операцій, який полягає у взаємодії різнофункціональних БпЛА у групі, зокрема: БпЛА управління (для розвідки й цілевказання); БпЛА розвідувально-ударної групи; БпЛА-ретранслятора (для розширення глибини можливого управління діями підрозділів спеціальних операцій, а також управління БпЛА розвідувально-ударної групи).

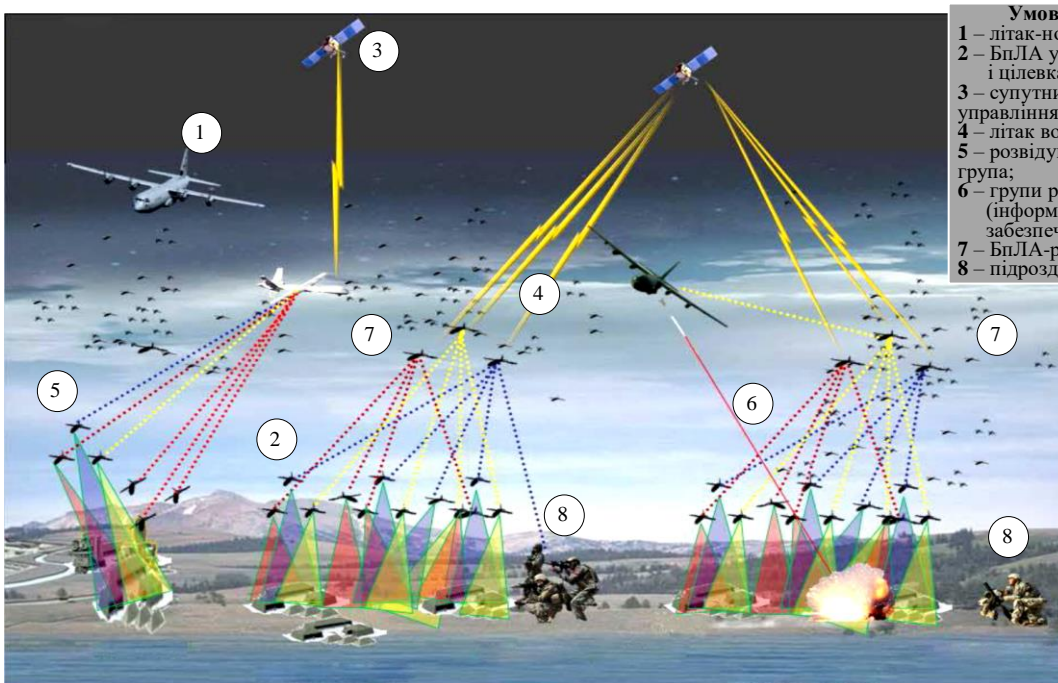


Рис. 2. Спосіб застосування груп БпЛА для пошуку і знищення цілей під час забезпечення дій підрозділів Сил спеціальних операцій

На рис. 3 показано перспективні варіанти групового застосування БпЛА в умовах активної постановки радіоперешкод противником, які передбачають [9]: поділ

БпЛА на групи з метою вирішення раптово виниклих завдань; ретрансляцію сигналів управління БпЛА за неможливості видачі команд безпосередньо кожному з них; дії в

умовах нестабільної роботи глобальної системи позиціонування; здійснення геоприв'язки на основі сканування рельєфу ділянок місцевості й зіставлення їх з наявною електронною картою місцевості. Відповідно до зазначеного варіанта проводяться спільні операції з декількома БпЛА під управлінням одного оператора, зокрема без постійного контролю з його боку та з можливістю автономної взаємодії окремих БпЛА. Оператор володітиме актуальними даними щодо стану групи, статусу виконаних і наступних завдань, а також можливих алгоритмів дій. За необхідності оператор може групувати БпЛА, присвоювати групі номер та направляти на виконання нового завдання з автоматичним перерозподілом попередніх

завдань між рештою БпЛА у групі (рою). Після виконання завдання група продовжуватиме діяти за основним планом або очікуватиме нового завдання згідно з обраним алгоритмом дій. Передбачається, що управління БпЛА може передаватись іншим операторам залежно від поточної обстановки.

