

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-28>

УДК 004.42

Мороз Борис Іванович, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-5625-0864>

Круглик Андрій Сергійович, аспірант

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ГРУП БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Мороз Б.І., Круглик А.С. Проблеми застосування груп безпілотних літальних апаратів. Концептуальні засади їх вирішення. У межах статті розглянуто можливості застосування груп безпілотних літальних апаратів військового призначення та проблеми, пов'язані з керуванням такими групами. Проаналізовано тенденції до застосування груп безпілотних літальних апаратів, визначено основні напрямки. Проаналізовано стан сучасних наробок у сфері застосування груп БПЛА для виконання завдання. Описано задачі, що висуваються до програмного забезпечення для керування групою літальних апаратів. Розглянуті неточності при використанні класичного підходу до керування групою ведучий – ведені. Описані шляхи вдосконалення і вирішення задач керування групою лідером групи. Розглянуті концептуальні шляхи вирішення проблем застосування груп БПЛА для успішного виконання завдання групою. Досліджено питання використання клієнт-серверної архітектури у комунікації групи БПЛА. Запропоновані шляхи вдосконалення такої архітектури саме для використання у цілях військового призначення, де комунікація між учасниками групи може бути порушена декількома факторами. Запропоновано дублювання ролей у групі, тобто модулів програмного забезпечення, для підтримки сталості групи у випадку виникнення непередбачуваної ситуації. Наведено приклади використання алгоритмів узгодження зміни лідера групи для продовження роботи групи у випадку втрати попереднього лідера. Описано проблеми використання групи у випадку неможливості комунікації всередині групи та перспективні шляхи вирішення таких проблем.

Ключові слова: рій, клієнт-серверна архітектура рою, керування групою, БПЛА, інтенсивність повідомлень, цінність повідомлення

Moroz B., Kruhlyk A. The possible issues when using groups of unmanned aircraft. Conceptual basis of their solution. The article describes the possibilities of using groups of unmanned aerial vehicles for military purposes. Also, the issues associated with the management of such groups are considered. The trends in the use of groups of unmanned aerial vehicles were analyzed, and the main directions were determined. The state of modern developments in the field of application of UAV groups for task performance is analyzed. The issues that related to the software for controlling a group of aircraft are described. Considered inaccuracies when using the classic approach to managing the leader-followed group. Conceptual ways of solving the issues of using groups of UAVs for the successful performance of the task by the group are considered. The question of using a client-server architecture in the communication of a group of UAVs has been investigated. Ways to improve such an architecture are proposed specifically for use in military purposes, where communication between group members may be disrupted by different factors. Duplication of group roles, i.e. software modules, is proposed to maintain group stability in the event of an unexpected situation. Examples of using algorithms for coordinating the change of the group leader for the continuation of the group's work in case of the loss of the previous leader are proposed. The issues of using a group in case of impossibility of communication within the group and promising ways of solving such issues are described.

Keywords: UAV swarm, UAV swarm client-server architecture, group control, UAV, message intensity, message value

Постановка проблеми. Останніми роками помітно виріс інтерес до використання безпілотних літальних апаратів у повсякденному житті. Звичайно, в першу чергу це стосується військової сфери, оскільки мабуть очевидно, що в умовах військової агресії з боку Російської Федерації проти України, абсолютне значення кількісної характеристики особового складу перевищує українську. Тому повинно гостро стояти питання впровадження безпілотних систем, особливо літальних, для мінімізації втрат особового складу. Окрім того, впровадження безпілотних систем дозволяє виконувати завдання, які неможливо або занадто ризиковано виконувати за допомогою безпосередньої участі людини. Саме тому останнім часом з'являється усе більше публікацій, де автори обговорюють концепції використання безпілотних (літальних) апаратів для розв'язання військових задач. Більш того, з'являються роботи, де науковці пропонують використовувати так звані рої або зграї безпілотних літальних апаратів для розв'язання поставленої задачі. Сукупність БПЛА, які одночасно використовуються для виконання завдання чи групи завдань, називається роєм. Такі групи БПЛА працюють в чіткій координації між собою, а також між центром управління, що повинно давати можливість забезпечити виконання більш складного чи комплексного завдання. Впровадження системи керування роєм безпілотних літальних апаратів є задачею не тривіальною.

