

Голові спеціалізованої Вченої ради Д 26.062.03
при Національному університеті «Київський
авіаційний інститут»

03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

професор кафедри аерогідродинаміки Національного аерокосмічного
університету «ХАІ» Міністерства освіти і науки України, доктора технічних
наук, професора ОБІДІНА Дмитра Миколайовича на дисертаційну роботу
КОЗУБА Андрія Миколайовича на здобуття наукового ступеня доктора
технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація і управління рухом на
тему: «Методологія синтезу управління багатопозиційною системою
автономних повітряних об'єктів»

Обґрунтування вибору теми дослідження та її актуальність. Останнім
часом можливості з застосування безпілотних літальних апаратів
розширюються. Водночас одним з найцікавіших напрямів, що розвиваються у
світі, є напрям, пов'язаний із забезпеченням групового руху роботів під час
виконання колективних операцій, які з різних причин не можуть бути
виконаними окремими апаратами.

Досвід практичного цивільного і військового застосування БПЛА в різних
країнах у військових, антитерористичних операціях та конфліктах, під час
виконання низки цивільних завдань дає змогу сформулювати перелік завдань,
визначити типи і класифікацію БПЛА.

Передбачається, що під час моделювання системи братимуться до уваги
можливості управління змінною групою безпілотних літальних апаратів (БПЛА),
яка діє як для реалізації однієї, так і декількох цілей (завдань).

Структура розглянутої системи ґрунтується на сучасному погляді як про
можливості керування, так і побудови цієї системи.

Конструктивно система складається з людини-оператора, яка формує завдання елементам групи, пульта керування, управління здійснюється по каналу зв'язку як відкритого, так і закритого типу, і безпосереднього об'єктів керування – безпілотних літальних апаратів. БПЛА має у своєму складі як засоби керування польотом, так і засоби забезпечення виконання поставленого завдання.

Основним об'єктом управління вважається БПЛА, що виконує завдання в групі. Тому природно виникає завдання побудови адекватної математичної моделі БПЛА, як елемента групи.

Отже, тема дисертації, яка пов'язана з вирішенням нової актуальної науково-прикладної проблеми розроблення методології синтезу управління багатопозиційною системою автономних повітряних об'єктів під час виконання колективних дій за наявності штучних та природних перешкод при виконанні завдань за призначенням за мінімальний час на прийняття рішення є актуальною і важливою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.
Дослідження в дисертаційній роботі проводилися в рамках Закону України «Про Національну програму інформатизації», Указу Президента України від 22 березня 2017 року № 73/2017 «Про Державну програму розвитку Збройних Сил України на період до 2020 року», Указу Президента України від 14 березня 2016 року № 92/2016 «Про Концепцію розвитку сектору безпеки і оборони України». Напрям дослідження роботи пов'язаний з виконанням низки науково-дослідних робіт, в яких автор приймав участь.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у дисертації.

Достовірність одержаних результатів

Достовірність одержаних результатів підтверджено:

- логічністю запропонованих підходів до опису процесів функціонування систем управління;
- коректним використанням математичного апарату наукових методів, раніше апробованих для виконання завдань в умовах невизначеності;

- коректністю викладення запропонованих теоретичних положень;

- підтвердженням отриманих результатів під час проведення машинних експериментів на моделях-аналогах, що свідчить про достатню відповідність розроблених математичних моделей описуваним процесам. Розбіжність результатів машинних експериментів на розроблених математичних моделях не перевищує 10 %.

У процесі виконання завдання синтезу всі розроблені методи досліджувалися на збіжність шляхом оцінювання деякої квадратичної функції типу Ляпунова. Монотонно спадний характер цієї функції дає змогу стверджувати про збіжність запропонованих алгоритмів навчання.

Наукова новизна та результати: 1. Уперше запропоновано метод управління рухом мультиагентної системи, агентом якої є БПЛА, обладнаний засобами вимірювання та управління, який на відміну від наявних містить не тільки похибку відхилення групи від заданого маршруту, а й ще два спеціальні сигнали, які є похідними від потенціальних енергій притягіння агентів і їх відштовхування від сусідів і перешкод, що гарантує цілісність і безпеку в процесі руху. Закон керування передбачає також зміну конфігурації групи під час долаття перешкод, за яким цілісність і розмір групової структури не втрачаються, що дає змогу виконувати завдання групової поведінки та навігації в динамічному середовищі.

2. Уперше розроблено метод управління БПЛА квадаторного типу завдяки введенню гібридної адаптивної системи керування для забезпечення точного відтворення бокового руху апарата, який на відміну від відомих містить різні закони управління, у тім грубий канал забезпечує мінімізацію помилки відхилення від заданої траєкторії за мінімальним часом керування, що дає змогу швидко переміщати фазові координати об'єкта управління в область досяжності точнішого каналу, який функціонує за пропорційним законом керування.