На рис. 4. наведено концептуальний варіант, згідно з яким має бути спільне застосування ударних БпЛА під управлінням пілотованого літака. Такий варіант теоретично розширить потенційні зони ураження об'єктів противника з виключення входу ударних літаків у зону дії ППО та підвищить ймовірність ураження цілей завдяки інформаційній взаємодії між ударними БпЛА у групі [10–11].

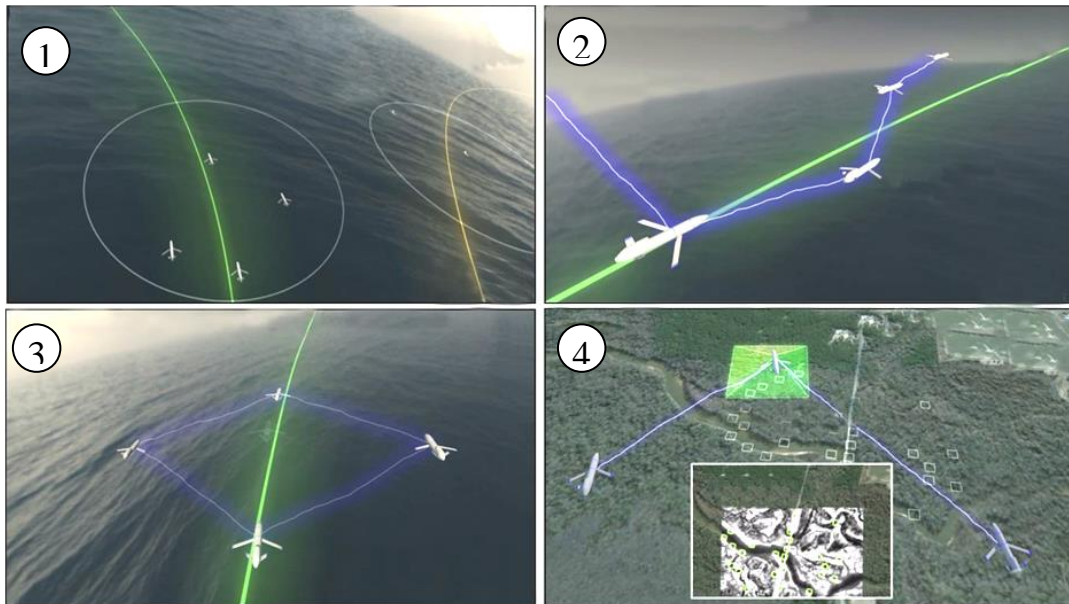


Рис. 3. Перспективні варіанти групового застосування БпЛА в умовах активної постановки радіоперешкод противником



Рис. 4. Концептуальний варіант спільного застосування ударних БпЛА під керуванням пілотованого літака

На рис. 5, на підставі аналізу джерел [9–12], представлено варіант способу групового застосування БпЛА під час завдання ударів по об'єктах з урахуванням основних етапів (зліт групи, побудова бойового порядку, проліт лінії зіткнення (подолання ППО на малих висотах), розвідка

цілей, завдання ударів по цілях, повернення в точку старту). Слід зазначити, що такий спосіб уже реалізується на практиці, про що свідчить досвід російсько-української війни.

На рис. 6 наведено ще один варіант застосування групи БпЛА – постановників радіоперешкод для подавлення



радіоелектронного об'єкта (з використанням бортових літерних передавачів радіоперешкод у широкому діапазоні частот). На практиці такий варіант може супроводжуватись додатковим управлінням групою через БпЛА-ретранслятор (висота польоту 4,5–5 км і більше) та залученням БпЛА, який веде

розвідку з висоти 1000–1500 м (іноді такий БпЛА додатково може виконувати функції радіоелектронного подавлення). Перевагами способу є: комплексне виконання завдань розвідки об'єктів та їх РЕП у режимі реального часу; розширена зона розвідки і РЕП (завдяки застосуванню ретранслятора).