Впровадження використання рою безпілотних літальних апаратів для виконання завдання військового призначення підвищує шанс на успішність виконання такого завдання чи завдань. Разом з тим виникає цілий ряд задач, які потребують вирішення для успішного керування роєм і основне, для успішного виконання покладених на такий рій завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання групи літальних апаратів в Україні поки що не можна назвати повністю впровадженим. Це пов'язано з недостатнім технічним розвитком таких апаратів. Але усі нароби останніх років вказують на можливість і необхідність удосконалення технічних можливостей літальних апаратів для їх використання в зграї. Це обумовлено, з поміж іншого, удосконаленням та розвитком систем противника. Що в свою чергу унеможливує або робить складнішим виконання завдання військового призначення з використанням одного дрону. Використання групи дронів є перспективним напрямком. Цікавою на тему використання рою дронів автори вважають роботу [2], де автори класифікували БПЛА за різними критеріями, а також розглянули декілька проектів, пов'язаних із розробкою та використанням рою БПЛА. Окрім того, автори роботи наводять три можливі стратегії управління роєм. У роботі [3] автор розглядає концепцію використання безпілотних літальних систем для охорони державного кордону. Також хотілося б виокремити роботу [5], де автори проаналізували перспективність групового застосування БПЛА військового призначення для успішного виконання покладеного на таку групу завдання. У роботі [6], яке автори вважають авторитетним у галузі розробки і впровадження безпілотних літальних апаратів у військовій сфері, було описано основні тенденції розвитку та застосування груп БПЛА. У роботі було описано роботу ройового інтелекту, що може внести вагомий вклад у розвиток та використання ройових груп військового призначення в цілому. У роботі автори також вказали на способи протидії групі БПЛА наявними засобами.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження проблем застосування груп БПЛА для виконання завдань військового призначення. Способи їх вирішення.

Викладення основного матеріалу дослідження. Застосування групи літальних апаратів ставить завдання до переосмислення підходу до управління такою системою. Існує дуже багато проблем, які потребують вирішення при розробці програмного забезпечення (ПЗ) для керування такою системою. У попередній роботі [4] автори показали загальну концепцію, як можливо представити систему управління безпілотними (літальними) апаратами. В даній роботі пропонується більш детально розглянути проблеми, які повинні враховуватись при розробці ПЗ для управління конкретною групою БПЛА для вирішення поставленого завдання військового призначення.

Кожна з трьох запропонованих стратегій управління [2] (централізована, децентралізована, змішана) передбачає, що у рою буде лідер а також підпорядковані йому. Лідер – керуючий елемент групи, без якого група перестає існувати як структурована одиниця. Іншими словами, ведучий та ведені. Таку систему в класичному вигляді можна представити як клієнт-серверна архітектура, де сервер це лідер, який роздає завдання, а клієнти, тобто ведені, виконують завдання і інформують літера про статус виконання. Сервер обробляє потоки повідомлень від усіх клієнтів, класифікує їх за різними характеристиками, такими як цінність повідомлення, час його старіння та ін. Аналізує повідомлення за заданими алгоритмами і на основі аналізу приймає відповідні рішення. Така архітектура є досить сталою в комп'ютерних мережах, і для вирішення загальних задач є такою, що задовольняє вимогам. Але автори вважають, що таку систему не раціонально використовувати для керування групою БПЛА військового призначення. Це пов'язано з тим, що БПЛА є мішенню для ворожих засобів ППО. У випадку, коли буде вражено лідера рою першим, уся група стає некерованою або діє по заздалегідь передбаченому алгоритму. Але, у випадку повернення до базового алгоритму керування, ми втрачаємо групу. Це будуть окремі одиниці безпілотних літальних апаратів і про виконання успішного завдання групою мова вже не йде. Тому до розробки ПЗ для керування групою повинні пред'являтися інші вимоги, ніж до класичного ПЗ з клієнт-серверною архітектурою.

