

DOI <https://doi.org/10.15407/usim.2018.05.025>
УДК 581.513

С.О. БОНДАР, провідний інженер, відділ інтелектуального управління,
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем
НАН України та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,
orangearrows@bigmir.net

Е.В. КОЖОХИНА, старший науковий співробітник, відділ інтелектуального управління,
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем
НАН України та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,
kozkhokhina@gmail.com

В.А. БОРОВИК, провідний інженер-програміст, відділ інтелектуального управління,
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем
НАН України та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
dep185@irtc.org.ua

Я.Н. ПИДЕР, старший науковий співробітник, відділ інтелектуального управління,
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем
НАН України і МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
dep185@irtc.org.ua

Н.В. КОРШУНОВ, старший науковий співробітник, відділ інтелектуального управління,
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем
НАН України та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
dep185@irtc.org.ua

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ГРУПОВОГО ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Розглянуто перспективи використання безпілотних літальних апаратів у різних галузях. Виявлено найбільш виправдані та перспективні шляхи для імплементації контрольованої групової активності безпілотних літальних апаратів. Досліджені наявні комплекси групової безпілотної авіації, основні задачі їх застосування та, ґрунтуючись на цьому, виведено їх основні переваги та недоліки. Для компенсації найбільш значущих з них, проведено порівняльний аналіз алгоритмів керування групою безпілотних літальних апаратів, як наявних, так і перспективних.

Ключові слова: груповий політ, безпілотний літальний апарат, дрон, моніторинг, позиціонування, алгоритм керування.

Вступ

Безпілотні літальні апарати (БпЛА) корисні в численних сферах застосування, зокрема недоступних або небезпечних для людини, таких як патрулювання великих просторів, місії з ліквідації наслідків стихійних лих та моніторинг за масовими подіями. Вони корисні для

цих галузей, оскільки БпЛА можуть бути дистанційно керовані комп'ютером за використання радіозв'язку, а не пілотом - людиною.

Існує ряд завдань для виконання яких потрібні декілька груп БпЛА, наприклад, для охоплення більшої площі або для отримання декількох точок зору. Група БпЛА, які працюють разом над

виконанням певного завдання називають *роєм*. БпЛА, з яких складається така група, працюють разом, повідомляючи про свою позицію та іншу корисну інформацію з задалегідь визначеними інтервалами часу. Просторова формація, тобто розташування БпЛА, один відносно іншого у просторі, є ключовим елементом для їх взаємодії.

Група БпЛА є наступним рівнем впровадження безпілотних технологій у сфери щоденного використання і підвищує ефективність застосування БпЛА для вирішення цивільних і військових завдань. Склад групи може варіюватися від двох БпЛА, до декількох тисяч, а також може бути налаштований на виконання як одного, так і декількох завдань одночасно.

Актуальність

Стаття присвячена такому перспективному напрямку застосування БпЛА, як групова активність. Мета роботи — опис і класифікація галузей використання груп БпЛА, існуючі та можливі завдання, для виконання яких пристосовані групові системи керування БпЛА, аналіз розвитку технологій і перспектив у найближчому майбутньому, а також опис та аналіз існуючих і перспективних алгоритмів керування такою групою.

Мета статті — дослідження сучасних систем автоматичного керування БпЛА та опис нових методів їх інтелектуалізації.

Постановка задачі

Розв'язання задачі збору БпЛА в групу полягає в необхідності тактичного обґрунтування раціональних видів груп, кількості БпЛА в групі, у визначенні ідеології збору безпілотних літальних апаратів в групу, у виборі методів синхронного управління кожним БпЛА з групи для забезпечення безпеки польоту і точного витримування кожним БпЛА групи свого місця в строю на прямолінійних і криволінійних ділянках польоту. Причому можливість управління групою ускладнюються не стаціонарністю параметрів польоту. Методи управління БпЛА

визначають основні принципи, які використовуються при проектуванні систем управління БпЛА в групі.

Тому актуальним є розроблення алгоритмів адаптивного керування орієнтацією БпЛА, які компенсують перехресні зв'язки та взаємний вплив поміж каналами керування, що забезпечує інваріантність генерованих команд керування по всіх каналах, навіть у разі глибокого маневрування БпЛА. Окрім того, алгоритми керування мають забезпечити підвищення якості і стійкості керування за умови реалізації складних просторових траєкторій польоту з великими змінами висоти та швидкості польоту за наявності істотно криволінійних ділянок маневрування у вертикальній і горизонтальній площинах.

Базова класифікація систем групового використання безпілотних літальних апаратів

Після аналізу ряду публікацій [5, 6], які охоплюють основні сучасні напрямки використання груп БпЛА, було виявлено основні перспективні напрями для їх імплементації (рис. 1).

Основні сучасні напрямки використання груп БпЛА

Розглянемо систематизовані наявні перспективні для групової активності БпЛА напрямки (рис. 1), які можна розділити на такі основні функціональні групи: спостереження, прикладне застосування, зв'язок та ін.

Використання груп БпЛА при моніторингу та ліквідації наслідків катастроф. Однією з найбільш перспективних сфер використання груп БпЛА є моніторинг ситуації на певній території. У цьому випадку використання БпЛА більш ефективно, ніж одного, оскільки дозволяє охопити більшу площу, а також підвищити точність пошуку надзвичайних ситуацій. Розробка подібних систем ведеться з 2000-х років.