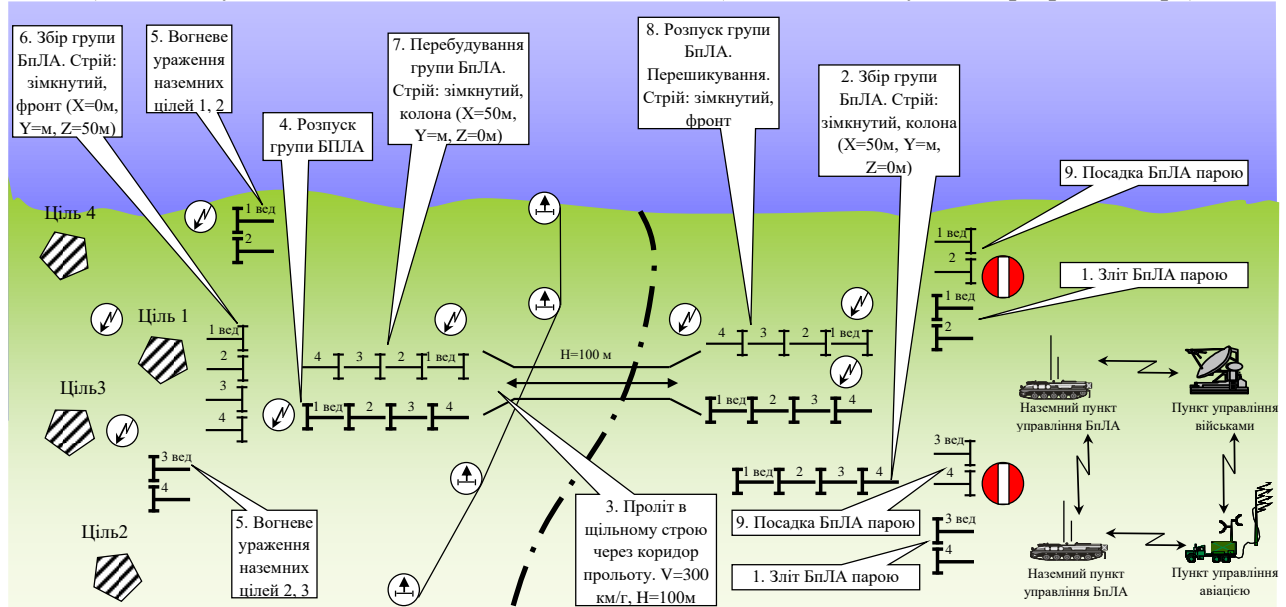


Рис. 5. Спосіб групового застосування БпЛА під час завдання ударів по об'єктах (варіант)

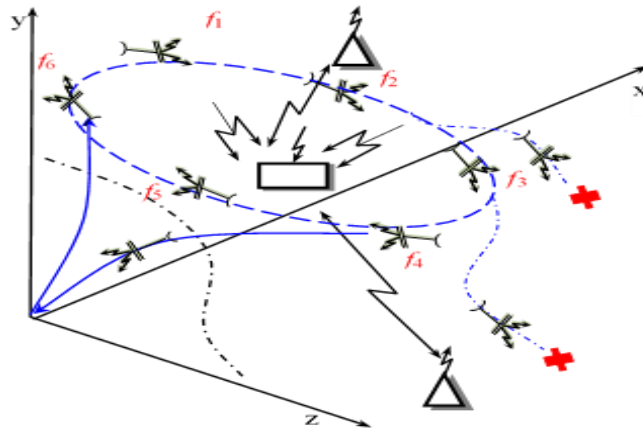


Рис. 6. Варіанти застосування групи БпЛА – постановників радіоперешкод для подавлення радіоелектронного об'єкта групою БпЛА (з використанням бортових літерних передавачів радіоперешкод у широкому діапазоні частот)

Крім наведених вище способів, останнім часом у російсько-українській війні спостерігається активне застосування на передньому краї різномірних FPV-БпЛА (БпЛА типу first person view, що керуються за допомогою окулярів віртуальної реальності), способи застосування яких тестуються безпосередньо під час ведення різних форм бойових дій. Зокрема апробовано такі способи: комбінованих ударів змішаних груп FPV-БпЛА (БпЛА зі скидами та БпЛА-камікадзе) по об'єктах противника; послідовних ударів FPV-БпЛА з різним типом бойової частини (кумулятивної й