Як правило, кожен рій складається із декількох груп або типів БПЛА, які відрізняються за тактико-технічними характеристиками (ТТХ) і призначенням. Логічно, що в групу входять як ударні дрони, дрони – розвідники, дрони зв'язку і ретрансляції, можливо дрони логістичного забезпечення та ін. Зрозуміло, що функція ударних дронів лише одна – вразити задану мішень. Але функції інших дронів повинні бути частково взаємодоповнюючими і взаємозамінюючими настільки, наскільки це дозволяє їх ТТХ. Пропонується розглянути схему управління, при якій в кожен момент часу може

бути тільки один сервер (лідер), але інші лідери також присутні в групі у так званому «сплячому» стані (див. рис. 1). Така система дозволить залишитись роєм, навіть при втраті лідера. Для реалізації такої системи управління групою потрібно створити такі алгоритми взаємодії, що дозволять раціонально визначати нового лідера, при втраті попереднього. Визначення нового лідера є тривіальною задачею і не потребує додаткових пояснень, в якості алгоритму можна використати класичне «кидання кубика». Звичайно, «кидання кубика» повинно відбуватись іще до польоту, і в призначенні «сплячих» лідерів повинні приймати участь лише ті БПЛА, що за своїми ТТХ здатні виконувати роль лідера. Таким чином, іще до польоту можливо частково визначити кількість потенційних лідерів і інших БПЛА для коригування виконання поставленої задачі у нештатних випадках, таких як втрата безпілотної літального апарату через несправність або через роботу ворожого ППО.

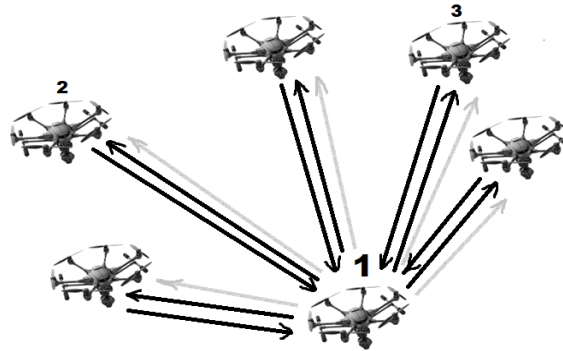


Рис. 1. Схематичне зображення можливої взаємодії між лідером і учасниками групи. Де цифрами позначені діючий лідер і сплячі.

При описаній вище концепції ПЗ зі «сплячими» лідерами з'являється додаткова вимога, яку повинні також враховувати при розробці ПЗ, а саме той фактор, що група повинна чітко розуміти, хто в кожний момент часу є лідером. І лідер повинен бути тільки один, для прийняття узгодженого рішення на основі алгоритмів ПЗ лідера. Звідси постає питання забезпечення додаткової комунікації і реплікації вихідних потоків повідомлень між членами групи. Під час роботи кожен ведений взаємодіє із ведучим по каналу зв'язку. Ведучий обробляє інформацію і приймає відповідні рішення. Кожен із учасників працює ізольовано один від одного, забезпечуючи виконання частини покладеного на нього завдання. Але ведучий, окрім взаємодії між кожним конкретним літальним апаратом (ЛА), повинен з визначеною періодичністю посылати повідомлення всім учасникам групи. У класичному вигляді це буде повідомлення зі службовою інформацією, яка, з-поміж іншого, даватиме змогу членам групи «зрозуміти» про наявність лідера в групі. У той же час, службові повідомлення дозволять «сплячому» лідеру з найвищим пріоритетом розуміти, коли виникає необхідність узяти на себе роль повноцінного лідера. У випадку втрати лідера, «сплячий» лідер перехоплює ініціативу на себе, запускає додаткові модулі ПЗ лідера і робить розсилку службових повідомлень вже як повноцінний лідер. Уся група перемикається на взаємодію із новим лідером і останній вже на основі існуючих можливостей корегує польотну місію.

