

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук,

Владова Сергія Ігоровича

на дисертаційну роботу

Нікітіна Артема Олексійовича

за темою «**Моделі та засоби інтелектуального комп'ютерного синтезу**

систем керування безпілотними літальними апаратами»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 173 Авіоніка

галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Актуальність теми.

Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у різних сферах, включаючи моніторинг навколишнього середовища, точне землеробство, логістику, пошуково-рятувальні операції та військові застосування, вимагає вдосконалення методів ідентифікації математичних моделей динаміки руху та синтезу інтелектуальних систем керування. Традиційні підходи, засновані на лінеаризованих моделях, часто не враховують нелінійності, невизначеності та мультимодальну поведінку БПЛА, особливо в гібридних конфігураціях. Ідентифікація параметрів з експериментальних даних є складним завданням через шум датчиків та змінні умови. У цьому контексті використання методів машинного навчання, нейронних мереж та генетичних алгоритмів є перспективним для автоматизації процесів та підвищення точності. Відсутність інтегрованих програмно-апаратних комплексів з відкритим кодом перешкоджає прогресу в авіоніці. Таким чином, науково-практична проблема вдосконалення методів ідентифікації та синтезу систем керування БПЛА є актуальною та своєчасною.

Тема дисертаційної роботи Нікітіна А.О. пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт за держбюджетною темою «Моделі і методи забезпечення функціональності управління струмом генератора плазми з секціонованими катодними вузлами для нанесення технічного покриття на деталі літальних апаратів» Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (державний реєстраційний номер 0118U00305) та «Алгоритмічне забезпечення інтелектуальних систем керування динамічними об'єктами» (державний реєстраційний номер 0121U111612).

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

В роботі застосовані методи системного аналізу, теорії керування, машинного навчання (генетичні алгоритми, нейронні мережі, нечітка логіка), комп'ютерного моделювання в середовищах Scilab та Xcos. Розробка базується на реальних експериментальних даних з прототипу БПЛА квадрокоптерного типу на базі рами F450. Фізичні пояснення ефектів у динаміці БПЛА адекватні. Математичні моделі та залежності відповідають загальноприйнятим або коректно отримані самостійно. Висновки та рекомендації базуються на

результатах моделювання та експериментів, не виходячи за межі прийнятих припущень. Таким чином, положення, висновки і рекомендації в дисертаційній роботі Нікітіна Артема Олексійовича обґрунтовані з наукового та технічного поглядів.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність теоретичних результатів підтверджується коректністю методів, результатами чисельного моделювання та збігом з загальноприйнятими уявленнями. Підтвердженням є також верифікація моделі на реальних польотних даних з високою кореляцією ($R^2 > 0.84$) та низькими значеннями помилок (MSE, RMSE, NRMSE). Матеріали дисертації впроваджено в навчальний процес кафедри авіоніки та науково-дослідні проекти.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести такі:

1) Набув подальшого розвитку принцип формування нелінійної математичної моделі просторового керованого руху БПЛА, що ґрунтується на поєднанні параметричної ідентифікації динаміки об'єкта керування та інтелектуального синтезу алгоритмів САК. На відміну від існуючих, забезпечує моделювання динаміки БПЛА у широкому діапазоні режимів польоту з урахуванням особливостей функціонування САК, що дозволяє запроваджувати механізм оновлення параметрів об'єкта під час польоту.

2) Удосконалено метод ідентифікації параметрів нелінійної математичної моделі просторового руху БПЛА шляхом використання генетичного алгоритму, що забезпечило можливість параметричної ідентифікації нелінійних моделей за умови наявності необхідних обчислювальних потужностей, що дозволило підвищити точність відтворення динаміки реального об'єкта та створило передумови для побудови високоточних адаптивних систем керування.

3) Удосконалено метод інтелектуального комп'ютерного синтезу систем автоматичного керування БПЛА за рахунок впровадження нейромережових алгоритмів та методів нечіткої логіки для формування законів керування та передавальних чисел САК, що, на відміну від традиційних підходів, дозволило забезпечити адаптивність системи керування, її здатність до самоналаштування при зміні параметрів об'єкта та умов польоту.

4) Набув подальшого розвитку науково-методичний підхід до проектування БПЛА шляхом створення модульного програмно-апаратного комплексу з відкритим кодом для моделювання, ідентифікації та інтелектуального синтезу САК, який, на відміну від існуючих рішень, забезпечує оперативну зміну конструктивних і алгоритмічних параметрів без істотної переробки задля швидкого формування прототипів систем керування, підвищення ефективності експериментальних досліджень та скорочення часу розробки і тестування САК.

Практична цінність отриманих результатів.

1) Розроблено прототип програмно-апаратного комплексу на базі БПЛА квадрокоптерного типу з відкритим вихідним кодом, що забезпечує розширені можливості для проведення інженерних досліджень, налагодження, тестування

та оптимізації систем автоматичного керування у лабораторних та польових умовах;

2) Створено нелінійну математичну модель просторового руху БПЛА, інтегровану в середовище Scilab та Xcos, яка доповнена інтерфейсом користувача для проведення моделювання, візуалізації, аналізу стійкості та оцінювання ефективності алгоритмів керування. Модель може бути використана для проектування САК та виконання навчальних лабораторних робіт;

3) Удосконалено методи ідентифікації та інтелектуального синтезу САК БПЛА, які можуть застосовуватися в науково-дослідних, проектно-конструкторських та виробничих організаціях авіаційного профілю;

4) Набуло подальшого розвитку науково-методичного забезпечення для синтезу та дослідження систем автоматичного керування БПЛА шляхом створення нової структури прототипу програмно-апаратного комплексу. Використання запропонованого комплексу дозволяє суттєво спростити та прискорити робочі процеси проектування БПЛА, зменшити тривалість налаштування законів керування та сукупні витрати на розробку.

