

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Бондаренко Олексія Васильовича  
на тему «Формування бортових самоналаштовувальних динамічних моделей  
газотурбінних двигунів для визначення невимірюваних параметрів робочого  
процесу», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування  
в галузі знань 14 – Електрична інженерія

### 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Забезпечення безаварійного та ефективного функціонування літаків в сучасних важких умовах являється пріоритетним завданням для обороноздатності України. Важливою складовою функціональною частиною літака кожного класу є двигун, зокрема газотурбінний, від функціонування якого суттєво залежить виконання польотної місії.

На працездатність газотурбінного двигуна в польоті впливають безліч збурюючих впливів, що суттєво знижують ефективність його функціонування. Зниження працездатності газотурбінного двигуна можливо відстежувати в реальному часі за допомогою самоналаштовувальних математичних моделей, які реалізовані у складі програмного забезпечення бортового обчислювального пристрою. Використовуючи поточні значення коефіцієнтів моделей можливо обчислити невимірювані параметри робочого процесу, які необхідні для формування ефективних алгоритмів керування тягою та зменшення витрат палива.

Сучасні теоретичні моделі та методи дозволяють вирішити таке завдання взагалі. При конкретному вирішенні завдання проектування процедур знаходження невимірюваних параметрів робочого процесу за допомогою самоналаштовувальних динамічних моделей з'являються нові теоретичні та практичні завдання пов'язані з забезпеченням потрібної точності оцінок невимірюваних параметрів.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню таких нових завдань, потрібних для подальшого розвитку теорії самоналаштовувальних динамічних моделей та для продуктивного впровадження в практику проектування систем автоматичного керування газотурбінними двигунами.

Таким чином, тема дослідження є актуальною, а мета та задачі роботи сформульовано відповідно до теми дисертації.

## 2. ОЦІНКА ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ, ЇХ ДОСТОВІРНОСТІ ТА НОВИЗНИ

В результаті проведених досліджень здобувачу вдалося отримати системну сукупність наукових результатів, а саме:

- 1) аналітичні співвідношення для похибок оцінок параметрів лінійних динамічних моделей в залежності від похибок вимірювання та тестових керуючих впливів;
- 2) аналітичні формули, які пов'язують похибки оцінок невимірюваних параметрів газотурбінних двигунів з похибками вимірювання та оцінок параметрів лінійної моделі для перехідного та сталого режимів функціонування об'єкта автоматичного керування;
- 3) концепцію та засоби проектування бортової самоналаштовувальної математичної моделі авіаційного газотурбінного двигуна як об'єкта автоматичного керування.

Ці наукові результати обґрунтовано представлені і ретельно порівняні відносно існуючих при вирішенні аналогічних задач, тому оцінка обґрунтованості наукових результатів позитивна.

Достовірність наукових результатів підтверджена як акуратним використанням аналітичних засобів, так і адекватними результатами обчислювальних експериментів.

Перший науковий результат є новим, так як уперше запропоновані аналітичні співвідношення, які відрізняються від існуючих врахуванням нових конкретних обставин пов'язаних з характером перехідних процесів в об'єкті автоматичного керування.

Другий науковий результат є також новим, тому що запропоновані нові формули, які відрізняються від існуючих суттєвим розширенням факторів від яких залежить кінцева похибка оцінок невимірюваних параметрів робочого процесу газотурбінних двигунів.

Третій науковий результат пов'язаний з подальшим розвитком концепції та засобів проектування бортової самоналаштовувальної математичної моделі за рахунок впровадження формульних похибок оцінок параметрів в залежності від урахування похибок бортового вимірювання параметрів робочого процесу та похибок параметричної ідентифікації.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, а здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### 3. ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Результати дисертаційної роботи утворюють методичну основу для етапу ескізного проектування високоякісних адаптивних систем автоматичного керування газотурбінними двигунами за рахунок використання похибок реальних датчиків виміру параметрів робочого процесу в процедурах поточної ідентифікації параметрів недоступних виміру.

Результати дисертаційної роботи були використані в рамках виконання держбюджетної теми «Формування технологій створення адаптивних систем керування ГТД пасажирських і транспортних літаків» (ДР № 0119U100942), а також при виконанні госпдоговірних робіт: №203-25/2021 «Розробка комплексу динамічних моделей двигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В 1 серії», замовник АТ «МОТОР СІЧ», а також №203-10/2020 «Розробка комплексу динамічних математичних моделей двигуна АІ-322» та №203-18/2020 «Модернізація та підтримка комплексу динамічних математичних моделей двигуна АІ-322», замовник яких було АТ «ФЕД».