термобаричної) для підвищення надійності ураження укріплених об'єктів; комбінування ударів різними боєприпасами (з отруйними речовинами та осколково-фугасними бойовими частинами) для підвищення ефективності ураження особового складу противника, що перебуває в укриттях; застосування групи "FPV-диверсантів", які, знаходячись у заданому районі, можуть скоординовано активуватись у заданий час за командою оператора й діяти під управлінням через БпЛА-ретранслятор.

Представлені способи групового застосування БпЛА в короткостроковій

перспективі лишатимуться актуальними і, з огляду на діалектичні принципи війни, будуть удосконалюватись.

Проте, як було зазначено вище, у сучасних умовах кількість БпЛА у групі вже не є визначальною. Отже, виникає потреба в описі процесів ройового застосування групи ударних БпЛА, цільовим призначенням яких є пошук та ураження наземних цілей заданого типу у визначеному районі (області простору). Введемо основні визначення.

Раніше під “роєм БпЛА” мали на увазі групу щонайменше з 50 одиниць, самоорганізованих однорідних БпЛА, які виконують місію через локальну взаємодію [13–16]. Проте у результаті еволюції теоретичних досліджень це поняття трансформувалося й нині під “роєм БпЛА” запропоновано мати на увазі групу БпЛА, управління якою здійснюється за допомогою штучного інтелекту із застосуванням алгоритмів “самоорганізації” [17]. При цьому під “ударними БпЛА” будемо розуміти бойові БпЛА, здатні самостійно виконувати розвідувальні й ударні завдання з метою виявлення (власними бортовими засобами розвідки) наземних і морських цілей (об’єктів) та їх подальшого ураження бортовою зброєю – інтегрованою бойовою частиною або боеприпасами, що скидаються.

*Самоорганізація* є ключовою властивістю, яка характеризує здатність до впорядкування (збільшення порядку) за простором, часом і за параметром встановлення взаємозв’язку та взаємодії первинно неупорядкованої групи окремих БпЛА з метою: створення рою БпЛА, функціональні можливості якого вищі за суму можливостей окремих БпЛА у групі; набуття здатності адаптуватися до впливів зовнішнього середовища завдяки коригуванню функцій та структури рою БпЛА. При цьому слід зауважити, що самоорганізацію як процес і як результат не можна розглядати як властивість централізованої системи, а вона має досягатись за відсутності будь-яких механізмів централізованого керування.

У більшості джерел ройове застосування БпЛА розглядається на рівні опису загальної ідеї, іноді з доволі високим рівнем абстрагування та без визначення конкретної мети рою, яка є визначальною. Тому важливим питанням є визначення вихідних даних щодо принципів та логіки формування рою ударних БпЛА. Зокрема, цільовим призначенням “рою” може бути

пошук та ураження наземних цілей заданого типу у визначеному районі (області простору). Подібна мета є певним аналогом завдання “пошуку їжі” у природному середовищі (алгоритм кажанів, мурашиний алгоритм, алгоритм колонії бджіл, вовчої зграї тощо). Також принципово важливим є визначення типу рою (однорідний, різнорідний), що суттєво впливає на склад групи БпЛА (рою та суброїв).

Для розуміння змісту процесів ройової поведінки груп БпЛА у часі розроблено логіко-часову модель застосування рою ударних БпЛА (рис. 7), основною метою якого є пошук та ураження певного об’єкта (об’єктів певних класів) противника. Модель є узагальненою і відображає основні (типові) етапи ройового застосування ударних БпЛА.

