

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації *Нікітіна Артема Олексійовича* на тему «Моделі та засоби інтелектуального комп'ютерного синтезу систем керування безпілотними літальними апаратами», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації за спеціальністю 173 Авіоніка

На засіданні кафедри мехатроніки та електротехніки (305) за участі:

Тріща Романа Михайловича, д.т.н., професора, завідувача кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Литвяка Олександра Миколайовича, д.т.н., професора, професора кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Говорова Пилипа Парамоновича, д.т.н., професора, професора кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Бурдейної Вікторії Михайлівни, к.т.н., доцента, доцента кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Кочука Сергія Борисовича, к.т.н., доцента, доцента кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Немшилова Юрія Олександровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Лутай Людмили Миколаївни, к.т.н., доцента, доцента кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Савченко Наталії Панасівни, к.т.н., доцента, доцента кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Черняк Олени Миколаївни, к.т.н., доцента, доцента кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Ковальова Віктора Миколайовича, к.т.н., доцента, доцента кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Плахтія Олександра Андрійовича, к.т.н., доцента, доцента кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Солов'я Івана Михайловича, к.т.н., доцента, доцента кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Хом'яка Едуарда Анатолійовича, PhD, старшого викладача, старшого викладача кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Агаркової Світлани Анатоліївни, старшого викладача, старшого викладача кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Кислого Анатолія Григоровича, старшого викладача, старшого викладача кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Бояркіна Андрія Олександровича, старшого викладача, старшого викладача кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Косиченко Ольги Миколаївни, старшого викладача, старшого викладача кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;

Жежери Івана Володимировича, к.т.н., старшого викладача, старшого викладача кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Нікітіна Артема Олексійовича, асистента, асистента кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Рибальченко Тетяни Павлівни, асистентки, асистентки кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Єсманського Миколи Вікторовича, завідуючого лабораторією, завідуючого лабораторією кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Котляр Наталії Василівни, завідуючої лабораторією, завідуючої лабораторією кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Шевченко Тетяни Олександрівни, інженера першої категорії, інженера першої категорії кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Рижикова Сергія Костянтиновича, старшого лаборанта, старшого лаборанта кафедри мехатроніки та електротехніки «ХАІ»;
Кошового Миколи Дмитровича, д.т.н., професора, професора кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості «ХАІ»;
Чухрая Андрія Григоровича, д.т.н., професора, професора кафедри інженерії програмного забезпечення «ХАІ»;
Ларькова С. М., к.т.н., начальника відділу наукових досліджень та інновацій з Державного космічного агентства України;
Маренича С. Ю., к.т.н., доцента п-к, зам. командира бригади з безпілотних систем Збройних Сил України;
Зеновича О. Є., к.т.н., доцента, доцента кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів ХНУПС;
Рафаеля Трухільйо Торреса, інженера, інженера вбудованого програмного забезпечення фірми Hydra Technologies, Халіско, Мексика.

відбулася публічна презентація дисертаційної роботи *Нікітіна Артема Олексійовича* на тему **«Моделі та засоби інтелектуального комп'ютерного синтезу систем керування безпілотними літальними апаратами»**.

На підставі обговорення змісту презентації дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (результати голосування – одноголосно).

1. Актуальність теми дослідження

Безпілотні літальні апарати сьогодні широко застосовуються у цивільних і військових сферах, а в умовах війни стали важливою складовою бойових систем Збройних Сил України. Ефективність їхнього проектування та експлуатації значною мірою залежить від точності математичних моделей просторової динаміки та алгоритмів стабілізації в умовах невизначеності.

Традиційні лінеаризовані моделі не враховують нелінійність, невизначеність і мультимодальність руху сучасних БПЛА. Ідентифікація параметрів за даними реальних польотів ускладнюється шумами датчиків, конструктивною гнучкістю та змінним корисним навантаженням. Водночас створення ефективних систем керування — від класичних ПД-регуляторів до

інтелектуальних алгоритмів — потребує забезпечення стійкості до збурень та можливості масштабування під різні конфігурації апаратів.