Практичну цінність результатів роботи підтверджено актами використання в діяльності АТ «МОТОР СІЧ» та АТ «ФЕД» та застосуванням отриманих результатів в учбовий процес Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» в навчальні дисципліни «Системи автоматичного керування авіаційних двигунів і енергетичних установок», «Моделювання та розрахунок процесів в авіаційній та ракетно-космічній техніці» та «Методи аналізу та синтезу систем керування та діагностування об'єктів енергетичного машинобудування».

### 4. ОФОРМЛЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ, ДОТРИМАННЯ ВИМОГ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ ТА ПОВНОТА ВИКЛАДУ РЕЗУЛЬТАТІВ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

Дисертаційна робота (загальним обсягом 197 сторінок) містить анотації українською та англійською мовами, вступ, п'ять розділів, список використаних джерел до кожного розділу, висновки та додатки.

Слід зазначити, що висновки за розділами сформульовані не як анотації, а як наукові положення, що дозволяють оцінити особистий внесок автора, ступінь новизни та значимість отриманих результатів.

Ознайомившись з дисертаційною роботою та науковими працями здобувача, можу зробити висновок щодо наявності повноти публікацій наукових результатів у регламентованих виданнях. Основні результати дисертації опубліковано в 14 працях, у тому числі в 8 статтях, 7 з яких – у виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України, та 1 стаття – у

закордонному фаховому виданні У вступі до дисертаційної роботи здобувач надав детальний опис особистого внеску у публікаціях, що написані у співавторстві. Наукові і практичні результати дисертації достатньо апробовані на 6 міжнародних науково-практичних конференціях.

В тексті дисертаційної роботи та публікаціях автора відсутні порушення академічної доброчесності, що підтверджується довідкою про перевірку роботи. Аналіз внеску здобувача у публікаціях стосовно дисертації свідчить про повноту та самостійність отриманих результатів.

## 5. ЗАУВАЖЕННЯ ТА НЕДОЛІКИ ЩОДО ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Відсутність оцінок потенційної точності параметричної ідентифікації параметрів робочого процесу ГТД на недоступних виміру ускладнює розуміння доцільності використання лінеаризованих математичних моделей.

2. Незрозуміло навіщо в диференційних рівняннях 1.3, 1.4, 2.21, 2.23, 2.9 та інших використовуються разом змінна та її відхилення від робочої точки.

3. На рис.2.5 наведена структурна схема програмного комплексу, опис якого відсутній і далі він не згадується. Це розробка здобувача чи кафедри? Яку роль цей програмний комплекс відіграв у дисертаційному дослідженні?

4. При верифікації математичних моделей які використовує здобувач у своєму дослідженні немає аргументації щодо використання результатів стендових натурних експериментів, а не польотних.

5. Результати верифікації представлені тільки в якісному графічному вигляді, а не в кількісному для всього інтервалу експерименту.

6. Для характеристики різноманітних графічних схем, які приведені в дисертації, використовується в дуже широкому розумінні прикметник **структурна**.

7. При вирішенні задач параметричної ідентифікації ГТД використовується складна процедура, яка потребує значної пам'яті та часу бортового обчислювача.

Вказані зауваження та недоліки не знижують вагомості отриманих в дисертаційній роботі результатів. Робота насичена достатньою кількістю як теоретичних викладок, так і результатами експериментів та кількісними оцінками, які підтверджують ефективність запропонованих аналітичних співвідношень для похибок оцінок параметричної ідентифікації газотурбінних двигунів.

## 6. ВИСНОВКИ

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеню доктора філософії Бондаренко Олексія Васильовича «Формування бортових самоналаштовувальних динамічних моделей газотурбінних двигунів для визначення невимірюваних параметрів робочого процесу» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, в якому розглядається наукове завдання з вирішення актуальної проблеми підвищення якості та ефективності функціонування системи автоматичного керування газотурбінним двигуном шляхом розробки математичного забезпечення процедур параметричної ідентифікації в польоті невимірюваних параметрів робочого процесу, що має істотне значення для галузі знань 14 – Електрична інженерія.

Вважаю, що за актуальністю обраної теми, обґрунтованістю наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни, практичної цінності, повнотою викладання в наукових публікаціях та відсутністю порушень академічної доброчесності дисертаційна робота відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 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 від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Бондаренко Олексій Васильович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 – Електрична інженерія за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування

Доктор. техн. наук, професор,  
професор кафедри систем управління  
літальними апаратами,  
Лауреат Державної премії України  
в галузі науки та техніки

Анатолій КУЛІК