У такому комплексному підході до вирішення питання перемикавання між діючими лідерами на основі можливостей групи, виникає питання раціональної організації обробки повідомлень у такій групі між ведучим та веденими. Це питання виникає тому, що група БПЛА військового призначення знаходиться у дуже динамічному середовищі. Мова йде не про переміщення у простоті, а саме про можливість раптової втрати будь якого члена групи, яку неможливо зі 100% імовірністю передбачити. Так само, як і не можливо передбачити втрату конкретних ЛА, які буде уражено засобами протидії противника. Саме тому, окрім описаного вище способу взаємодії в групі, потрібно забезпечити раціональну організацію обробки повідомлень між ведучим та веденим. Така взаємодія, на думку авторів, повинна носити атомарний характер. Тобто, ведений відправляє повідомлення ведучому, ведучий отримує повідомлення та інформує веденого про статус повідомлення як отриманого. У разі неотримання відповіді від ведучого, ведений повторює відправку повідомлення ведучому. Іншими словами, повідомлення вважається доставленим до сервера, коли клієнт отримав відповідь від сервера про доставку. У цей же час БПЛА групи продовжує виконувати покладене на нього завдання, та з визначеною періодичністю повторювати відправку повідомлення лідеру. Це

може бути завдання спостереження, картографування, пошук військових об'єктів або будь яке інше, що можливо виконати засобами БПЛА. Така взаємодія забезпечить однозначність, що у випадку із втратою лідера дозволить веденому в встановленому порядку переключитись на взаємодію з новим лідером. Усі накопичені повідомлення будуть відправлені новому лідеру а той у свою чергу класифікує їх за характеристиками цінності і старіння та відреагує на них відповідним чином.

Існує інша, не менш важлива проблема, яку потрібно враховувати при управлінні групою БПЛА військового призначення. Як було сказано вище, для існування групи повинна відбуватись комунікація між учасниками групи. Без комунікації кожен учасник стає автономним і про виконання групового завдання мова не йде. Але як забезпечити комунікацію групи в умовах активного подавлення зв'язку засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника. В представленому варіанті комунікації між літером і учасниками може виникнути ситуація, коли через ворожу РЕБ буде втрачено зв'язок одразу з усіма учасниками такого рою. У роботі [6] автори навели розрахунки, наскільки впливають засоби РЕБ на керування групою. Також автори роботи знайшли часткове рішення проблеми комунікації в середині рою, а саме зменшення дистанції між її учасниками. Зменшення дистанції між учасниками дозволить продовжити виконувати завдання, можливо не повністю, але найбільш цінні пункти завдання все ж таки зможуть бути виконаними групою. У випадку комунікації пункту управління з учасником чи учасниками групи, такий член групи повинен бути забезпечений супутниковим зв'язком для сприймання можливості взаємодії в умовах роботи РЕБ. Однак, досвід війни в Україні показав, що ворожі РЕБ також удосконалюються і стають потужнішими для активного протистояння групам ЛА. Вже з'являються стаціонарні пункти РЕБ, здатні подавляти велику кількість частот, на яких працюють БПЛА. У статті [7] було вказано, що ворог почав блокувати супутниковий зв'язок на активних ділянках фронту.