У результаті аналізу змісту етапів логіко-часової моделі ройового застосування ударних БпЛА авторами проведено узагальнення найбільш суттєвих проблемних питань, які слід вирішити для забезпечення реалізації принципів ройової поведінки під час застосування груп (роїв) ударних БпЛА. Зокрема, до них належать:

складність та різноманітність алгоритмів ройової взаємодії БпЛА-агентів у складі рою (на всіх етапах);

необхідність адаптивного комбінування централізованого та децентралізованого способів управління роєм на основі принципів самоорганізації; складність організації децентралізованого (без участі оператора) інформаційного обміну між БпЛА-агентами у складних умовах обстановки;

складність вирішення завдань розпізнавання ситуацій або конкретних цілей, особливо у стані переходу рою до “самоорганізації” та зменшення або виключення ролі оператора БпЛА (вирішення цих завдань потребуватиме розроблення алгоритмів на основі поєднання положень теорій підтримки ухвалення рішень, розпізнавання образів (зокрема паттернів ситуацій і оптичних образів об’єктів), методів контурного аналізу, цифрової фільтрації зображень, методів штучних нейронних мереж, а також методів з інших галузей знань); проблема реалізації просторово-розподіленої самоорганізованої системи на основі штучного інтелекту, а також збереження її стійкості та керованості в умовах можливої втрати (витрати) частини БпЛА-агентів та періодичної адаптивної реконфігурації рою;

проблема самої реконфігурації рою в умовах відсутності або мінімальної участі оператора, подолання якої потребуватиме вирішення завдань роз'єднання рою на кластери (суброї або окремі БпЛА-агенти), їхнього збирання у нову групу (рій) та контролю його цілісності;

передбачувана складність алгоритмів генерації завдань самоорганізованими роями з урахуванням меж заданого району, потенційної доступності цілей та залишків ресурсу рою.

