

## РЕЦЕНЗІЯ

канд. тех. наук, доц. **Крицького Дмитра Миколайовича**  
на дисертаційну роботу **Нікітіна Артема Олексійовича** на тему  
**«Моделі та засоби інтелектуального комп'ютерного синтезу систем  
керування безпілотними літальними апаратами»**, подану на здобуття  
наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка,  
автоматизація та електронні комунікації  
за спеціальністю 173 Авіоніка

Проведена оцінка поданого рукопису дисертації А.О. Нікітіна, а також публікацій за темою роботи дає підстави вважати що здобувач провів ґрунтовний аналіз теми, а сформульовані в роботі висновки, що виносяться на захист, характеризуються достатнім рівнем новизни та обґрунтованості. Оцінюючи дисертаційну роботу в цілому можна зробити висновок, що поставлена мета була досягнута, всі задекларовані завдання вирішені, робота виконана на належному науковому рівні.

**Актуальність теми дослідження.** Тема дисертаційної роботи є безумовно актуальною та відповідає сучасним науково-технічним викликам у галузі авіоніки та автоматизованих систем керування. Стрімке зростання сфер застосування безпілотних літальних апаратів — від цивільних (моніторинг, логістика, інспекція інфраструктури) до військових — зумовлює підвищені вимоги до точності математичного моделювання, адаптивності та надійності систем керування БПЛА.

Особливої значущості дослідження набуває в умовах високої невизначеності зовнішнього середовища, нелінійності динаміки польоту та обмеженого доступу до внутрішніх алгоритмів комерційних платформ. Традиційні методи синтезу та ідентифікації моделей БПЛА часто не забезпечують необхідної точності та універсальності, що обмежує можливості їх практичного застосування. У цьому контексті використання методів машинного навчання, нейромереж, генетичних алгоритмів та нечіткої логіки для інтелектуального синтезу систем керування є своєчасним і науково обґрунтованим.

Таким чином, обрана тема дисертації відповідає пріоритетним напрямкам розвитку сучасної авіоніки, систем автоматичного керування та інтелектуальних технологій і є актуальною з наукової та прикладної точок зору.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.** Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими та логічно впливають із поставленої мети й завдань дослідження. Автором проведено ґрунтовний аналіз сучасного стану проблеми, що підтверджується широким оглядом літературних джерел та існуючих технічних рішень у сфері БПЛА.

Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується: використанням повних нелінійних математичних моделей просторового руху БПЛА; застосуванням сучасних методів параметричної ідентифікації, зокрема

генетичних алгоритмів; поєднанням теоретичних досліджень з комп'ютерним моделюванням у середовищі Scilab + Xcos; експериментальною перевіркою результатів на реальному прототипі квадрокоптера з використанням польотних даних.

Результати ідентифікації та синтезу систем керування верифіковані шляхом порівняння даних імітаційного моделювання з реальними експериментальними вимірюваннями, що підтверджує достовірність висновків та коректність застосованих методів.

Для досягнення поставленої мети було вирішено шість поставлених завдань: 1. Виконати аналіз розробок БПЛА, в яких впроваджувались інтелектуальні моделі та адаптивні алгоритми керування для визначення найбільш перспективних для дослідження рішень. 2. Розробити повну нелінійну математичну модель руху БПЛА. 3. Синтезувати інтелектуальні алгоритми САК БПЛА та розробити методики їх налаштування. 4. Удосконалити алгоритм ідентифікації повної нелінійної математичної моделі БПЛА. 5. Розробити прототип програмно-апаратного комплексу для ідентифікації параметрів та синтезу математичних моделей БПЛА. 6. Дослідити можливості прототипу програмно-апаратного комплексу по ідентифікації параметрів об'єктів керування та синтезу системи керування БПЛА.

Вирішення вказаних завдань підтверджується як загальними висновками, так і висновками до окремих розділів дисертації.

**Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій.** Дисертаційна робота містить низку науково нових результатів, які мають істотне значення для розвитку теорії та практики систем керування БПЛА.