Зміст та оформлення дисертаційної роботи.

Дисертація складається з анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 206 сторінок, із них 173 сторінки основного тексту.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення результатів, вказано особистий внесок автора, публікації та апробацію, описано структуру дисертації.

Перший розділ присвячено аналізу стану та проблем розробки систем автоматичного керування БПЛА. Проведено огляд існуючих БПЛА, їх класифікацію та конструктивні особливості. Виявлено недоліки традиційних підходів та необхідність інтелектуальних методів. Сформульовано задачі дослідження.

У другому розділі розроблено математичні моделі БПЛА, включаючи нелінійну модель просторового руху квадрокоптера на базі рівнянь Ейлера-Лагранжа. Описано моделі підсистем (гвинтомоторної групи), з апроксимацією коефіцієнтів. Реалізовано імітаційне моделювання в Scilab + Xcos.

Третій розділ присвячено розробці програмного модуля для дослідження систем керування БПЛА. Сформульовано нефункціональні та функціональні вимоги. Обрано системно-орієнтований підхід. Описано варіанти використання та структуру модуля в Scilab + Xcos, включаючи інтерфейс, генетичний алгоритм та алгоритми керування.

Четвертий розділ містить експериментальну перевірку програмного модуля. Описано прототип на базі рами F450 з контролерами Arduino Due та Nano. Зібрано та оброблено польотні дані. Проведено ідентифікацію параметрів генетичним алгоритмом та верифікацію моделі метриками (MSE, RMSE, кореляція). Результати підтверджують адекватність моделі.

У висновках узагальнено основні результати дисертації.

Додатки містять список публікацій.

На підставі аналізу змісту, з урахуванням повноти та логічності викладення етапів дослідження, можна стверджувати про високий теоретичний та практичний рівень роботи.

Дисертаційна робота гарно оформлена, написана сучасним науковим стилем та відповідає вимогам наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено. Використання в тексті результатів інших вчених супроводжується відповідними посиланнями, посилання на літературні джерела коректні. Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні результати дисертації опубліковано в 13 працях, у тому числі у 3 працях у фахових виданнях, з яких 1 включена до Scopus; 7 тез доповідей на конференції; 3 статті у журналах, з яких 2 включені до наукометричної бази Scopus. Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві, зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 "Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії", затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Зауваження щодо змісту дисертаційної роботи.

1) У розділі 2 не розглянуто можливості використання розширеного фільтра Калмана для ідентифікації параметрів у реальному часі, що могло б покращити адаптивність моделі до змінних умов польоту.

2) З розділу 2 неясно, яким чином структура математичної моделі квадрокоптера, запропонована для дослідження систем керування, може впливати на точність прогнозування поведінки апарату в реальних умовах.

3) З розділу 2 неясно, як апроксимація коефіцієнтів тяги та моменту за допомогою поліномів впливає на точність математичних моделей підсистем БПЛА, зокрема гвинтомоторної групи, в умовах змінного навантаження та аеродинамічних характеристик

4) У розділі 4 для оцінки адекватності моделі використано метрики MSE та RMSE, але не наведено порівняння з альтернативними методами, наприклад, методом найменших квадратів для апроксимації поліномів тяги та моменту.

5) У висновках не уточнено, як запропонована модель враховує структурну гнучкість рами F450, що може впливати на динаміку в реальних умовах.

6) В експериментальній частині не описано заходи для придушення автоколивань під час ідентифікації генетичним алгоритмом, що може

виникнути при нестабільних параметрах.

7) У розділі 3 не вказано, наскільки обраний системно-орієнтований підхід відрізняється від апаратно-орієнтованого в контексті обчислювальних ресурсів мікроконтролерів Arduino.

8) Графічні результати у розділі 4 (наприклад, кореляція сигналів) не містять аналізу чутливості до шумів датчиків, що могло б пояснити розбіжності в каналі ризикання.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку роботи. Дисертація є актуальною, має високу наукову цінність та практичну значущість.

Висновки.

Дисертаційна робота Нікітіна Артема Олексійовича є цілісним, самостійним, завершеним науковим дослідженням, що вирішує важливі науково-прикладні завдання, має теоретичну і практичну цінність у галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації». Актуальність теми дисертації, її обґрунтованість не викликає сумнівів. За своїм змістом, структурою, обсягом та оформленням дисертаційна робота відповідає нормативним вимогам щодо дисертацій. На підставі вищезазначеного можна констатувати, що дисертаційна робота Нікітіна Артема Олексійовича на тему «Моделі та засоби інтелектуального комп'ютерного синтезу систем керування безпілотними літальними апаратами» відповідає «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44. Робота оформлена відповідно до вимог наказу Міністерства освіти та науки України «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» від 12 січня 2017 року № 40, а її автор – Нікітін Артем Олексійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 173 «Авіоніка» в галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації».

Офіційний опонент

доктор технічних наук,
провідний науковий співробітник
відділення організації наукової
роботи відділу організації наукової
діяльності, професор кафедри
протидії кіберзлочинності
Харківський національний
університет внутрішніх справ

Сергій ВЛАДОВ