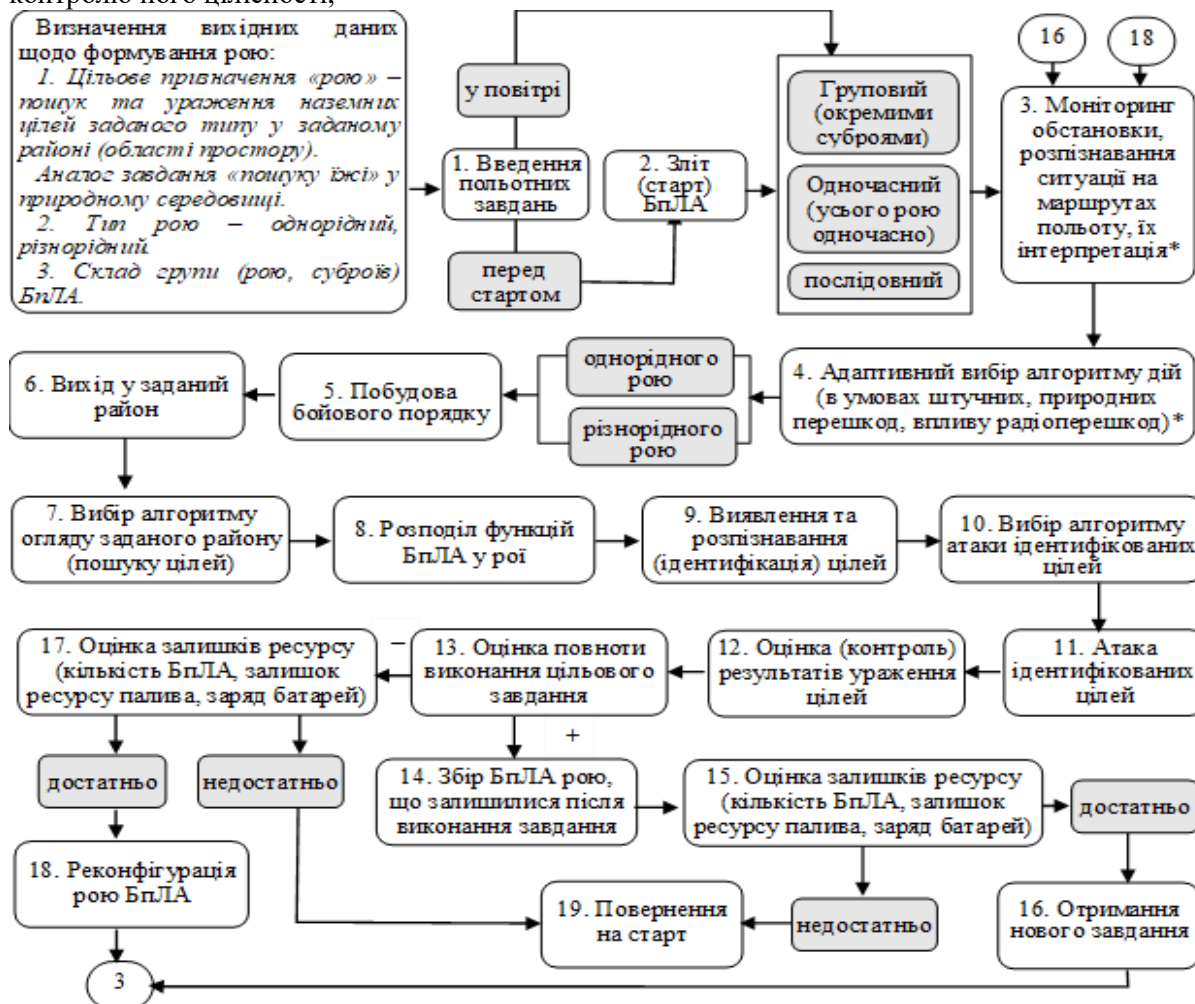


Рис. 7. Логіко-часова модель застосування рою ударних БпЛА (варіант)

Слід зауважити, що запропонована логіко-часова модель є узагальненою і в подальшому її має бути уточнено з урахуванням низки важливих аспектів, до яких належать:

1. *Тип рою БпЛА*, який може бути однорідним, де всі БпЛА уніфіковані й призначені для виконання типових розвідувально-ударних завдань, або різнорідним, у якому застосовуються декілька типів БпЛА з різними функціями (розвідка, ураження, розвідка та ураження).

2. *Кратність застосування агентів рою*, яка може передбачати їх:

однократне застосування (без повернення), що характерне для більшості баражуючих боєприпасів;

багатократне застосування з можливістю повернення на старт

(у визначений район) після виконання цільового завдання роєм БпЛА у разі залишку невикористаних агентів або вичерпання ресурсу витратних елементів БпЛА (палива, заряду батарей тощо).

3. *Тип ударних функцій БпЛА у рої*, які відрізняються у баражуючих боєприпасів (БпЛА-камікадзе) та у БпЛА зі “скидами”.

4. *Ступінь автономності застосування рою БпЛА:*

повна автономність;

часткова автономність з участю операторів на початковому етапі або їхнім втручанням для коригування поведінки рою на подальших етапах;

переважно централізоване управління роєм БпЛА з делегуванням агентам рою окремих функцій (огинання перешкод, ідентифікації цілей, самонаведення за

допомогою технологій машинного зору, автономних поведінкових рішень у разі втрати сигналів управління, впливу радіоперешкод тощо).

5. Тип використовуваних ройових алгоритмів, формалізовані математичні постановки яких значно відрізняються і передбачають певний набір необхідних параметрів та відповідну послідовність їх використання для забезпечення функцій рою ударних БпЛА.

Опис окремих процесів застосування роїв ударних БпЛА на певних етапах логіко-часової моделі може бути здійснено за допомогою ройових алгоритмів, описаних у [18–21]: пташиної зграї Крега Рейнольдса, мурашиний, бджолиний, кажанів, косяка риб, генетичний алгоритм, рою частинок, світлячків, сірих вовків, стохастичний дифузійний пошук, бактеріальний пошук, двійковий алгоритм бабки тощо.

Кожен із зазначених ройових алгоритмів має переваги та недоліки. Зокрема, алгоритм пташиної зграї Крега Рейнольдса дає змогу описати рух групи (рою) БпЛА, але водночас не враховує протидію середовища та важливість задач, які вона виконує.

