

УДК 004.021:004.94

Козак В.О. здобувач гр. 174м-23-2

Науковий керівник: Бубліков А. В., д.т.н., завідувач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)

## СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ ЦЕНТРА МАС КВАДРОКОПТЕРА ПІД ЧАС ЙОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ДО ПЕВНОЇ ТОЧКИ ПРОСТОРУ

**Актуальність.** Безпілотні літальні апарати (БПЛА) успішно застосовуються у воєнній та цивільній сферах і мають великий потенціал для пошукових завдань у непередбачуваних середовищах [1]. Протягом останніх років було розроблено та поширено широкий спектр моделей, доступних для споживачів. БПЛА можуть літати автономно по визначених маршрутах, мають камери для аерофотозйомки і здатні перевозити вантажі. Компактні, легкі та маневрені мультимоторні дрони використовують різні типи датчиків, що дозволяють виявляти об'єкти пошуку в небезпечних областях. Такі дрони мають широкий спектр застосувань, включаючи повітряний моніторинг промислових підприємств, сільське господарство і надання допомоги в разі катастрофи для швидкої оцінки ситуації та координації сил реагування.

БПЛА є складним об'єктом автоматичного керування, тому багато питань щодо його автоматизації залишається до кінця не вирішеними [2]. Одним з таких питань є точне відпрацювання заданої траєкторії переміщення у тривимірному просторі за умови дії збурень, що впливають на динамічні властивості БПЛА (зміщення центру мас, зміна ваги або швидкості й напрямку вітру).

**Постановка завдання дослідження.** Мета наукової роботи полягає у підвищенні енергоефективності автономної роботи БПЛА за умови відпрацювання системою керування заданої траєкторії руху у тривимірному просторі. Головним критерієм якості роботи системи автоматичного керування є інтегральний показник відхилення координат, через які задана бажана траєкторія руху БПЛА, від координат, якими описана фактична траєкторія руху БПЛА.

Для досягнення поставленої мети сформовані такі наукові задачі:

- створити імітаційну модель системи автоматичного керування положенням центра мас квадрокоптера під час його переміщення до певної точки простору;
- провести синтез системи автоматичного керування з урахуванням сформованих критеріїв якості;
- провести дослідження залежності критерії якості роботи системи керування від параметрів регулятора з метою визначення оптимальних налаштувань регулятора за сформованим критерієм якості.

**Інструмент дослідження.** Для синтезу й дослідження системи автоматичного керування у застосунку Simulink математичного пакету MATLAB розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування пройденою відстанню за одною з осей тривимірної системи координат. Адекватність моделі забезпечується використанням відомих рівнянь, що описують рух БПЛА у тривимірному просторі, які пройшли апробацію [1].

**Запропоноване рішення поставленого завдання.** Для компенсації збурень, які діють на БПЛА та призводять до його відхилення від заданої траєкторії у тривимірному просторі запропоновано використати метод синтезу системи автоматичного керування на основі відомих шаблонів щодо динамічних властивостей системи, які орієнтовані на

певні критерії якості роботи системи. З оглядом на сформований критерій ефективності роботи системи керування, обраний стандартний шаблон Еллерта, що забезпечує нульову швидкісну похибку [3]. Відповідно, в такому разі бажана та фактична траєкторія руху БПЛА будуть співпадати, а інтегральне відхилення координат цих траєкторій прагнути до нуля.

**Результати проведених досліджень.** Використаний метод синтезу системи керування передбачає компенсацію постійних часу передаточної функції об'єкта керування, але при цьому штучно вводиться постійна часу, що задає нову інерційність об'єкта. Крім того, потрібно визначити корінь характеристичного рівняння шаблону. Ці параметри регулятора мають бути такими, щоб забезпечити мінімальне значення відхилення координат бажаної й фактичної траєкторій руху БПЛА. Для цього були проведені декілька обчислювальних експериментів відпрацювання системою керування заданої траєкторії у тривимірному просторі за умови дії збурення.

Дослідження показали, що за умови занадто малої некомпенсованої постійної часу для коректної роботи системи керування потрібні занадто великі швидкості обертання пропелера, які не підтримуються сучасними приводами, а за умови занадто великої постійної часу мають місце коливальні перехідні процеси в системі керування. Таким чином, визначене оптимальне значення некомпенсованої постійної часу об'єкта керування, при якому, з однієї сторони, відсутні коливання в перехідних процесах, а з іншої – відсутнє перевищення допустимої швидкості обертання пропелерів.

Крім того, в ході досліджень виявлено, що залежність критерію якості роботи системи керування від кореню характеристичного поліному стандартного шаблону Еллерта має параболічний характер, при цьому можна говорити не про одне оптимальне значення кореню, а про певний діапазон зміни його значень, при яких критерій якості близький до свого мінімального значення.

#### **Висновки.**

Доведено, що для вирішення задачі автоматичного керування положенням центра мас квадрокоптера під час його переміщення до певної точки простору можна використати метод синтезу системи автоматичного керування на основі стандартного шаблону Еллерта. Запропонована модифікація цього методу шляхом попередньої компенсації постійних часу об'єкта керування та введення штучної постійної часу, що визначає інерційність об'єкта. Встановлені нові залежності некомпенсованої постійної часу об'єкта керування та кореня характеристичного рівняння стандартного шаблону Еллерта, що забезпечують оптимальні значення параметрів регулятора за критерієм мінімального відхилення між координатами, що визначають задану та фактичну траєкторії руху БПЛА у тривимірному просторі.

#### **Перелік посилань**

1. Козак В. О. Автоматизація процесів керування процесу польоту безпілотною літаючого апарата : кв. роб. ... бакалавра зі спец. 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Козак Віталій Олександрович. – Д.: НТУ «ДП», 2023. – 60 с.
2. Кучкін О., Сазонов А., Ладієва Л. (2023) Система керування бпла в умовах флуктуації параметрів стану атмосфери. *Науково-виробничий журнал "Електромеханічні і енергозберігаючі системи"*. 1. 44-50.
3. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра: навч. посіб. / В.Г. Шаруда, В.В. Ткачов, А.В. Бубліков; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 487 с.