

## РЕЦЕНЗІЯ

**рецензента, к.т.н., с.н.с. КЛЮШНІКОВА Ігоря Миколайовича**  
на дисертаційну роботу **НІКІТИНА Артема Олексійовича**  
«Моделі та засоби інтелектуального комп'ютерного синтезу систем керування  
безпілотними літальними апаратами»,  
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
в галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації  
за спеціальністю 173 Авіоніка

### **1. Актуальність теми дослідження**

Розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та розширення сфер їх практичного застосування зумовлюють необхідність створення високоефективних, адаптивних та інтелектуальних систем автоматичного керування. Сучасні БПЛА функціонують в умовах невизначеностей, нелінійностей та обмежень бортових ресурсів, що ускладнює застосування класичних методів синтезу систем керування. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають методи ідентифікації математичних моделей динаміки руху та інтелектуального комп'ютерного синтезу законів керування із застосуванням методів машинного навчання. Тому тема дисертаційної роботи Нікітіна А.О., яка спрямована на розв'язання важливої науково-практичної задачі підвищення ефективності проєктування та налаштування систем керування БПЛА є актуальною та відповідає сучасним науково-технічним тенденціям розвитку авіоніки.

### **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідної теми «Розробка інтелектуальних систем керування безпілотними літальними апаратами» Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (державна реєстрація № 0120U102548). Отримані результати використовуються у навчальному процесі та в науково-дослідних роботах кафедри.

### **3. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій**

Дисертаційна робота Нікітіна А. О. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет і завдання дослідження, наведено методи дослідження та основні наукові результати.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану розроблення БПЛА як об'єктів керування, розглянуто підходи до побудови математичних моделей та систем автоматичного керування та визначено завдання дисертаційного дослідження.

Другий розділ присвячено розробленню повної нелінійної математичної моделі просторового руху БПЛА на базі рівнянь Ейлера-Лагранжа, та моделей підсистем БПЛА з апроксимацією коефіцієнтів тяги та моменту за допомогою поліномів. Продемонстровано інтеграцію апаратної частини на базі Arduino Due та Nano з програмними реалізаціями розроблених моделей.

У третьому розділі розроблено прототип програмно-апаратного комплексу для ідентифікації об'єктів керування та синтезу систем керування, в якому використано комплексні моделі руху, алгоритми машинного навчання та нейронні мережі.

У четвертому розділі представлено результати експериментального дослідження розробленої моделі БПЛА з використанням розробленого програмно-апаратного комплексу.

Висновки визначено сумарну оцінку результатів дослідження, їх значимість і практичну застосовність. Висновки є логічно обґрунтованими та відповідають поставленим завданням.

Список використаних джерел містить достатньою для предмету досліджень кількість сучасних наукових праць вітчизняних та закордонних науковців, та пов'язаний з завданнями, які вирішуються в дисертаційній роботі.

У додатку А представлено список публікацій здобувача, а у додатку Б – акти впровадження результатів наукових досліджень.

#### **4. Наукова новизна одержаних результатів**

До найбільш суттєвих доробок дисертанта, що характеризуються науковою новизною, можна віднести наступні:

1) дістав подальшого розвитку принцип формування повної нелінійної математичної моделі просторового керованого руху безпілотного літального апарату (БПЛА), що ґрунтується на поєднанні параметричної ідентифікації динаміки об'єкта керування та інтелектуального синтезу алгоритмів системи автоматичного керування (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 повної 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) дістав подальшого розвитку науково-методичний підхід до проєктування 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.

#### **5. Достовірність отриманих результатів**

Достовірність отриманих наукових результатів підтверджується коректним застосуванням загальновідомих методів досліджень, зокрема методів системного аналізу, математичного моделювання і заздалегідь розробленою схемою проведення досліджень, і їх рецензуванням у наукових публікаціях в періодичних виданнях та виступах на наукових конференціях, що містять наукові результати дисертанта, а також збігом результатів математичного та імітаційного комп'ютерного моделювання.

## **6. Практична цінність отриманих результатів**

Практична цінність результатів дисертаційної роботи Нікітіна А. О. полягає у тому, що розроблено прототип програмно-апаратного комплексу для ідентифікації параметрів та синтезу математичних моделей БПЛА, який забезпечує проведення експериментів у реальному часі, та можливості використання розроблених моделей, методів та програмно-апаратних засобів у науково-дослідних, проектно-конструкторських роботах та навчальному процесі.

## **7. Оформлення роботи та академічна доброчесність**

За своїм змістом дисертаційна робота Нікітіна А. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 173 Авіоніка третього освітньо-наукового рівня та наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Дисертаційна робота являє собою одноособово написану кваліфікаційну наукову працю, яка містить сукупність результатів та наукових положень, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора у науку.

Дисертація виконана з дотриманням вимог академічної доброчесності, використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело у переліку джерел.

Наукові результати дисертації висвітлено у 3 наукових статтях серед яких: 2 статті у науковому виданні України категорії Б (у різних номерах) за спеціальністю 173 Авіоніка, одна з яких з чотирма, друга з трьома співавторами (разом із здобувачем), 1 публікація у закордонному періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus та віднесеному до третього квартилю Окрім цього, автор має: 3 публікації матеріалів міжнародних наукових конференцій в колективних монографіях, опублікованих у закордонних виданнях мовами країн ЄС, які проіндексовані у базі даних Scopus, 1 публікацію апробаційного характеру у матеріалах закордонної міжнародної науково-практичної конференції, 6 публікацій апробаційного характеру у матеріалах національних міжнародних науково-практичних конференцій.

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

Слід звернути увагу автора на наступні зауваження:

1) доцільно було розширити експериментальну частину шляхом демонстрації результатів застосування запропонованих методів, алгоритмів та програмно-апаратного комплексу для інших типів БПЛА (наприклад, літакового типу), що дозволило б підтвердити можливість застосування отриманих результатів для інших типів БПЛА;

2) у роботі детально розглянуто питання ідентифікації та синтезу систем керування, однак для розроблених алгоритмів, деякі з яких є доволі ресурсоємними, доцільно було б провести кількісну оцінку їх обчислювальної складності та вимог до обчислювальних ресурсів;

3) результати машинного навчання та інтелектуального синтезу систем керування доцільно було б супроводити розширеним аналізом чутливості до зашумлених експериментальних даних та зміни параметрів середовища експлуатації;

4) в роботі присутні окремі неточності в оформленні.

Зазначені недоліки та зауваження не зменшують наукової цінності дисертаційного дослідження та практичну значущість одержаних результатів.

## **9. Висновок про дисертаційну роботу**

Дисертаційна робота Нікітіна Артема Олексійовича на тему «Моделі та засоби інтелектуального комп'ютерного синтезу систем керування безпілотними літальними апаратами» є завершеним науковим дослідженням, що не порушує принципів академічної доброчесності і за сукупністю теоретичних і практичних результатів розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для спеціальності 173 Авіоніка.

Враховуючи актуальність теми, отримані результати, повноту їх опублікування та певну практичну значущість роботи вважаю, що дисертаційна робота Нікітіна Артема Олексійовича на тему «Моделі та засоби інтелектуального комп'ютерного синтезу систем керування безпілотними літальними апаратами» відповідає вимогам пунктів 6-9 «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 № 44 від 12 січня 2022 р, а здобувач НІКІТІН Артем Олексійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації за спеціальністю 173 Авіоніка.

Рецензент:

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки  
Національного аерокосмічного університету  
«Харківський авіаційний інститут»

Ігор КЛЮШНІКОВ

"27" січня 2026 року