

УДК 629.7:681.5

**ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ  
ПОЛЬОТОМ ПОВІТРЯНОГО СУДНА НА РЕЖИМАХ  
СТАБІЛІЗАЦІЇ БАРОМЕТРИЧНОЇ ВИСОТИ**

*Збризький В.В.*

*Харківський національний університет Повітряних Сил  
імені Івана Кожедуба, Харків*

У сучасній авіації ми спостерігаємо стрімкий розвиток авіаційних технологій, спрямований на підвищення безпеки, економічної ефективності та автоматизації польотів. Одним з ключових завдань траєкторного керування є стабілізація барометричної висоти польоту. Цей режим є особливо критичним під час крейсерського польоту на ешелонах у складних метеоумовах, де точне витримування висоти забезпечує дотримання диспетчерських інтервалів, економію авіаційного палива, зменшення навантаження на екіпаж, забезпечення безпеки повітряного руху [1].

Проте, незважаючи на значний прогрес у галузі автоматизації, сучасні системи автоматичного керування (САК) все ще мають істотні обмеження. Традиційні підходи до забезпечення надійності через апаратне резервування призводять до збільшення маси, вартості та складності системи, не завжди забезпечуючи необхідне підвищення точності та надійності.

Отже, актуальним є пошук шляхів підвищення точності та надійності контуру стабілізації висоти без значного ускладнення системи. Одним із перспективних підходів є використання принципів функціональної стійкості, зокрема, інформаційної надмірності, що дозволяють системі адаптуватися до відмов та зовнішніх впливів [2].

Метою роботи є комплексне дослідження можливостей вдосконалення алгоритму автоматичного керування повітряним судном на режимах стабілізації барометричної висоти шляхом застосування методів функціональної стійкості з використанням інформаційної надмірності та

розробка на цій основі ефективного алгоритму керування.

Для досягнення такої мети необхідно було виконати наступні завдання:

1. Проаналізувати існуючі САК висотою польоту на основі класичних законів керування (ПД, ізодромні зв'язки) [1];

2. Дослідити теоретичні основи функціонально стійких систем керування з акцентом на перерозподіл ресурсів при відмовах [3, 4];

3. Розробити структурну схему вдосконаленої САК висотою польоту, синтезувати алгоритм функціонально стійкого керування з використанням інформаційної надлишковості датчиків висоти, кута тангажа, нормального перевантаження;

4. Виконати математичне моделювання з урахуванням зовнішніх збурень та відмов датчиків [5].

У роботі використовувалися комплекс методів, що дозволив всебічно дослідити поставлену проблему:

1. Теоретичний аналіз існуючих систем. Проведений аналіз класичних законів керування САК висотою польоту, включаючи: пропорційно-інтегрально-диференційні (ПД) регулятори; системи з ізодромними зворотними зв'язками; алгоритми з використанням сигналів кута тангажа та нормального перевантаження.

2. Дослідження теорії функціонально стійких систем. На основі робіт [2, 3, 4] було вивчено принципи забезпечення функціональної стійкості, зокрема: можливість перерозподілу ресурсів при відмовах; критерії функціональної стійкості для складних систем; методи синтезу функціонально стійкого керування.

3. Математичне моделювання. Розроблено комплексну математичну модель, що включає: рівняння поздовжнього руху літака; моделі зовнішніх збурень (вітрові потоки, моментні збурення); моделі відмов датчиків інформації про висоту польоту; алгоритми оцінки стану системи.

4. Синтез алгоритмів керування. Запропоновано вдосконалені алгоритми, що поєднують: традиційні методи стабілізації висоти; методи функціональної

стійкості; інформаційну надлишковість про висоту польоту від різних датчиків.

Проведені дослідження дозволили отримати низку важливих результатів:

1. Аналіз існуючих систем САК висотою польоту показав, що традиційні системи мають значні статичні помилки при дії моментних збурень, вертикальних потоків повітря, а також при відмовах датчиків. Наприклад, похибка вимірювання висоти може досягати 10–50 м, що неприпустимо для сучасних авіаційних систем.

2. Запропоновано підвищити точність стабілізації висоти шляхом:

– використання інформаційної надмірності – інтеграції даних від барометричних датчиків, радіовисотомірів, GPS, інерціальних навігаційних систем.

– впровадження алгоритмів функціональної стійкості, що дозволяють перерозподіляти ресурси (інформаційні, обчислювальні) при виникненні відмов.

3. Розроблено структурну схему функціонально стійкої САК висотою польоту, яка включає:

Блок інформаційної надмірності: інтеграція даних від барометричних датчиків; використання радіовисотомірів для корекції; застосування GPS-навігації; використання інерціальних вимірювальних систем.

Блок оцінки стану та виявлення відмов: калманівський фільтр для оцінки стану системи; алгоритми порівняння поточного стану з еталонними образами; швидке виявлення та ідентифікація відмов.

Адаптивний блок керування: закон керування, що враховує поточну конфігурацію системи; можливість перерозподілу функцій між робочими каналами; автоматичне переналаштування параметрів керування.

Отримані результати свідчать про ефективність запропонованого підходу. Особливо варто відзначити наступні аспекти:

Переваги функціональної стійкості: запропонований підхід дозволяє уникати традиційного апаратного резервування, замінюючи його

інтелектуальним програмним забезпеченням, що зменшує масу, вартість та складність системи.

Гнучкість архітектури: розроблена система може бути адаптована для різних типів повітряних суден – від легких літаків до важких транспортних та військових літаків.

Перспективи впровадження: запропоновані рішення можуть бути реалізовані як у нових розробках, так і при модернізації існуючих авіаційних комплексів.

### **Література:**

1. Синеглазов В.М., Філяшкін М.К. Автоматизовані системи управління повітряних суден: Підручник – К.: НАУ, 2013.
2. Сучасні проблеми розвитку теорії функціонально стійких складних систем управління / О.А. Машков, О.В. Самчишин // Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. пр. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2009.
3. Машков О.А., Кононов О.А., Пекарев Д.В. Методи побудови функціонально стійких складних динамічних систем. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2017. № 3(38).
4. Калашник Г.А., Калашник-Рибалко М.А. Проблеми забезпечення функціональної стійкості комплексу бортового обладнання сучасного повітряного судна. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 3(44). <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.07>.
5. Brown, R. G., & Hwang, P. Y. C. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering with MATLAB Exercises. – John Wiley & Sons, 2012.