Наукова новизна полягає у:

подальшому розвитку принципу формування повної нелінійної математичної моделі просторового руху БПЛА з урахуванням функціонування системи автоматичного керування та можливості оновлення параметрів під час польоту;

удосконаленні методу ідентифікації параметрів нелінійних моделей БПЛА на основі генетичних алгоритмів, що підвищує точність відтворення динаміки реального об'єкта;

розвитку методів інтелектуального комп'ютерного синтезу систем керування шляхом інтеграції нейромережових та нечітких алгоритмів, які забезпечують адаптивність і самоналаштування;

створенні модульного програмно-апаратного комплексу з відкритим кодом, що відрізняється універсальністю та масштабованістю для різних типів БПЛА.

Зазначені положення є оригінальними, не дублюють відомі результати інших авторів та підтверджують особистий внесок здобувача.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичне значення дисертаційної роботи є суттєвим і полягає в можливості безпосереднього використання отриманих результатів у науково-дослідній, проектно-конструкторській та освітній діяльності.

Розроблений прототип програмно-апаратного комплексу дозволяє:

– скоротити час і вартість проєктування та налаштування систем керування БПЛА;

– проводити експериментальні дослідження та ідентифікацію моделей на основі реальних польотних даних;

– адаптувати алгоритми керування до різних конфігурацій БПЛА без суттєвої переробки програмного забезпечення.

Нелінійна математична модель, реалізована в середовищі Scilab + Xcos, може використовуватися як у прикладних дослідженнях, так і в навчальному процесі для підготовки фахівців з авіоніки та автоматизації. Практичну цінність роботи підтверджують акти впровадження та публікації результатів у фахових і міжнародних наукових виданнях.

#### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. У роботі достатньо повно представлено результати ідентифікації та синтезу систем керування БПЛА із застосуванням інтелектуальних методів. Разом з тим, у дисертації доцільно було б більш детально подати порівняльний аналіз запропонованих підходів з класичними методами керування (PID, LQR, MPC) за єдиними кількісними показниками якості, що дозволило б ще наочніше продемонструвати переваги інтелектуального синтезу.

2. У роботі експериментальні дослідження виконано переважно на прикладі квадрокоптера. Водночас представляє інтерес питання масштабованості запропонованих моделей і алгоритмів для інших класів БПЛА (літаки, конвертоплани, гібридні схеми), що могло б бути додатково окреслено у вигляді напрямів подальших досліджень.

3. Запропоновані інтелектуальні алгоритми синтезу та ідентифікації демонструють високу ефективність. Разом з тим, у дисертації обмежено висвітлено питання обчислювальної складності та вимог до апаратних ресурсів, особливо в контексті реалізації на бортових обчислювальних засобах з обмеженими ресурсами.

4. У роботі наведено результати моделювання та експериментальних досліджень в умовах реального польоту. Водночас доцільним було б більш детально проаналізувати вплив зовнішніх завад, шумів вимірювань та часткових відмов сенсорів на роботу синтезованих систем керування.

5. У тексті дисертації трапляються окремі повтори формулювань та незначні стилістичні неточності (сторінки 21, 27, 42, 43, 44, 45, 67, 72, 74, 77, 81, 84, 102, 109, 128, 150, 161), які, однак, не впливають на зміст і наукову цінність роботи та можуть бути усунуті в подальшому.

Зазначені зауваження носять рекомендаційний та дискусійний характер і не знижують загальної високої оцінки дисертаційної роботи.

#### **Загальний висновок.**

Дисертаційна робота Нікітіна Артема Олексійовича на тему «**Моделі та засоби інтелектуального комп'ютерного синтезу систем керування безпілотними літальними апаратами**» є завершеним, самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальну науково-прикладну проблему

удосконалення методів ідентифікації та інтелектуального синтезу систем керування безпілотними літальними апаратами.

Зміст дисертації відповідає вимогам до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 173 «Авіоніка», а отримані результати мають наукову новизну, теоретичну та практичну цінність. За своєю актуальністю, ступенем наукової новизни, рівнем теоретичного й практичного значення робота повністю відповідає паспорту спеціальності 173 – Авіоніка та може бути рекомендована до захисту.

**Декан факультету літакобудування  
Національного аерокосмічного університету  
“Харківський авіаційний інститут”,  
кандидат технічних наук, доцент**

**Дмитро КРИЦЬКИЙ**