Саме тому, передача і обробка інформаційних потоків між учасниками рою в умовах активного подавлення засобами ворожих РЕБ потребує архітектурного підходу до вирішення проблеми ще на етапі проектування ПЗ. Таке ПЗ повинно бути модульним, тобто легко розширюваним та адаптованим до динамічних змін. Модульність, зокрема, повинна передбачати розробку драйверів і заглушок, що забезпечить виконання завдання в умовах швидкої заміни ПЗ на інше, з урахуванням загальної польотної місії. Наприклад, вже зараз в ручному режимі оператор БПЛА може зробити переключення частот, що використовуються для зв'язку, для забезпечення керування таким ЛА. Такий самий принцип можливо використати і в групах. Але, як було зазначено раніше, група не є константною величиною і може мати у своєму складі найрізноманітніші дрони, залежно від військової місії. Окрім того, такі БПЛА можуть бути різних виробників із різних країн, що в свою чергу призводить до відмінностей навіть у технічних складових. Як наслідок, члени групи можуть підтримувати різний діапазон частот, на яких вони можуть комунікувати і бути керованими. В даному випадку мова йде безпосередньо про технічну складову такого дрону. Тому драйвери керування модулем зв'язку повинні розроблюватись з урахуванням абстрактності. Приховувати деталі взаємодії між апаратним забезпеченням конкретного модуля зв'язку конкретного ЛА, та в той же час надавати прості механізми взаємодії із іншими модулями. Це дозволить на етапі передполітної підготовки узгодити використання лише тих частот, що підтримуються усіма членами групи. В цьому випадку, учасники групи зможуть робити переключення між доступними групі частотами комунікації і таким чином частково протидіяти засобам РЕБ. На рис. 2 показано приклад, як на етапі передполітної підготовки можливо узгодити діапазон частот, на яких усі дрони, незалежно від виробників, зможуть працювати у складі групи і комунікувати між собою, забезпечуючи автоматичне переключення лише між узгодженими частотами.

У випадку активної протидії засобів РЕБ, зв'язок між членами групи може бути втрачено. Цю проблему повинні завжди враховувати і допускати, що кожен ЛА групи повинен вміти діяти як самостійна одиниця. В такому випадку, про успішне виконання всіх завдань, покладених на групу, мова вже не йде. На такий випадок потрібно мати певну автономність а також синхронність дій для кожного з учасників окремо. Розглянемо приклад, коли група займається пошуком і знешкодженням ворожих об'єктів, в тилу, де активно застосовуються засоби РЕБ. Група складається із декількох менших підгруп безпілотників, серед яких одна підгрупа дронів спостереження, друга підгрупа дронів ураження, третя підгрупа дрони донаведення і аналізу результатів, четверта підгрупа БПЛА дальнього зв'язку для передавання інформації центру управління (ЦУ).



Рис.2. Налаштування частот комунікації, доступних для усіх учасників групи.

Підгрупа спостереження має потужні камери для чіткого фотографування та відеофільмування місцевості. Результати фотографування обробляє самостійно і результати обробки передає лідеру. Друга підгрупа це безпосередньо дрони – камікадзе, задача яких урадити мішені за командою лідера. Третя підгрупа, можливо має засоби дальноміру та засобів відеозапису для аналізу виконання завдання. Четверта підгрупа, яка може складатись навіть з одного ЛА, який буде забезпечувати зв'язок між ЦУ та групою. На певному проміжку політної дистанції група повністю втрачає зв'язок. У цьому випадку перша підгрупа залишається активною і продовжує виконувати поставлене на неї завдання фотографування чи відеофільмування території. Решта БПЛА втрачають свою значимість і повинні повертатись назад, на ту дистанцію, де вони є недосяжними для засобів РЕБ ворога. Перша підгрупа працює вже як окремі БПЛА в автономному режимі. В залежності від поставлених задач і можливостей БПЛА до аналізу, вони можуть самостійно виявляти ворожі цілі засобами машинного зору. Після фотографування підгрупа повертається до основної групи, де надає інформацію лідеру стосовно цілей. Лідер аналізує вхідні потоки, визначає цінність кожного з повідомлень і на основі заданих алгоритмів або зв'язується з ЦУ для прийняття рішення, або приймає рішення самостійно, якщо для цього є можливості. Звичайно, немає сенсу відправляти дрони – камікадзе на ураження колони що рухається, тому що цей процес відбувається не в реальному часі і колона вже змінила своє розташування. Або навпаки, якщо було знайдено підгрупою склади з боеприпасами, то шанс що вони зникли зі знайдених координат дуже невеликий. Тому автори пропонують розглядати ПЗ до керування групою ЛА комплексно, тобто не тільки як група, але й мати обов'язкову можливість працювати кожному БПЛА в автономному режимі. Це може забезпечити часткове виконання завдання в умовах активного подавлення зв'язку засобами РЕБ а також забезпечить «виживання» кожного окремого ЛА для подальшого відновлення складу групи, перегрупування і можливих подальших використань.