Застосування БпЛА літакового типу ефективно показало себе для повітряного моніторингу водних ресурсів на значній відстані.

Регулярний моніторинг, здійснюваний безпілотними апаратами, дозволяє стежити за паводковою ситуацією, зонами затоплення, виявляти дії нелегальних рибалок.

Спостереження здійснюється не тільки за водоймами, а й за прилеглою береговою лінією. Інформація про зони затоплення, одержувана з БПЛА, дозволяє оперативніше оцінювати ситуацію і прогнозувати її розвиток.

Використання груп БПЛА для виконання пошукових і рятувальних операцій. Використання БПЛА для виконання таких операцій в екстремальних умовах і важкодоступних місцях є однією з найбільш перспективних галузей з часу появи концепції БПЛА. Станом на 2018 р. поодинокі БПЛА вже використовуються в береговій охороні кількох країн, зокрема США (рис. 2) і в січні 2018 р. було офіційно зареєстровано перший випадок порятунку людини за допомогою безпілотного апарату [1].

За даними експлуатантів БПЛА для рятувальних цілей, час реакції на порятунок скорочується в середньому від 5-10 до 1,5 хвилин. Перший випадок порятунку людини був зафіксований біля берегів Австралії, час від отримання команди БПЛА до досягнення цілі становив всього 70 с, що, зважаючи на дальність та погодні умови, було оцінене як відмінний результат.

Використання груп БПЛА для завдань такого характеру є перспективнішим через більшу функціональність, площу покриття і, в конкретному описаному випадку можливість проводити рятувальні операції більшої кількості людей, що дозволить оперативніше реагувати і ефективніше проводити пошуки при авіакатастрофах в умовах точно невідомих координат падіння.

На даний момент не існує працездатних систем, що дозволять широко використовувати

