

УДК 621.396

## МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО РУХУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛЕТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Герасимов С. В., Марущенко В. В., Чернявський О. Ю. (gsvnr@ukr.net)  
Національний технічний університет —Харківський політехнічний інститут<sup>1</sup> (Україна)

*Сформульовано основні вимоги до навігаційних систем моделювання руху безпілотних літальних апаратів: висока точність; автоматичний режим роботи; стійкість до радіоперешкод; всепогодне застосування. Виявлено проблемні питання досягнення всепогодної навігації безпілотного літального апарату за рахунок використання приймачів сигналів супутникових навігаційних систем. При моделюванні руху безпілотних літальних апаратів пропонується розглядати сумісні системи навігації – комплексування інерціальної та супутникової апаратури.*

Останнім часом зростає частка безпілотних літальних апаратів (БПЛА) при розв'язанні логістичних задач, наприклад, перевезення ліків і засобів життєвої необхідності у важко доступні місця, доставка ремонтних засобів і запасних частин, провіанту та води у постраждалі регіони тощо. До основних вимог, що пред'являються до систем навігації БПЛА, пропонується віднести [1, 2]: високу точність, автоматичний режим роботи, стійкість до дії радіозавад, всепогодність застосування, мінімальну вагу порівняно корисним навантаженням, незначну вартість.

У роботі показано, що призначенням навігаційної системи або комплексу навігаційних систем БПЛА при русі (польоті) є вироблення вектору параметрів навігації за результатами проведення вихідних вимірювань і їх подальшої обробки. Отриманий вектор параметрів навігації використовується у подальшому при моделюванні траєкторій руху БПЛА для забезпечення адекватної інформації. Вимоги до точності моделювання маршруту руху БПЛА можуть істотно відрізнятися для різних задач польоту із врахуванням потрібного обсягу та складності навігаційного обладнання. У даний час для всепогодної навігації широко застосовуються приймачі сигналів супутникових навігаційних систем. Низька вартість і малість вагогабаритних показників подібної апаратури сприяють її розповсюдженню використанню для навігації транспортних БПЛА [3, 4].

Проте апаратура прийому супутникової інформації не відповідає вимогам щодо заводо захищеності та точності, особливо у зоні впливу значних радіоелектронних та радіотехнічних завад (наприклад, при необхідності польоту поблизу зони розташування засобів радіолокації та навігації військового та цивільного призначення). Для коректного автоматичного управління польотом БПЛА необхідно отримувати з потрібними точністю та тактом (періодом) оновлення інформацію у реальному часі про значення векторів дійсних прискорень, швидкості, радіус-вектору центру мас, а також вектору кутової швидкості та кутів тангажу, ризику й крену [2, 5]. А таку задачу складно розв'язати в умовах впливу значних радіоелектронних та радіотехнічних завад. Тому запропоновано використання у складі системи управління польотом БПЛА приймачів інерціальної навігації (блоку інерціальної навігаційної системи).

Обґрунтовано, що інерціальна навігаційна система БПЛА автономна, тобто не вимагає ні якої додаткової інформації ззовні. Завдяки можливості визначати кутове положення об'єкту на місцевості з високою точністю в будь-якому діапазоні кутів і з високою частотою видачі інформації, інерціальні навігаційні системи рекомендовано для БПЛА в умовах втрати сигналів супутникових навігаційних систем.

Проведено оцінювання впливу похибки маршруту руху, яку обумовлено помилками розрахунку радіусів кривизни еліпсоїда. Встановлено залежність похибки інерціальної системи від помилки обчислення радіусів кривизни. Обґрунтовано, що при використанні лінеаризації радіусів кривизни еліпсоїда можна вважати відсутніми інші джерела похибок інерціальної системи навігації. Такий висновок отримано при використанні наближеної моделі, яка передбачає повільне зміння похибок обчислення радіусів кривизни еліпсоїда порівняно із динамікою контуру побудови вертикалі для даного випадку розташування кутового положення БПЛА як об'єкта спостереження відносно об'єкта зондування на поверхні [3, 5].