Відсутність модульності в існуючих методологіях та обмежений доступ до програмного забезпечення комерційних платформ перешкоджають адаптації моделей під конкретні конструкції та ускладнюють експериментальну перевірку. Зростання складності задач керування — маневрування на великих кутах атаки, робота в турбулентних потоках — збільшує потребу в інтелектуальних підходах, таких як нейронні мережі, генетичні алгоритми та нечітка логіка.

Тому розроблення комплексної нелінійної моделі, удосконалених методів ідентифікації та прототипу програмно-апаратного комплексу з елементами штучного інтелекту є актуальною науковою задачею, що має важливе практичне значення для авіоніки та підвищення безпеки й ефективності використання БПЛА.

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

Результати наукових досліджень, які були отримані в ході дисертаційної роботи, використовувались в наступних НДР кафедри:

1. Моделі і методи забезпечення функціональностікого управління струмом генератора плазми з секціонованими катодними вузлами для нанесення технічного покриття на деталі літальних апаратів. № Д/Р-0118U00305 (початок — 1.01.2018 р., закінчення — 31.12.2020 р.

2. Алгоритмічне забезпечення інтелектуальних систем керування динамічними об'єктами. № Д/Р- 0121U11612 (початок — 1.01.2021 р., закінчення — 31.12.2023 р.).

3. Наукова новизна отриманих результатів

1. Набув 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 нейромережевих 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 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. Така архітектура дозволяє швидко формувати прототипи систем керування, підвищує ефективність експериментальних досліджень та скорочує час розробки і тестування САК.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи

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

3. Удосконалені методи ідентифікації та інтелектуального синтезу САК БПЛА можуть застосовуватися в науково-дослідних, проєктно-конструкторських та виробничих організаціях авіаційного профілю.

4. Набуло подальшого розвитку науково-методичне забезпечення для синтезу та дослідження систем автоматичного керування БПЛА шляхом створення нової структури прототипу програмно-апаратного комплексу.

5. Апробація/використання результатів дисертації

Основні результати роботи представлені на конференціях:

1. Методи ідентифікації малогабаритних безпілотних літальних апаратів [Текст] / А. О. Нікітін, Т.Т. Топпес The XVII International Scientific and Practical Conference «Multidisciplinary academic notes. Theory, methodology and practice»: Тези доп. – Tokyo, 2022. – С.1081-1083. DOI – 10.46299/ISG.2022.1.17.

2. Reliability of drone delivery mission for VTOL concept [Текст] / Nikitin A.O., Rafael Trujillo Torres XXXI Міжнародна науково-практична конференція “Trends in the development of modern scientific”: Тези доп. DOI: 10.46299/ISG.2021.1.XXXI .

3. PARAMETER IDENTIFICATION VERTIGO [Текст] / Nikitin A.O., Rafael Trujillo Torres XXXI Міжнародна науково-практична конференція "Trends in the development of modern scientific": Тези доп. DOI: 10.46299/ISG.2021.I.XXXI

4. Застосування нейромережових алгоритмів у задачах ідентифікації та моделювання систем автоматичного керування безпілотних літальних апаратів, С. Б. Кочук, А. О. Нікітін Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: Тези XIV Міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 15-16 грудня 2020 р.). – Д.: ДІТ, 2020. – С. 93. УДК 658.512.2:681.3.06.

5. Р.М. Тріщ, О.В. Заболотний, Е.А. Хом'як, А. О. Нікітін. Моделювання оптимального процесу обслуговування авіаційної техніки з використанням декомпозиції компонентної архітектури складного виробу. Тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці», ЧДТУ, 2024. С 47 – 49. УДК 004:37:001:62.

6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ / С.Б. Кочук, А.О. Нікітін // Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: [матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, Харків - 14-15 березня 2023 року] / за заг. ред. д.т.н., проф. Р. М. Тріща, к.т.н., доц. Г. С. Грінченко. Українська інженерно-педагогічна академія. Харків: УІПА, 2023. - С. 86-87.

7. МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ПОЛЬОТУ БПЛА / С.Б. Кочук, А.О. Нікітін // Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: [матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, Харків - 14-15 березня 2023 року] / за заг. ред. д.т.н., проф. Р. М. Тріща, к.т.н., доц. Г. С. Грінченко. Українська інженерно-педагогічна академія. Харків: УІПА, 2023. - С. 96-97.

Наукові досягнення та результати досліджень також впроваджені в навчальному процесі Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут». Математичні моделі БПЛА, скрипти програм для роботи з контролерами типу Arduino, скрипти програм для роботи з нейромережовими алгоритмами, методики ідентифікації параметрів моделей та синтезу інтелектуальних систем керування БПЛА застосовується при проведенні лекційних, практичних та лабораторних занять за освітньо-професійними програмами кафедри мехатроніки та електротехніки (АКТ впровадження додається).

Матеріали досліджень також вийшли в навчальний посібник до лабораторного практикуму «Ідентифікація об'єктів автоматизації» (лаборатор-

ні роботи 4 та 6), навчальний посібник «Проектування малогабаритних безпілотних літальних апаратів», де Нікітін А. О. був співавтором.

Розроблений прототип програмно-апаратного комплексу з відкритою архітектурою впроваджений в ТОВ НВК «СКАЙ АССИСТ» для створення демонстраційних зразків БПЛА нових типів, тестування бортових систем, налаштування систем навігації та керування (АКТ впровадження додається).

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація А.О. Нікітіна є оригінальною роботою, виконана здобувачем самостійно й доброчесно, текст рукопису дисертаційної роботи на містить ознак академічного шахрайства. Роботу передано експерту для проведення науково-технічної експертизи щодо збігів з Internet-джерелами, про що буде надано відповідний звіт.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 6 наукових публікацій, у тому числі:

- дві статті в наукових фахових виданнях України за спеціальністю;
- дві статті у матеріалах міжнародних наукових конференцій, опубліковані в наукових виданнях, що індексуються в базі Scopus;
- одна стаття в закордонному науковому виданні, проіндексованому в базах Scopus та Web of Science;
- одна стаття у матеріалах міжнародної наукової конференції, опублікована у збірнику наукових праць;
- сім тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Стаття в закордонному науковому виданні, яке проіндексоване в базах Scopus та Web of Science:

Kochuk, Sergii & PANDA, ANTON & Trishch, Roman & Nikitin, Artem & Torres, Rafael. (2025). APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM FOR MODELING AND IDENTIFICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE MOTION. MM Science Journal. 2025. 10.17973/MMSJ.2025_09_2025040. DOI : 10.17973/MMSJ.2025_09_2025040.

Здобувачами виконано ідентифікацію математичної моделі руху безпілотного літального апарата на основі експериментальних даних, отриманих під час поздовжнього польоту без зворотного зв'язку та регуляторів. Проведено порівняльний аналіз точності ідентифікації параметрів моделей, що підтвердив перспективність використання генетичних алгоритмів для задач адаптивного керування та ідентифікації.

Статті в наукових виданнях України, затверджених як фахові за спеціальністю 173:

Kochuk, S., Nguyen Dinh Dond, Nikitin, A., Rafael Trujillo Torres (2021). Identification of UAV model parameters from flight and computer experiment data.

У статті виконано ідентифікацію параметрів математичної моделі безпілотного літального апарата на основі поєднання реальних польотних даних та результатів комп'ютерного моделювання. Проведена апробація моделі показала зменшення похибки ідентифікації та підвищення точності відображення реальних аеродинамічних властивостей БПЛА, що робить модель придатною для подальшого застосування у системах управління та дослідженнях динаміки польоту.

Kochuk, S., Rafael Trujillo Torres, Nikitin, A. (2025). Requirements Analysis for VTOL Fixed-Wing UAVs in Photogrammetric Applications. *Open Information and Computer Integrated Technologies*, № 105, pp. 58-76.
<https://doi.org/10.32620/oikit.2025.105.06>.