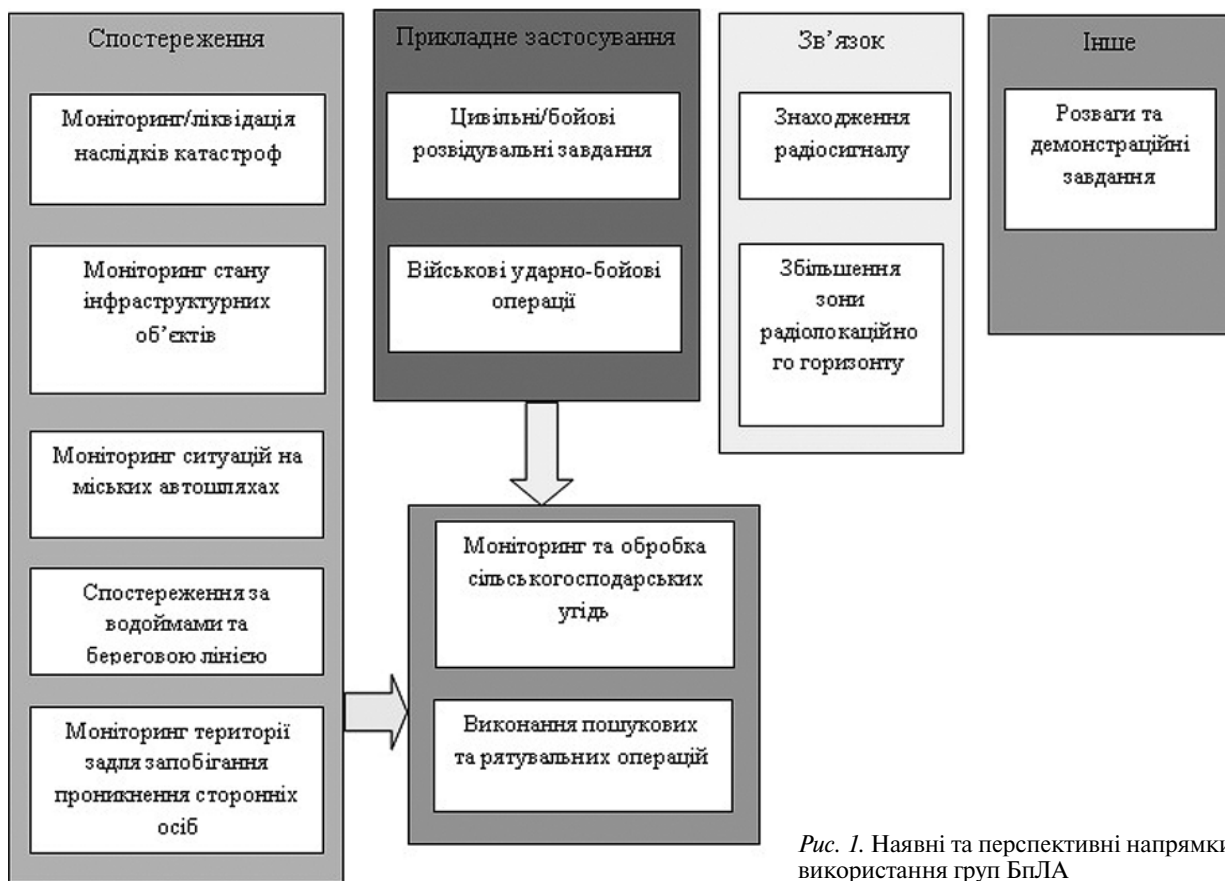


Рис. 1. Наявні та перспективні напрямки використання груп БПЛА

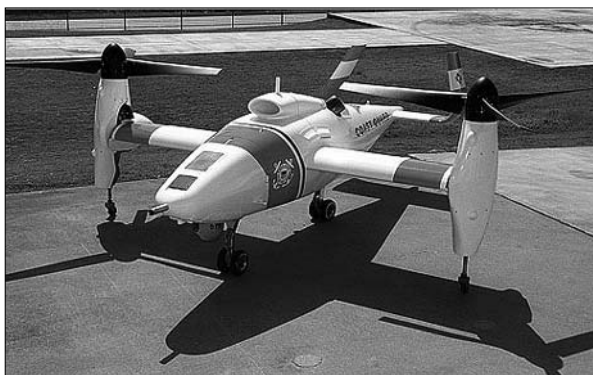


Рис. 2. Рятувальний безпілотний конвертоплан *Eagle Eye*, розроблений фірмою *Bell* для берегової охорони США

вати групи БПЛА для виконання рятувальних операцій, проте їх розробка ведеться фірмами-виробниками БПЛА Китаю, Ізраїлю, США, Канади та інших країн.

Використання групи БПЛА для пошуку радіосигналу. В даному випадку основна задача групи БПЛА полягає в тому, щоб якомога швидше знайти джерело радіосигналу при точно невідомих координатах його перебування. Сьогодні подібні системи випробовуються відразу деякими фірмами-виробниками таких літальних апаратів.

Перехід подібних систем на використання груп БПЛА дозволить збільшити площу одночасного пошуку та його точність, а також зменшити необхідний час. Подібна система може бути застосована для пошуків радіосигналів бортових самописців літальних апаратів, радіосигналів морських суден, що потрапили у екстремальну ситуацію, людей, що загубилися на віддалених ненаселених територіях, або людей, з якими було втрачено прямий зв'язок під час надзвичайної ситуації. Система дозволить забезпечити пошукові і рятувальні операції на суші та на морі швидше та більш ефективними методами, а також така система може бути застосована у військових цілях різного характеру.

Використання груп БПЛА для виконання цивільних або бойових розвідувальних завдань. Представником цієї категорії використання груп БПЛА можна вважати розвідувальну систему *Perdix*, яка з 2012 р. випробовується вій-

ськовими структурами США в різних умовах і з постійно зростаючою кількістю дронів. Військові представники покладають великі надії на групове використання безпілотників, які були б дешевшими у виробництві завдяки використанню технологій 3D друку та поширених промислових компонентів, а також були б здатними знищити оборону супротивників своєю великою кількістю.

Восени 2015 р. на командних навчаннях на Алясці рій таких дронів виконав близько 90 завдань різної складності, так чи інакше пов'язаних зі спостереженням та розвідкою над суходолом та морем. Тоді максимальний склад рою дорівнював 20 дронам. Випробування найбільшого в світі мікробезпілотного рою в Каліфорнії в жовтні-листопаді 2016 р. включало 103 мікродрона *Perdix* (рис. 3) розмірами близько 16 см, які запускаються з трьох винищувачів *F/A-18 Super Hornet*.

Використання груп БПЛА для виконання військових ударно-бойових завдань. Безперечно найбільші напрацювання у сфері груп БПЛА проведені у військовій галузі. На сьогодні, серед країн-лідерів застосування безпілотних технологій для потреб армії особливо виділилися компанії зі США та Ізраїлю.

DARPA Gremlins. Anapamu Gremlin можуть розвивати швидкість до 0,7-0,8 числа Маха (864-987 км/г). Тривалість польоту безпілотників складе не менше однієї-трьох годин, а дальність дії — 555-926 км.

Їх основним завданням є ведення розвідки і радіоелектронне придушення цілей. Вони можуть підлітати до об'єктів супротивника якомога ближче і при одночасному масовому застосуванні «забивати» канали протиповітряної оборони (ППО).

Low-Cost UAV Swarming Technology (LOCUST). Що стосується програми застосування наддешевих безпілотних літальних апаратів Науково-дослідної лабораторії Військово-морських Сил США «*LOCUST*», то тут планується створити «рій», в який увійде до 30 БПЛА. У березні 2017 р. розробники «*LOCUST*» створили дослідний «рій» з 9 апаратів *Coyote* (рис. 4) і систему їх запуску з борту кораблів.

Порівняльна характеристика апаратів, застосованих для виконання військових операцій спостереження та ураження цілей в складі групи, представлена в табл. 1.

Система «*LOCUST*» складається з комплексу трубок, у кожній з яких знаходиться один апарат. Після вильоту з пускової установки дрон на льоту розгортає крила та інші аеродинамічні поверхні. Апарат довжиною 91 см та масою трохи менше 6 кг оснащується електричним мотором, що може виконувати завдання на відстані до 37 км при максимальній висоті польоту до 7600 м. Після запуску дрони, випущені з однієї пускової установки можуть взаємодіяти між собою для виконання різноманітних військових місій атаки та оборони [2].

Військові фахівці провели багато випробувань з метою вивчення реакції системи ППО на раптовий напад 5–10 безпілотників, що атакують військове судно з різних напрямків. Через мініатюрний розмір БпЛА радары фіксували їх наближення лише на край малій відстані: менше двох кілометрів. При швидкості безпілотників близько 250 км/год, максимальний час на удар після виявлення цілі радаром становив 15 с. Системи радіоелектронного придушення жодним чином не могли вплинути на систему управління БпЛА [3].