3. Уперше запропоновано метод налаштування пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД)-контролерів градієнтного типу за умов апіорної невизначеності параметрів математичної моделі з адаптивним кроком налаштування, у якому на відміну від наявних локальні мінімуми вилучаються

оптимізацією кроку зміни шуканих параметрів з використанням множників Лагранжа, що дає можливість отримати обчислювальну простоту, швидкість збіжності, можливість онлайн-налаштування в реальному масштабі часу.

4. Удосконалено метод формування маршруту БПЛА на основі кривих Без'є, який відрізняється від наявних мінімальною кількістю маршрутних точок, що забезпечує гладкість траєкторії та прийнятні значення кривизни при збереженні властивості інваріантності до масштабування.

5. Набув подальшого розвитку метод оброблення інформації під час керування БПС для забезпечення надійного двостороннього передавання інформації між бортовим комп'ютером БПС і оператором, який відрізняється від наявних оцінюванням каналу завантаження для встановлених методів керування потоком. Керування потоками має відбуватися за схемою ARQ, яка надає можливість селективного вибору та максимальної пропускної здатності приймальному каналу.

6. Удосконалено багаторівневу структуру багатопозиційної системи автономних повітряних об'єктів завдяки поєднанню різних схем адресації, що забезпечує ефективну взаємодію агентів у мультиагентній системі, яка дає змогу підвищити точність та оперативність виконання завдань такою системою, а також адаптивно змінювати конфігурацію рою завдяки введенню механізму консенсусу.

7. Набула подальшого вдосконалення побудована система групового управління БПЛА, що приводить до підвищення ефективності використання БПЛА, яка відрізняється функціональною стійкістю управління під час виконання типових завдань, що дає змогу коригувати план та оптимізацію маршруту польоту, ґрунтуючись на вже отриманих даних з інших БПЛА; збільшення вірогідності успішності виконання завдання; значний виграш у часі; можливість одночасного обстеження території та збільшення площі одночасного моніторингу; можливість постановки різних завдань для багатокомпонентних учасників групи БПЛА зважаючи на ефективність топології груп.

8. Зазнала подальшого розвитку методологія виконання моніторингу групою БПС в динамічному середовищі, яка відрізняється визначенням точного

місцезнаходження групи БПЛА і ступенем виконання завдання на основі загальних даних групи та допомагає визначити кращий сценарій для кожного агента під час виконання завдання групою. Запропонована методологія може бути використана в народному господарстві у процесі виконання різних завдань, що допомагає під час виконання колективних дій багатопозиційною системою автономних повітряних об'єктів забезпечити прийняття рішення за мінімального часу.

Практична цінність. Основні результати роботи реалізовані у:

Центральному науково-дослідному інституті озброєння та військової техніки Збройних Сил України за замовленням Департаменту військово-технічної політики, розвитку озброєння та військової техніки Міністерства оборони України під час підготовки звітних матеріалів науково-дослідної роботи, шифр «Стратосфера-Р» (акт від 15.09.2016 р.); Науково-виробничій впроваджувальній фірмі «Геотехнологія», м. Київ (акт від 18.08.2022 р.); Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ під час підготовки звітних матеріалів за темою НДР «Розробка засобів інформаційно-аналітичної підтримки завдань забезпечення стійкості об'єктів критичної інфраструктури в регіональній соціоecosистемі за умов зростання природних, техногенних і соціальних загроз» (№ ДР 0121U109216, акт від 10.09.2024 р.); навчальному процесі Національного університету «Київський авіаційний інститут» під час підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» у дисциплінах «Мультиагентні системи управління» та «Інтелектуальні системи управління в авіації» (акт від 11.09.2024 р.); освітньому процесі Національної академії оборони України на кафедрі геопросторової підтримки та застосування космічних систем у навчальній дисципліні «Організація застосування спеціальних комплексів для виконання завдань розвідки» (акт від 07.10.2024 р.); ТОВ «Аерокосмічне агентство «Магеллан», м. Київ (акт № 1-02/25 від 10.01.2025 р.).

Результати дисертаційної роботи рекомендується використати на підприємствах, що розроблюють БПЛА та системи керування багатопозиційною

системою автономних повітряних об'єктів, а також у навчальних та наукових установах.

Завершеність досліджень, стиль викладання автореферату та дисертації, публікації

Дисертація та автореферат написані грамотно, стиль викладення в них матеріалів досліджень та наукових положень, висновків і рекомендацій у цілому забезпечує доступність їх сприйняття.