Досліджено систематичні помилки моделювання руху БПЛА, які викликані похибкою визначення радіусів кривизни поверхні. Систематичні помилки пропонується поділити на дві групи. Перша група пов'язана з маневруванням БПЛА на поверхні, при цьому вплив збурень на вертикаль носить короткочасний, імпульсний характер. Друга група характеризується повільно змінними збуреннями при русі БПЛА та характеризується виникненням систематичних похибок вертикалі.

Розрахунки показали, що використання при плануванні маршрутів руху (польотів) БПЛА запропонованої моделі сферичної Землі призводить до систематичної похибки вертикалі близько  $(2 - 3)''$ , але врахування систематичної складової зменшує таку похибку до рівня менш  $0,1''$ . Обґрунтовано, що прецизійна система розрахунку параметрів навігації та формувач інерційної вертикалі (в інтересах зниження похибки, яка виникає при маневрі) повинні використовувати оцінку радіусів кривизни із похибкою близько 400 м.

Представлено варіанти комплексування інерціальної та супутникової апаратури навігації, яку запропоновано використовувати для підвищення перешкодозахищеності каналів управління БПЛА на маршруті руху (польоту). Обґрунтовано пропозиції застосування сучасних мікрокомп'ютерів загального призначення для відпрацювання функцій бортової інерціальної системи наведення. Проведено аналіз продуктивності сучасних мікрокомп'ютерів загального призначення, результати якого показали достатність їх характеристик для застосування у бортових кореляторах БПЛА.

Проведено оцінювання точності моделювання руху БПЛА при сумісному використанні інерціальної та супутникової систем. При заданих значеннях кутових похибок у визначенні положення об'єкта на місцевості (точка прив'язки) на рівні  $(1; 2; 3)''$  дає помилку у визначенні координат на рівні  $(0,1; 0,2 \text{ і } 0,3)''$  відповідно, що є на  $(10-12)\%$  краще від існуючих інерціальних систем.

Запропонована модель використання автономних систем навігації БПЛА для доставки вантажів в умовах бойових дій та розроблена методика можуть бути використані для високоточного наведення літальних апаратів, у тому числі БПЛА. Розроблена методика автономного управління БПЛА під час польоту, яка реалізована на базі мікрокомп'ютерів загального призначення, дозволяє забезпечити автономну навігацію БПЛА як спеціального призначення (у військовій справі), так і для цивільного використання.

### Список використаної літератури

[1]. Герасимов С. В., Чернявський О. Ю. Моделювання траєкторій руху безпілотного летального апарату при дистанційному зондуванні землі, КЗЯТПС – 2023: матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції, 2023, Т. 2, С. 129-130.

[2]. Artikula A., Britov D., Dzhus V. et al. Measurement errors affecting the characteristics of multi-position systems and ways to reduce them, InterConf, 2021, Pp. 333-346. DOI: <https://doi.org/10.51582/interconf.7-8.06.2021.035>.

[3]. Herasimov S., Borysenko M., Roshchupkin E. et al. Spectrum Analyzer Based on a Dynamic Filter, Journal of Electronic Testing, 2021, № 37, С. 357-368, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10836-021-05954-0>.

[4]. Dzhus V., Roshchupkin Y., Kukobko S. et al. Estimation of Noise Radiance Point Sources Multichannel Direction Finding Systems Resolution by Linear Prediction Method, Information Processing Systems, 2021, Issue 4 (167), P.p. 19-26, DOI: <https://doi.org/10.30748/soi.2021.167.02>.

[5]. Yevseiev S., Herasimov S., Kuznietsov O. et al. Method of assessment of frequency resolution for aircraft, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, № 2(9) (122), Pp. 34-45, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277898>.