Рис. 3. БпЛА *Perdix*

Використання груп БпЛА для збільшення зони радіолокаційного горизонту. Використання БпЛА як елементу мережі тих чи інших каналів зв'язку є однією з нових ідей та концепцій, що розвиваються найбільш плідно. Така концепція формується на основі взаємодії групи БпЛА з наземним прийомно-передавальним обладнанням для організації покриття деякого типу каналу зв'язку в зоні, де використання стаціонарного обладнання технічно неможливе або економічно необґрунтоване.

Перш за все, задача розробки такої системи актуальна для військових, а також для людей, що працюють у віддалених регіонах планети. Система також актуальна при супроводженні мобільних об'єктів, яким необхідно підтримувати зв'язок за відсутності покриття, що забез-

Таблиця 1. Порівняльна характеристика апаратів, що входять до складу систем групового використання безпілотних літальних апаратів.

Параметр	Безпілотний літальний апарат	
	<i>Perdix</i>	<i>Locust (Coyote)</i>
Довжина	6,5 дюймів	36 дюймів (0,91 м)
Розмах крила	11,8 дюймів	58 дюймів (1,5 м)
Маса	290 г	13 фунтів (5,9 кг)
Швидкість		
максимальна	70 миль/год	70 вузлів (130 км/год)
крейсерська	—	55 вузлів (102 км/год)
Максимальна тривалість польоту	20 хв.	1 год+ (версія травня 2016); 2 год (2017)
Діаметр гвинта	2,6 дюймів	—
Висота дії	—	до 30,000 футів (9,100 м)
Діапазон дії	—	50 морських миль (93 км) (версія травня 2016); 70 морських миль (130 км) (2017)

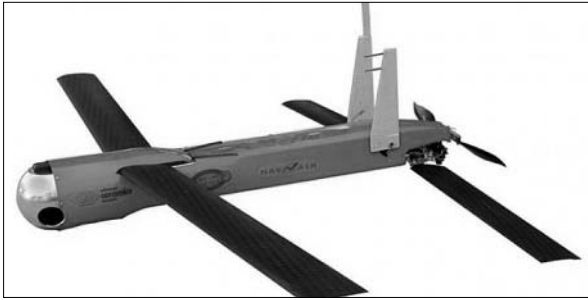


Рис. 4. БпЛА *Coyote* – базовий безпілотний літальний апарат, що використовувався для випробувань програми «*LOCUST*» Науково-дослідною лабораторією Військово-Морських Сил США



Рис. 5. Авіашоу, показане в парку *Disney Springs*, штат Флорида, США

печується стаціонарним обладнанням. Таку систему можна використовувати також при виході зі строю стаціонарних систем зв'язку як ремонтної мобільної групи на час до відновлення повноцінного функціонування стаціонарної системи на певній території. Розробка таких систем ведеться компаніями-постачальниками зв'язку спільно з розробниками БпЛА і станом на кінець 2017 р. було проведено близько 10 випробувань подібних систем в США, Канаді, Ізраїлі, Китаї та Білорусі.

Основними проблемами на шляху створення такої системи зв'язку дальньої дії є:

- забезпечення радіовидимості між літальним апаратом і наземним комплексом управління;
- компенсація великого затухання сигналу на трасі.

Використання груп БпЛА в розважальних цілях. На даний момент ця сфера служить головним демонстраційним майданчиком для групового використання БпЛА [4]. Почавши з об'єднання в рій десятка БпЛА в 2012 р., сьогодні США і Китай проводять запуски в повітря груп понад 100 примірників дронів. Переважно такі запуски носять розважальний і демонстраційний характер з метою показу можливостей і потенціалу використання груп БпЛА як процедура зльоту і посадки, які при об'єднанні в рій збільшують видовищність даної процедури, а також певну кількість пілотажних вправ, які демонструють потенціал використання рою БпЛА як для виконання спільних завдань, так і для виконання різних завдань синхронно, забезпечуючи меншу втрату часу на цю процедуру.

Перший рій безпілотних літальних апаратів рекордної чисельності підняла в повітря компанія *INTEL* в листопаді 2015 р. Рій, що складається з 500 БпЛА, продемонстрував можливості групової безпілотної авіації з використанням синхронного світлового шоу під акомпанемент симфонічного оркестру (рис. 5).

У лютому 2017 р. спільними зусиллями китайських компаній вдалося продемонструвати одночасну взаємодію 1000 одиниць дронів в межах демонстраційної програми авіашоу, проте офіційно цей рекорд зареєстрований не був.

У грудні 2017 р. під час церемонії закриття Глобального Форуму в Гуанчжоу (Китай) в повітря було піднято рій з 1180 БпЛА [5].

У лютому 2018 р. під час церемонії відкриття зимових Олімпійських Ігор в Південній Кореї в повітря було піднято рій з 1218 БпЛА компанії *Intel*. Протягом декількох хвилин дрони виконували фігури вищого пілотажу.

Використання групи БпЛА для моніторингу ситуацій на міських автошляхах. В умовах перенасиченості сучасних міст-мегаполісів великою кількістю автомобілів, перемінності ситуації на автошляхах та при недосконалому існуючих систем спостереження та сигналізації у містах, перспективним шляхом застосування груп БпЛА може бути система моніторингу і реєстрації дійсної ситуації на автошляхах. Та-

ка система може слугувати зв'язуючою ланкою між міськими екстреними службами, громадським транспортом, службами таксі та ін.