Наприклад, для опису моделі застосування рою ударних БпЛА для ураження цілей може бути використано алгоритм, інспірований кажанами (Bat-Inspired, BI). Цей алгоритм описує колективну поведінку кажанів та ґрунтується на їхніх унікальних ехолокаційних можливостях, що застосовуються для виявлення здобичі та уникнення перешкод, навіть уночі. Для локалізації рухомих об'єктів кажани використовують ефект Доплера. Доцільність використання цього алгоритму під час розроблення поведінкової моделі рою розвідувально-ударних БпЛА підтверджується його доволі повною математичною формалізацією та збігом основних поведінкових принципів (пошук цілей (“їжі”), контролем взаємного положення між БпЛА рою (“кажанами”) та між БпЛА та ціллю (“їжею”), вибором для атаки найближчих цілей, виключенням “боротьби між БпЛА за конкретну ціль”, яка вже атакується).

У разі правильної формалізації більшість відомих алгоритмів можуть бути адаптовані під умови задачі з урахуванням етапів логіко-часової моделі застосування рою ударних БпЛА (приклад конкретних задач – оптимізація розташування БпЛА у

рої для моніторингу обстановки, пошук цілей роєм ударних БпЛА, цілерозподіл тощо).

**Висновок.** Отже, зважаючи на зростання ролі застосування ударних БпЛА у сучасних війнах, у статті на основі аналізу типових способів їх групового застосування запропоновано варіант формалізованої логіко-часової поетапної моделі застосування рою ударних безпілотних літальних апаратів. У подальшому зазначену логіко-часову модель може бути змінено (доповнено) з урахуванням набутого бойового досвіду, а також наведених напрямів її подальшого розвитку.

**Перспективи подальших досліджень.** Отримані у статті результати можуть бути основою для подальшого дослідження проблемних питань щодо ройового застосування розвідувально-ударних БпЛА, удосконалення запропонованої логіко-часової поетапної моделі з урахуванням більш повних вихідних даних (завдань, умов і обмежень) з відповідною деталізацією етапів ройового застосування БпЛА та формуванням логіки алгоритмів виконання часткових завдань рою, загальний обрис яких викладено у статті. Крім того, важливим напрямом досліджень слід вважати аналіз наявних ройових алгоритмів з точки зору можливості їх адаптації до розв'язання конкретних задач, що виникатимуть на різних етапах ройового застосування розвідувально-ударних БпЛА.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Роботизовані системи військового призначення наземного, повітряного та морського базування / В. Ф. Залужний, С. О. Шаптала, В. В. Коваль, В. М. Назаров, Р. В. Гришук ; за заг. ред. проф. Р. В. Гришука // Довідник. Київ : ЦНДІ ЗС України, 2023. 96 с.
2. Голембо В. А., Мельніков Р. Г. Організація роботи групи безпілотних літальних апаратів. Львів : Нац. ун-т “Львівська політехніка”, 2018. С. 53–63.
3. Ярошенко Я. В., Герасименко В. В., Коротін С. М., Мартинюк О. Р. Класифікація завдань спільного бойового порядку пілотованої та безпілотної авіації в операціях // Повітряна міць України. 2021. № 1. С. 41–46.
4. Коваль В. В., Артюшин Л. М., Семон Б. Й., Лобанов А. А., Герасименко В. В. Підходи до формулювання стратегії управління спільними бойовими порядками пілотованої та безпілотної авіації // Наука і оборона. 2021. № 4. С. 34–43.
5. Шовкошитний І. І., Василенко О. А. Проблемні питання ройового застосування ударних безпілотних літальних апаратів // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2023. Т. 48, № 3. С. 27–34. DOI:10.33099/2311-7249/2023-48-3-27-34.