Зміст автореферату відображає основні результати роботи, які приведені в дисертації. Дисертація по тематиці і результатам відповідає паспорту спеціальності 05.22.13 – навігація і управління рухом. Наукові положення, висновки і рекомендації, які виносяться на захист, одержані автором особисто. З наукових праць, які опубліковані у співавторстві, в дисертації використані лише ті ідеї і положення, які є результатом власних досліджень здобувача. За результатами дослідження опубліковано 57 наукових праць, з них 2 колективні монографії, 24 наукові статті у фахових виданнях, із них 19 наукових статей у наукових фахових виданнях України, 5 наукових статей у виданнях, внесених до наукометричної бази даних Scopus; 31 праця (8 внесені до наукометричної бази даних Scopus), які засвідчують апробацію матеріалів дисертації; 1 патент на корисну модель. Зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації.

Оцінка мови, змісту та оформлення дисертації та автореферату

Стиль викладення автореферату та дисертації в цілому забезпечує його доступність та сприйняття. В авторефераті чітко і лаконічно викладено наукові завдання дослідження та шляхи їх вирішення, зрозуміла наукова і практична значущість роботи, особистий внесок здобувача. Матеріали дисертаційної роботи та автореферат структуровані, написані грамотно, з дотриманням чинних вимог до оформлення, а стиль викладення матеріалу забезпечує легкість і доступність їх сприйняття.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації та відображає її основний зміст, наукові та практичні результати.

Зауваження та недоліки:

1. В авторефераті та дисертації бажано було навести визначення науково-практичної проблеми, яку вирішено в дисертаційній роботі, а саме, - підвищення ефективності застосування багатопозиційної системи, яка складається з окремих безпілотних повітряних об'єктів, шляхом забезпечення її функціональної стійкості під час виконання завдань за призначенням за рахунок удосконалення системи управління груповим рухом.

2. У підрозділі 2.6 розглядається синтез системи стабілізації руху БПЛА на програмних траєкторіях. При цьому бажано було надати вимоги до формувача самої програмної траєкторії. Як будуть здійснюватися перехідні процеси при стабілізації в умовах швидких (коротко-часових) змін самої програмної траєкторії?

3. Автор обґрунтовується (розділ 3) можливість самонавчатися нейронної системи в процесі функціонування системи в разі зміни параметрів об'єкта, які виявляються, наприклад, під час зміни навантаження або його початкового стану. У разі постійно діючого завдання при цьому можливо значно зменшити час навчання нейроконтролера за допомогою визначення помилкових ситуацій та дострокової корекції вагових коефіцієнтів нейроконтролера. Саме до цієї корекції й виникають питання, - яким чином вона організується та здійснюється?

4. У Розділі 4 "Методологічні основи моделювання групового польоту" обґрунтовується, що "конфігурація польотної групи з погляду подолання перешкод передбачає відповідні зміни розміру і форми". Виникає питання хто та яким чином буде здійснювати зміну розміру та форм рою БПЛА.

5. В роботі (розділ 4) розглянуто Наглядний приклад. Розглядається система, що містить три шари управління, для групи із трьох апаратів у якої фізичний шар відповідає за якість керування. Для досягнення консенсусу за мінімальний час у групі використано релейний закон управління. У цьому разі параметром управління визначено кількість перемикачів знака управління. Нехай якість управління оцінюється ймовірністю кількості перемикачів. При цьому критерієм виступає рівноймовірний закон управління. Це припущення щодо

оцінювання якості керування ймовірністю потребує обґрунтування при вирішенні загального завдання навігації та управління роєм БПЛА.

6. В роботі (розділ 5) набув подальшого розвитку метод аналізу ієрархій процесів, заснований на ідентифікації однотипних показників, шляхом введення узагальненого показника продуктивності оператора, який є лінійною функцією часткових різнорідних критеріїв якості з невідомими ваговими коефіцієнтами, ефективність якого підтверджена чисельними прикладами. При цьому бажано було надати рекомендації щодо ергатичних особливостей оператора.

Загальний висновок: Дисертаційна робота КОЗУБА Андрія Миколайовича на тему «Методологія синтезу управління багатопозиційною системою автономних повітряних об'єктів» за своєю актуальністю, новизною та теоретичним рівнем відповідає вимогам, що висовуються до докторських дисертацій згідно пунктів 9, 10, 12 та 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 із відповідними змінами 2015–2020 рр., а її автор Козуб Андрій Миколайович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація і управління рухом.

Доктор технічних наук,
професор, професор кафедри
аерогідродинаміки Національного
аерокосмічного університету «ХАІ»

Дмитро ОБІДІН

Підпис особи, яка склала відгук (засвідчується підписом керівника та гербовою печаткою установи).

« 24 » серпня 2026 року

ПІДПИС
ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар університету