Застосування такої системи доповнить вже існуючі стаціонарні системи спостереження за ситуацією на автошляхах, а в разі появи екстреної ситуації суттєво скоротить час реагування на неї, передасть точне місце такої ситуації. При використанні такої системи у зв'язці з громадським транспортом, підвищиться ефективність роботи мережі міського пасажирського транспорту, його інтервали та періодичність можна буде регулювати, відносно даних, отриманих такою системою, стане більш точним збір статистичних даних. При появі ускладнень на автошляхах така система допоможе швидше виявити причину, а також допоможе скоригувати схему руху та час, необхідний для усунення перешкод. Використання саме груп БпЛА дозволить комплексно охопити всю територію міста, забезпечити одночасний потік інформації з різних зон спостереження для отримання більш повної картини ситуацій.

На 2018 р. більше 50 міст світу використовували БпЛА як спостерігачів (рис. 6) як ситуації на автошляхах в складі різних державних (поліція, пожежна охорона і т.д.) і приватних (транспортні компанії, радіо- і телекомпанії, незалежні стартапи і т.д.) служб [7].

При впровадженні такої системи спостереження в містах, корисним доповненням може бути система розпізнавання людей та автомобілів. Знаходячись на службі в поліції або інших службах охорони, така система буде корисним помічником в задачах пошуку людей, спостереження за правопорушниками, а також як система пошуку транспортних засобів.

Безпілотні авіаційні комплекси в аграрній сфері. За офіційними даними, саме аграрна сфера є найбільшим споживачем безпілотних літальних апаратів в Україні станом на початок 2018 р. Близько 25 відсотків усіх БпЛА, що експлуатуються в країні зайняті у сільському господарстві. Така популярність пов'язана з різноманітністю задач, що можуть виконувати БпЛА: починаючи зі збору даних і моніторингу стану сільськогосподарських угідь і закінчую-



Рис. 6. БпЛА як засіб функціонування сучасного міста



Рис. 7. Використання БпЛА у сільському господарстві

чи обробіткою ділянок мінеральними добривами або водою (рис. 7). При виконанні таких завдань безпілотна авіація успішно замінила спеціалізовану пілотовану [8].

Наступним кроком модернізації агро-технічних засобів може стати застосування груп БпЛА в цій сфері. Такі переваги групи БпЛА перед одиничним як більше охоплення території і можливість виконання різних завдань одночасно, суттєво збільшить кількість і точність даних, які потрібні аграріям та дозволять вести збір даних з декількох ділянок одночасно і передавати їх на один пункт збору усїєї інформації. Використання групи БпЛА для збору інформації забезпечить єдину картину усїєї сільськогосподарської ділянки з мінімальними втратами території, до того ж дані з безпілотного літального апарату (фото або відео) будуть якіснішими за аналогічну інформацію, отриману з супутника (основний

метод отримання подібної інформації станом на 2018 р.).

Подібні комплекси суттєво спростять створення карт урожайності та ущільненості з прив'язкою до *GPS* та дозволять проводити їх оновлення більш якісно. Також використання груп БПЛА дозволить простежити і запобігти надзвичайні ситуації (підтоплення, пожежі, несприятливі погодні умови), напади шкідників або нелегальні проникнення сторонніх на територію ділянки [9].

Групи БПЛА для моніторингу стану ліній електропередачі, нафто- і газопроводів, автошляхів та інфраструктури залізниць. Окремим видом використання БПЛА є спостереження та моніторинг стану ліній електропередачі.

Унікальні дані, отримані з борту БПЛА, дозволяють фахівцям мережевої інфраструктури оцінювати і прогнозувати вплив природних факторів на високовольтні лінії (ВЛ), визначати дефекти, відхилення проводів та ізоляції від допустимих норм, обстежити нові маршрути ліній електропередачі (ЛЕП) і прилеглі до них території. Повний перелік завдань, для



Рис. 8. Перелік завдань спостереження за інфраструктурними об'єктами за допомогою груп безпілотних літальних апаратів

яких можуть застосовуватися групи безпілотних літальних апаратів в сфері спостереження за інфраструктурними об'єктами представлено на рис. 8.

За отриманими фото- і відеозображеннями з борту БПЛА, після обробки в спеціалізованому програмному забезпеченні, створюється цифрова 3D-модель маршрутів ЛЕП.

Використання групи БПЛА замість одного апарату знизить час збору інформації та збільшить обсяг інформації, яку можна зібрати за ту саму одиницю часу [10].

Загалом, в цій сфері групи БПЛА можуть виконувати такі задачі і отримувати такі дані (див. рис.8).

Виокремлення невирішеної частини задачі

Слід зазначити, що не зважаючи на існуючі переваги та широкі можливості впровадження груп БПЛА, існує ряд обмежень їх застосування. Основними проблемами, виявленими в результаті досліджень, що стоять при впровадженні та ефективному використанні груп безпілотних літальних апаратів в будь-якій сфері, є організація управління процедурою польоту групи БПЛА. Здебільшого, саме від алгоритму управління залежить ефективність виконання завдань у групі БПЛА. Через певні причини завдання автоматичного управління польотом літальних апаратів (ЛА) в груповому порядку представляє собою одну з найбільш складних і специфічних науково-технічних проблем авіації, які потребують комплексного вирішення.