У статті проаналізовано вимоги до VTOL-БПЛА для фотограмметрії, визначено ключові критерії конструкції, аеродинаміки, силової установки та систем управління, що впливають на стабільність, керованість, точність позиціонування та якість збору аерофотознімків, і запропоновано основу для проєктування ефективних платформ із високою точністю фотограмметричних вимірювань.

Стаття у матеріалах міжнародної наукової конференції, опублікована у збірнику наукових праць:

Nikitin, A., Kochuk, S., Firsov, S. (2020). Algorithmic Support of the System of Automatic Control of Longitudinal Movement of the Small Unmanned Aerial Vehicle Vertigo. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1113. Springer, Cham. PP. 86-97.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_8.

Здобувачем розроблено алгоритмічну підтримку системи автоматичного керування поздовжнім рухом БПЛА типу «Vertigo» на основі побудованої лінійної моделі короткоперіодичного руху. Виконано аналіз динаміки об'єкта та отримано перехідні характеристики системи. Проведене моделювання підтвердило ефективність застосування нечіткої логіки й нейромереж для підвищення точності, швидкодії та стабільності систем автоматичного керування БПЛА.

Статті у матеріалах міжнародних наукових конференцій, опубліковані в наукових виданнях, що індексуються в базі Scopus:

[1] Fedorovich, O., Lutai, L., Trishch, R., Zabolotnyi, O., Khomiak, E., Nikitin, A. Models for Reducing the Duration and Cost of the Aviation Equipment Diagnostics Process Using the Decomposition of the Component Architecture of a Complex Product. In: Faure, E., et al. *Information Technology for Education*,

Science, and Technics. ITEST 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, Springer, Cham, 2024, vol. 221. pp. 108-125. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_9.

Здобувачем виконано моделювання процесу діагностики авіаційної техніки із застосуванням багаторівневої компонентної моделі, що базується на декомпозиції архітектури складного виробу на функціональні підсистеми й компоненти. Розроблено симуляційну модель технічного обслуговування, яка включає модулі діагностики, локалізації відмов, накопичення та обробки діагностичної інформації. Апробація моделі показала, що її застосування дозволяє скоротити тривалість діагностики та знизити витрати на експлуатацію, підвищуючи ефективність обслуговування складної авіаційної техніки.

[2] Kochuk, S., Trishch, R., Nikitin, A., Zhezhera, I., Cherniak, O., Khomiak, E. Algorithmic provision of contours guidance of unmanned systems. In: Lytvynov, O., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2024. ICTM 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1473. Synergetic Engineering, vol 1, 2025, Springer, pp 16-25. https://doi.org/10.1007/978-3-031-94845-9_2.

У роботі проведено дослідження алгоритмічних підходів до організації контурів наведення безпілотних систем. Розроблені алгоритми впроваджено в моделі безпілотних платформ, виконано їх апробацію. Результати показали високу точність наведення, низькі відхилення за курсом і висотою, а також стабільність системи, що підтверджує можливість практичного застосування для патрулюючих та розвідувальних безпілотників, а також автономних БПЛА, які виконують місії з високою точністю маршруту.

8. Висновок наукового керівника

Виконання індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною науково-освітньою програмою та написання дисертації Нікітіним Артемом Олексійовичем вважаю успішним. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження, завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну. Вона виконана на високому науковому рівні та відповідає всім установленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, й може бути рекомендована до захисту, а її автор Нікітін Артем Олексійович – до присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 173 Авіоніка.

Отже, вважаємо, що дисертаційна робота Нікітіна Артема Олексійовича на тему «Моделі та засоби інтелектуального комп'ютерного синтезу систем керування безпілотними літальними апаратами», представлена на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Порядку присудження

наукового ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44). Відтак, вона може бути представлена до захисту в разовій спеціалізованій раді для присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації за спеціальністю 173 Авіоніка.

Головуючий на засіданні
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри мехатроніки та електротехніки
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»



Роман ТРИЩ