Висновки. У межах даної роботи було розглянуто проблеми використання груп безпілотних літальних апаратів для виконання завдання військового призначення. Розглянуто потенційні виклики, що виникають при розробці ПЗ для керування груп БПЛА. Описані абстрактні підходи до розробки ПЗ для комунікації в групі. Сформовано бачення стосовно застосування групи а також важливого збереження автономності кожного окремого ЛА як одиниці у випадках, коли неможливо керувати групою в динамічному середовищі. Запропоновано концептуальний підхід до розробки ПЗ для керування групою БПЛА з урахуванням проблем, що розглянуто.

Перспективи подальшого дослідження. У роботі розглянуто клієнт-серверну архітектуру із декількома можливими серверами, між якими можливо переключення для забезпечення існування лідеру групи. Клієнт-серверна архітектура є класичним варіантом взаємодії. У подальшому необхідно проаналізувати інші підходи до комунікації в групі, такі як без серверна архітектура та можливість застосування такої архітектури для використання при керуванні групою БПЛА. Окрім того, в межах даної роботи не розглянуто проблеми шифрування повідомлень, що є обов'язковим в умовах ведення бойових дій.

Список бібліографічного опису

1. Мороз Б.І., Круглик А.С., Мороз Д.М., Мартиненко А.А. Математична модель і загальний алгоритм вирішення задачі обробки повідомлень з урахуванням їх цінності і старіння в системах літальних апаратів. *Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*. 2024. № 5(154). С. 3 – 18. DOI: 10.34185/1562-9945-5-154-2024-01

2. Бінко І. В., Шевель В. В., Крицький Д. В. Комплексний підхід до управління формуванням групи роботів. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2024. №2(28). С. 17 – 32. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2024.2.017>
3. V. Nikiforenko. Conceptual Framework for the Use of Unmanned Aerial Systems in the Protection of the State Border. *Science and Innovation*, №20(2). С. 69–78. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine20.02.069>
4. Мороз, Б., & Круглик, А. (2024). Концептуальна модель обробки інформаційних потоків в системі безпілотних літальних апаратів. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (55), 155-160. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-55-19>
5. Артюшин Л. М., Кононов О. А., Невзгляденко Ю. О. Аналіз перспектив реалізації групового застосування безпілотних літальних апаратів військового призначення. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2023. № 19(26). С. 42 – 48. DOI: 10.54858/dndia.2023-19-5
6. Лупандін В. А. Основні тенденції створення та застосування груп безпілотних літальних апаратів. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2019. №2. –С. 88-96. DOI: 10.30748/nitps.2019.35.11
7. Росіяни вперше стали глушити українські Старлінки у Бахмуті - військовий експерт розповів, як з цим боролися / New Voice : веб-сайт. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/yak-okupanti-glushili-starlinki-u-bahmuti-ta-yak-z-cim-borolis-ukrajinski-viyskovi-ekspert-50423570.html>. (дата звернення 02.09. 2024)
8. Що таке РЕБ: принцип роботи на прикладі стаціонарних систем, окопних рішень та антидронових рушниць. Веб-сайт. URL: <https://lander.kiev.ua/shcho-take-reb-pryntsy-p-roboty-na-prykladi-statsionarnykh-system-okopnykh-rishen-ta-antydronovykh-rushnyts/>. (дата звернення 12.09.2024)
9. O. Hutsa, D. Yelchaninov, D. Yanushkevych, I. Tolkunov, L. Ivanov, R. Petrova, A. Morozova. Conceptualization of Intelligent Control System for Humanitarian Demining Robotic Complexes Based on Verbal Methods. *Science and Innovation*. 2024. 20(3), 82–95. <https://doi.org/10.15407/scine20.03.082>
10. Павленко П. Модель управління групою безпілотних маневрених літальних апаратів із урахуванням їх безпеки польотів / P. Pavlenko, Ye. Samborskyi, H. Krykhovetskyi, I. Samborskyi // *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. – Полтава: ПНТУ, 2023. – Т. 3 (73). – С. 58-63. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.3.058>
11. Гуляницький, Л. Ф. Оптимізація рішень при плануванні місії безпілотних літальних апаратів: Стенограма виступу на сесії Загальних зборів НАН України 27 квітня 2023 р. *Visnik Nacional Noi Akademii Nauk Ukraini*. 2023. № 5, 75–78. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2023.05.075>
12. Гуляницький Л. Ф., Рибальченко О. В. Оптимізація маршрутів при плануванні місії гібридних транспортних систем «дрон + транспортний засіб». *Кибернетика та комп'ютерні технології*. 2023. № 3. С. 44 – 58. DOI: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.23.3.4>