Полягає ця проблема в необхідності тактичного обґрунтування раціональних видів строїв, кількості ЛА в групі, у визначенні ідеології їх збору в групу, у виборі методів синхронного управління кожним ЛА групи для гарантії безпеки польоту і точного витримування кожним ЛА групи свого місця в строю на прямолінійних і криволінійних ділянках польоту всієї групи в цілому. Причому можливість управління групою ускладнюються не стаціонарністю параметрів польоту. Методи управління ЛА

визначають основні принципи, які використовуються при проектуванні систем управління ЛА в групі.

На сьогодні найбільш перспективним представляється шлях використання радіотехнічних засобів вимірювання дальності і кутів місця і азимута. Наявність радіолокатора на борту ЛА дозволяє не тільки забезпечувати груповий політ ЛА, а й істотно розширити його можливості. Крім того, більшість сучасних ЛА вже мають бортові радіолокаційні станції (РЛС) різного призначення (метеонавігаційні, наведення, оглядові тощо).

Завдання управління БПЛА при зборі в групу є окремим випадком складного завдання наведення БПЛА на точку, що рухається в просторі. Сутність завдання полягає у визначенні виду і моменту початку виконання такого маневру.

Розглянемо можливий варіант вирішення завдання збору БПЛА в групу. Мета управління веденим БПЛА зводиться до виведення його на траєкторію збору групи в точці. Алгоритм вирішення задачі може бути отримано наступним чином (рис. 9).

На рис. 9 зображено схему керування зайняття веденим БПЛА позиції для формування строю БПЛА, при цьому використовуються наступні позначення: $C(x_0, y_0)$ — місце розташування ведучого БПЛА; $D(x_3, y_3)$ — місце розташування веденого БПЛА; V_3, V_0 — вектори швидкості ведучого БПЛА і веденого БПЛА відповідно; K_3, K_0 — курси ведучого БПЛА і веденого БПЛА відповідно; CB — шлях ведучого БПЛА за час польоту t ($CB = V_0 t$); B — прогнозована точка розташування ведучого БПЛА; G — точка виведення веденого БПЛА на позицію у групі з курсом, близьким до курсу ведучого БПЛА; GB — задана дистанція до БПЛА ведучого в точці виведення G ; F — центр кола розвороту на БПЛА-ціль; E — точка початку маневру розвороту для виходу на точку G з заданим напрямком руху та на визначеній дистанції.

Робота системи включає три фази.

У *першій* фазі команди модулю керування веденим БПЛА наводять його на точку E початку маневру розвороту для виходу на точку G з заданим напрямком руху та на визначеній

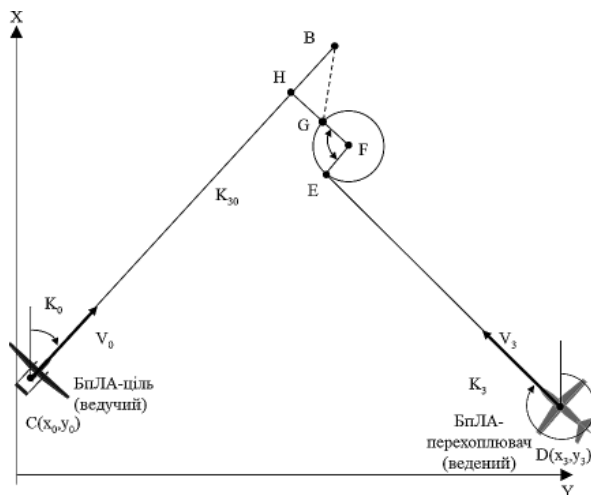


Рис. 9. Кінематична схема збору в групу

дистанції GB . Командний курс K_3 польоту веденого БПЛА на точку E визначається модулем керування, виходячи з умови рівності часу польоту ведучого БПЛА по траєкторії CB і часу польоту веденого БПЛА по траєкторії DEG .

Друга фаза командного циклу починається в той момент, коли ведений БПЛА досягає точки E початку маневру розвороту. Під час цієї фази ведений БПЛА, відпрацьовуючи команди з виходу модулю керування, виконує маневр розвороту для виходу на точку G з заданим напрямком руху та на визначеній дистанції.

Третя фаза командного циклу модулю керування починається в точці G після закінчення маневру розвороту веденого БПЛА і його виходу на точку G з заданим напрямком руху та на визначеній дистанції GB .

Після третьої фази БПЛА має позицію у групі для подальшого групового польоту.

Висновки

Провівши дослідження перспектив використання груп БПЛА, можна зробити наступні висновки: не беручи до уваги високу вартість використання і складність розробки систем групової взаємодії безпілотних літальних апаратів їх групи ефективніші й перспективніші в будь-яких сферах використання, ніж поодинокі БПЛА. Дані, які отримуються системою

з декількох БПЛА є точнішими й дозволяють підвищити якість інформації в будь-якій галузі застосування таких груп. Масовість, покращена точність позиціонування й обчислення роблять групи безпілотних літальних апаратів незамінними для виконання як цивільних, так і військових завдань різного ступеня складності, та на поточний момент, роблять цей напрям найперспективнішим вектором розвитку безпілотної авіації.

В статті розглянуто проблему організації групового польоту БПЛА за використання алгоритму управління з детальним розглядом всіх частин операції збору групи.

