

Красноручький А. О., Бовкун А. Р.

АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ ТА НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ АВТОНОМНОСТІ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. У тезі наведено аналіз основних завдань, які стоять перед навігаційними системами безпілотних літальних апаратів (БПЛА), та визначено основні напрямки підвищення їх автономності. Розглянуто вимоги до архітектури автономних навігаційних рішень, класи методів корекції позиціонування, а також питання забезпечення стійкості до радіоелектронних перешкод. Окрему увагу приділено критеріям оцінки автономності та практичним напрямкам їх підвищення: інтеграція мультисенсорних каналів, алгоритми злиття даних, адаптивні стратегії навігації і алгоритми самокалібрування. Представлені рекомендації щодо вибору технічних засобів і алгоритмічних підходів для забезпечення безпечного та надійного виконання завдань розвідки й ударного застосування в умовах глушіння супутникових систем.

Ключові слова: автономна навігація; БПЛА; інерційна навігація; оптико-електронні системи; комплексування даних; радіоелектронна боротьба; стійкість позиціонування.

Abstract. The thesis provides an analysis of the main tasks facing navigation systems of unmanned aerial vehicles (UAVs), and identifies the main directions for increasing their autonomy. The requirements for the architecture of autonomous navigation solutions, classes of positioning correction methods, as well as the issue of ensuring resistance to radio-electronic interference are considered. Special attention is paid to the criteria for assessing autonomy and practical directions for their improvement: integration of multi-sensor channels, data fusion algorithms, adaptive navigation strategies and self-calibration algorithms. Recommendations are presented for the selection of technical means and algorithmic approaches to ensure the safe and reliable performance of reconnaissance and strike missions in conditions of satellite system jamming.

Keywords: autonomous navigation; UAV; inertial navigation; electro-optical systems; data fusion; electronic warfare; positioning robustness.

Основні положення та класифікація рівнів автономності навігаційних систем БПЛА Виділяють наступні функціональні рівні автономності навігаційних систем, які розробники й оператори планують застосовувати в різних класах БПЛА:

1-й (базовий) рівень: забезпечення позиціонування та курсового контролю з використанням комбінованих GNSS/ІНС рішень з базовою обробкою сигналів; система допускає короточасні втрати зовнішнього сигналу, але не забезпечує самостійного виконання місії при тривалому глушінні;

2-й рівень: інтеграція локальних оптико-електронних сенсорів (телевізійний/тепловізійний канал) та алгоритмів візуальної одометрії для корекції ІНС; система здатна продовжувати виконання маршруту протягом середнього проміжку часу без GNSS;

3-й (просунутий) рівень: мультисенсорне комплексування (ІНС + ОЕС + локальні цифрові карти місцевості + радар), адаптивні алгоритми злиття даних і самооцінки помилки; система гарантує виконання місії в умовах тривалої відсутності зовнішніх джерел та в умовах інтенсивної РЕБ.

Завдання, які вирішуються в межах підвищення автономності:

- забезпечення безперервності та точності позиціонування в умовах GNSS-денаїнелінгу;
- зниження вразливості до радіоелектронних перешкод і цілеспрямованого глушіння;
- підвищення часового ресурсу виконання завдань без зв'язку зі станцією управління;
- забезпечення надійної навігації при обмеженій видимості та складному рельєфі.

Методи та технології, що підвищують автономність навігації Для підвищення точності й стійкості автономної навігації доцільно реалізувати наступний набір технічних і алгоритмічних рішень:

- комплексування інерційних навігаційних систем (ІНС) з оптико-електронними системами (ОЕС) для візуальної корекції дрейфових похибок;
- використання локальних цифрових карт місцевості (ЦКМ) і методів співпадіння зображення/карти (map-matching) для позиціонування у відсутності GNSS;
- впровадження алгоритмів мультисенсорного злиття даних (Kalman-filter, particle-filter, factor-graph), що враховують статистичні моделі похибок і адаптивно корегують ваги сенсорів у реальному часі;

- застосування радарних та радіолокаційних каналів для забезпечення незалежного від оптики зчитування інформації в складних метеоумовах;
- реалізація методів самооцінки становища та самокалібрування сенсорів для збереження працездатності при деградації обладнання;
- резервування каналів позиціонування (інерційні датчики різних класів, локальні маяки, оптичні маяки) та програмні стратегії переходу між режимами навігації.

- Вимоги до апаратно-програмної архітектури автономних навігаційних систем

При проектуванні навігаційних систем слід врахувати такі вимоги:

1. Маса та енергоспоживання модулів – повинні відповідати класовим обмеженням БПЛА;
 2. Точність і стабільність ІНС – допустимий дрейф між корекціями;
 3. Швидкість і надійність обробки даних – можливість реального часу для алгоритмів злиття;
 4. Інтерфейсна сумісність з бортовими ОЕС і платформи керування польотом;
 5. Можливість оновлення алгоритмів та картографічних даних у польових умовах.
- Практичні рекомендації та напрямки досліджень
6. Пріоритезація мультисенсорної архітектури: поєднання ІНС + ОЕС + локальні карти дає найбільший приріст стійкості позиціонування в умовах GNSS-заглушення.
 7. Розробка легких гіростабілізованих платформ для оптичних сенсорів та підвищення точності їхнього прив'язування до ІНС.
 8. Впровадження адаптивних фільтрів з можливістю зміни структурної моделі залежно від режиму польоту та якості вхідних даних.
 9. Дослідження алгоритмів швидкого відновлення позиції після тривалих втрат зовнішніх джерел (relocalization) з використанням попередніх маршрутів та локальних орієнтирів.
 10. Оцінка ефективності систем за критеріями: середня та максимальна позиційна похибка, час самостійної роботи без GNSS, ймовірність втрати контролю у сценаріях інтенсивної РЕБ.

Список використаних джерел:

1. Клімішен О. О., Красноручський А. О., Кочук С. Б. Застосування технологій бездротового зв'язку й технічного зору для вдосконалення авіаційних операцій пошуку та рятування. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2023. № 2 (24). С. 32–42.
2. Клімішен О. О., Красноручський А. О. Впровадження систем технічного зору до складу бортового обладнання сучасних гелікоптерів // Актуальні проблеми бойового застосування, експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки. – 2024. – С. 22-24.

Красноручський Андрій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету, e-mail: krasnorycki@ukr.net, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4318-2217>, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, вулиця Динамівська 3а, м. Харків, 61023.

Бовкун Андрій Романович – слухач, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: andriy13bovkun@gmail.com

Krasnorutskyi Andriy Oleksandrovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 3a Dynamivska St., ind. 61023, email: krasnorycki@ukr.net, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4318-2217>

Bovkun Andriy Romanovych – student, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: andriy13bovkun@gmail.com