References

1. B. Moroz, A. Kruhlyk. Mathematical model and general algorithm for solving the problem of processing messages taking into account their value and aging in aircraft systems. *System technologies*. 2024. № 5(154). P. 3 – 18. DOI 10.34185/1562-9945-5-154-2024-01
2. I. Binko, V. Shevel, D. Krytskyi. (2024). A comprehensive approach to managing robot group formation. *INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES*, (2(28), P. 17–32. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2024.2.017>
3. V. Nikiforenko. Conceptual Framework for the Use of Unmanned Aerial Systems in the Protection of the State Border. *Science and Innovation*, №20(2). P. 69–78. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine20.02.069>
4. B. Moroz, A. Kruhlyk. Conceptual model of information flow processing in the system of unmanned aerial vehicles. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2024. (55), 155-160. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-55-19>
5. L. Artushin, O. Kononov, Y. Nevzgladenko. Analysis of prospects for the implementation of group application of unmanned aircraft for military purposes. *COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS State research Institute of Aviation*. 2023. № 19(26). P. 42 – 48. DOI: 10.54858/dndia.2023-19-5
6. V. Lupandin. Major trends of the development and application of a unmanned aerial vehicle groups. *Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*. 2019. № 2. - P. 88-96. DOI: 10.30748/nitps.2019.35.11
7. For the first time, the Russians began jamming Ukrainian Starlinks in Bakhmut - a military expert told how they fought it. / *New Voice* : website. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/yak-okupanti-glushili-starlinki-u-bahmuti-ta-yak-z-cim-borolis-ukrajinski-viyskovi-ekspert-50423570.html>. (date of app. 02.09. 2024)
8. What is EW: the principle of operation on the example of stationary systems, trench solutions and anti-drone guns. Website. URL: <https://lander.kiev.ua/shcho-take-reb-pryntsy-p-roboty-na-prykladi-statsionarnykh-system-okopnykh-rishen-ta-antydronovykh-rushnyts/>. (date of app. 12.09.2024)
9. O. Hutsa, D. Yelchaninov, D. Yanushkevych, I. Tolkunov, L. Ivanov, R. Petrova, A. Morozova. Conceptualization of Intelligent Control System for Humanitarian Demining Robotic Complexes Based on Verbal Methods. *Science and Innovation*. 2024. 20(3), 82–95. <https://doi.org/10.15407/scine20.03.082>
10. Pavlenko P. Control model of a group of maneuverable unmanned aerial vehicles taking into account their flight safety / P. Pavlenko, Ye. Samborskyi, H. Krykhovetskyi, I. Samborskyi. *Control, Navigation and Communication Systems. Academic Journal*. 2023. №. 3 (73). P. 58-63. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.3.058>.
11. L. Hulianytskyi. Optimization of decisions in mission planning for unmanned aerial vehicles. Transcript of speech at the session of the General Meeting of the NAS of Ukraine, 2023. № 5, 75–78. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2023.05.075>
12. L. Hulianytskyi, O. Rybalchenko. Route Optimization in Mission Planning for Hybrid DRONE+VEHICLE Transport Systems. *Cybernetics and computer technologies*. 2023. № 3. P. 44 – 58. DOI:10.34229/2707-451X.23.3.4