Відзначимо основні *переваги* застосування групи БПЛА:

- розподіл корисного навантаження по декількох бортам;
- поліпшення точності позиціонування кожного БПЛА шляхом взаємного позиціонування;
- поліпшення отриманих результатів з усіх точок зору різних БПЛА;
- прискорення отримання результату, збільшення зони охоплення в ряді застосувань;
- можливість розпочати використання БПЛА на невеликих площах;
- технічна можливість одночасного виконання кількох різно спеціалізованих завдань під час одного вильоту.

Недоліки та обмеження застосування груп БПЛА:

- потрібні високі обчислювальні можливості на борту БПЛА для його взаємодії в польоті в складі групи і попередньої обробки інформації, яка збирається в режимі реального часу;
- необхідні нові типи програмного забезпечення;
- бажана інтеграція системи управління групою БПЛА і програмного забезпечення керування корисними навантаженнями;
- безпілотні літальні апарати в групі не тільки не повинні стикатися, але не повинні заважати один одному створюваними ними повітряними потоками;
- безпілотні літальні апарати в групі повинні мати можливість колективно розподіляти свої завдання;
- законодавчі обмеження на польоти дронів, що більше звужують території на яких можуть експлуатуватися групи цивільних БПЛА;
- відсутність конкретної нормативної бази (сертифікації, норми льотної придатності), що регулює польоти БПЛА, в тому числі їх групове використання;
- відсутність організацій, відповідальних за реєстрацію та правила польотів БПЛА всередині країни.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. «В Австралии тонущих подростков спас дрон». bigmir.net. Источник: <http://news.bigmir.net/world/1136141-V-Avstralii-tonucshih-podrostkov-spas-dron>.
2. Parsch A. Directory of U.S. Military Rockets and Missiles Appendix 4: Undesignated , Coyote Vehicles, 2006. <http://www.designation-systems.net/dusrm/app4/coyote.html>.
3. Defense Systems Information Analysis Center LOCUST Displays Potential for Multifunctional UAV Swarms. Defense Systems Information <https://www.dsiac.org/resources/news/locust-displays-potential-multifunctional-uav-swarms-0>.
4. Disney's New Drone Show Uses Knock-Off LOCUST Military Tech Nathaniel Mott on November 17, 2016 <https://www.inverse.com/article/23975-disney-intel-drone-show-locust-military-tech>
5. Lin J. China is making 1,000-UAV drone swarms now. Jeffrey Lin and P.W. Singer. Popular Science Journal Website, 2018 <https://www.popsci.com/china-drone-swarms#page-2>.
6. Бойко О. Рои беспилотников. Robotrends Website. <http://robotrends.ru/robopedia/roi-bespilotnikov>.
7. Five UK cities selected to develop future of drone operations. sUAS News website, 2018, <https://www.suasnews.com/2018/02/five-uk-cities-selected-develop-future-drone-operations/>.
8. Каждый четвертый дрон в Украине «грудится» в агрокомплексе. <https://kfund-media.com/ru/kazhdij-chetverty-dron-v-ukrayne-truditsya-v-agrokomplekse/>.

9. Алла Ачасова “Безпілотники – Сучасний Інструмент Для Аграрія”, <https://agropro.club/articles/bezpilotniki-suchasnij-instrument-dlya-agrariya/>
10. Електросети (ЛЭП) Zala Aero Group, 2018, <http://zala.aero/category/applications/monitoring/energeticheskix-resursov-lep-tec-aes-ges/>

Поступила 21.11.2018

REFERENCES

1. In Australia sinking teenagers saved drone, [online]. Available at: <<http://news.bigmir.net/world/1136141-V-Avstralii-tonucshih-podrostkov-spas-dron>> (in Ukrainian).
2. Parsch, A., Directory of U.S. Military Rockets and Missiles Appendix 4: Undesignated , Coyote Vehicles, 2006, [online]. Available at: <<http://www.designation-systems.net/dusrm/app4/coyote.html>>
3. Defense Systems Information Analysis Center LOCUST Displays Potential for Multifunctional UAV Swarms. Defense Systems Information, [online]. Available at: <<https://www.dsiac.org/resources/news/locust-displays-potential-multifunctional-uav-swarms-0>>
4. Disney’s New Drone Show Uses Knock-Off LOCUST Military Tech Nathaniel Mott on November 17, 2016, [online]. Available at: <<https://www.inverse.com/article/23975-disney-intel-drone-show-locust-military-tech>>
5. Lin, J., 2018. China is making 1,000-UAV drone swarms now. Jeffrey Lin and P.W. Singer. Popular Science Journal Website, [online]. Available at: <<https://www.popsci.com/china-drone-swarms#page-2>>
6. Boyko, O. Roi unmanned. Robotrends Website, [online]. Available at: <<http://robotrends.ru/robopeedia/roi-bespi-lotnikov>>. (in Ukrainian).
7. Five UK cities selected to develop future of drone operations. [online]. Available at: <<https://www.suasnews.com/2018/02/five-uk-cities-selected-develop-future-drone-operations/>> [Accessed 1 Oct. 2018].
8. Every fourth drone in Ukraine “works” in the agricultural complex, [online]. Available at: <<https://kfund-media.com/ru/kazhduj-chetverty-dron-v-ukrayne-truditsa-v-agrokomplekse/>> [Accessed 1 Oct. 2018]. (in Ukrainian).
9. Achasova, A. Bezpilotniki – Modern Instruments For Agrarians, [online]. Available at: <<https://agropro.club/articles/bezpilotniki-suchasnij-instrument-dlya-agrariya/>> [Accessed 1 Oct. 2018].
10. Power network (LEP) Zala Aero Group, [online]. Available at: <<http://zala.aero/category/applications/monitoring/energeticheskix-resursov-lep-tec-aes-ges/>> [Accessed 1 Oct. 2018]. (in Ukrainian).