6. Журавська І. Гетерогенні комп'ютерні мережі критичного застосування на основі роїв та зграй БПЛА : монографія. Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2019. 192 с.
7. Бережний А. О. Методи та інформаційна технологія автоматизованого планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для підвищення ефективності пошуку об'єктів. Дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06. Харків : ХНУПС, 2020.
8. Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України : наказ Міністерства оборони України від 08.12.2016 р. № 661. 83 с.
9. Бойове застосування авіації. Частина І. Застосування військових частин пілотованої авіації за призначенням в різних умовах обстановки : навч. посіб. / В. В. Герасименко, О. Р. Мартинюк, О. Є. Блискун та ін. Київ : НУОУ, 2023. 164 с.
10. Стратегія Повітряних Сил 2035. Вінниця : КПС ЗС України. 2020. 40 с.
11. Перспективи застосування спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації. Частина І. Теорія застосування спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації : навч. посіб. / В. В. Герасименко, А. Г. Салій, В. К. Медведєв та ін. Київ : НУОУ, 2022. 96 с.
12. Тактика Повітряних Сил. Книга 1. Застосування Повітряних Сил : навч. посіб. / А. Г. Салій, С. М. Коротін та ін. ; під заг. ред. А. В. Слюсаренка. Київ : НУОУ, 2024. 364 с.
13. Global Horizons: United States Air Force Global Science and Technology Vision, 2013.
14. Beni Gerardo, Jing Wang. Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems. Robots and Biological Systems: Towards a New Bionics? 1993. P. 703–712.
15. Gerardo Beni. From Swarm Intelligence to Swarm Robotics. Swarm Robotics. 2005. P. 1–9.
16. A Framework for Integrating the Development of Swarm Unmanned Aerial System Doctrine and Design. USA. URL: <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/STO-MP-SET-222/MP-SET-222-14.pdf>.
17. Гусак Ю., Василенко О. Алгоритм створення нейронної мережі класифікації ударних безпілотних літальних апаратів // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2024. № 2 (50). С. 54–68. DOI: 10.33099/2311-7249/2024-50-2-54-68.
18. Абдураїмов Т. З. Алгоритм глибинного аналізу даних для задачі класифікації на основі штучного бджолиного рою. Магіст. дис. ... 123. Київ : НТУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», 2020. 107 с.
19. Литвин В., Угрин Д. Методи роєвого інтелекту розв'язання прикладних задач в геоінформаційних системах // Інформаційні системи та мережі. 2020. С. 87–106.
20. Бабійчук О. Система реалізації задачі дискретної оптимізації з використанням еволюційного алгоритму. Магіст. дис. ... 122. Київ : Нац. авіаційний ун-т, 2022. 87 с.
21. Коваль Р. А., Семенова А. С. Метод дискретної оптимізації на основі алгоритма летучих мишей. Харьков : НТУ «Харьковский политехнический институт», 2018. URL: [www.kpi.kharkov.ua/archive/microcad/2018/S19/microcad18\\_26.pdf](http://www.kpi.kharkov.ua/archive/microcad/2018/S19/microcad18_26.pdf)

Стаття надійшла до редакційної колегії 11.12.2024

## **Development of a logical-temporal model of swarm use of strike unmanned aerial vehicles, taking into account typical methods of their group use in modern conditions**

### **Annotation**

The lessons learned from the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in Russia's war against Ukraine are almost countless and extend from the tactical to the strategic level. A characteristic trend of this war is that unmanned systems have become an important tool for asymmetric actions against Russian troops and facilities. An important lesson of warfare in the Russian-Ukrainian war was the rather effective tactics of group use of UAVs. In order to develop and implement such technologies in the weapons systems of the Armed Forces of Ukraine and other components of the security and defence sector, there is a need to develop (elaborate) methodological foundations for the use of robotic unmanned systems based on the principles of swarm interaction.

The purpose of the article is to develop a formalized logical and temporal step-by-step model for the use of a swarm of strike unmanned aerial vehicles, taking into account the typical ways of their group use in modern conditions.

Generalization of the experience of modern armed conflicts has made it possible to identify a number of ways to use UAVs to solve the tasks of reconnaissance, fire adjustment (targeting), strikes, monitoring their results, and electronic warfare. The presented methods of group use of UAVs will remain relevant in the short term and, given the dialectical principles of war, will be improved.

To understand the content of the processes of swarm behavior of UAV groups in time, a logical and temporal model of the use of a swarm of strike UAVs has been developed, the main purpose of which is to search for and destroy a certain object (objects of certain classes) of the enemy. The model is generalized and reflects the main (typical) stages of the swarm use of attack UAVs.

**Keywords:** strike unmanned aerial vehicles; swarm; logical-temporal model; application problems; methods of using swarms of unmanned aerial vehicles; Russian-Ukrainian war.