Received 21.11.2018

С.А Бондарь, ведущий инженер, отдел интеллектуального управления, Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина, orangearrows@bigmir.net

Е.В. Кожохина, старший научный сотрудник, отдел интеллектуального управления, Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина, kozhokhina@gmail.com

В.А. Боровик, ведущий инженер-программист, отдел интеллектуального управления, Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина, dep185@irtc.org.ua

Я.Н. Ліндер, старший научный сотрудник, отдел интеллектуального управления, Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина, dep185@irtc.org.ua

Н.В. Кориунов, старший научный сотрудник, отдел интеллектуального управления, Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина, E-mail: dep185@irtc.org.ua

ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСОБЕННОСТИ ГРУППОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Вступление. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся одной из самых быстрорастущих отраслей на стыке сфер информационных технологий и авиации. Но, учитывая темпы развития этой сферы, имело смысл разделить выполнение заданий между несколькими беспилотными аппаратами. Рассмотрены перспективы использования групп БПЛА в различных областях. Обнаружены наиболее оправданные и перспективные пути для имплементации контролируемой групповой активности беспилотных летательных аппаратов. Исследованы уже имеющиеся комплексы групповой беспилотной авиации, основные задачи их применения и, основываясь на этом, определены их основные преимущества и недостатки. Для компенсации наиболее значимых из них, проведен сравнительный анализ алгоритмов управления группой БПЛА, как имеющихся, так и перспективных.

Цель. Структурировать информацию о роях беспилотных летательных аппаратов и выделить положительные и отрицательные особенности роев БПЛА.

Методы. Основным методом, использованным для работы, есть детальный анализ рынка БПЛА и, среди прочего, систем группового использования БПЛА, существующих технологий, перспективных планов, рабочих прототипов и новостей об использовании беспилотных летательных аппаратов со всего мира.

Результаты. Окончательные результаты работы состоят из списка сфер, где могут быть полезны рои беспилотных летательных аппаратов, выделенных преимуществ и недостатков, а также выделения общей проблемы организации процедуры сбора роя БПЛА и эффективного контроля за ней.

Заключение. В работе структурированы области текущего и перспективного использования роев БПЛА, примеры эксплуатации роев и отдельных беспилотных летательных аппаратов. Кроме того, описанные преимущества и недостатки современных систем группового использования БПЛА представлены для полного понимания текущего состояния развития систем группового использования БПЛА в 2018 году.

Ключевые слова: групповой полет, беспилотный летательный аппарат, дрон, мониторинг, позиционирование, алгоритм управления.

Bondar Sergey, senior engineer, department of intellectual management, International Scientific and Educational Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Academic Glushkov Ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine;
E-mail: orangearrows@bigmir.net

Kozhokhina Olena, senior researcher, department of intellectual management, International Scientific and Educational Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Academic Glushkov Ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine;
E-mail: kozhokhina@gmail.com

Borovik Vadim, senior engineer-programmer, department of intellectual management, International Scientific and Educational Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Academic Glushkov Ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine;
E-mail: dep185@irtc.org.ua

Linder Yaroslav, senior researcher, department of intellectual management, International Scientific and Educational Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Academic Glushkov Ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine;
E-mail: dep185@irtc.org.ua

Korshunov Mikola, senior researcher, department of intellectual management, International Scientific and Educational Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Academic Glushkov Ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine;
E-mail: dep185@irtc.org.ua

GROUPS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES USAGE PERSPECTIVES AND PECULIARITIES

Introduction. The Unmanned Aerial Vehicles becomes one of the most rapidly growing industries on the edge of information technologies and aviation. The development of this sphere has made a sense to divide the missions between the several units. Aspects of controlling swarms of unmanned aerial vehicles applying to different application range are considered. The most feasible and advanced controlling implementation of unmanned aerial vehicles swarms is identified. Already available complexes of unmanned aerial vehicles swarms and their primal operational tasks are explored. Their key advantages and disadvantages are defined. To compensate the most significant of them, advanced and available algorithms of unmanned aerial vehicles control swarms are analyzed.

Purpose is to structure the information about unmanned aerial vehicles swarms and to emphasize the positive and negative peculiarities of UAV clusters.

Methods. The main method used is the detailed analysis of the unmanned aerial vehicles market and, among other tasks are unmanned aerial vehicles swarms, existing technologies, perspective plans, working prototypes and news about usage of unmanned aerial vehicles from all around the world.

Results. The final results consist of the list of domains, where unmanned aerial vehicles swarms could be useful, advantages and disadvantages of current UAV swarms and the general problem of the UAV-swarm gathering and effective control of such procedure.

Conclusion. The work structures the domains of current and perspective usage of UAV swarms, operating examples of swarms and unmanned aerial vehicles. Also, the current advantages and disadvantages are described to have a full comprehension of UAV swarms status in 2018.

Keywords: group flight, unmanned aerial vehicle, drone, monitoring, positioning, control algorithm.