

РЕЦЕНЗІЯ

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

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначення невимірюваних параметрів робочого процесу газотурбінних двигунів є надзвичайно важливою задачею про що свідчить велика кількість робіт у цьому напрямку. Огляд цих робіт докладно наведено у дисертації. Вирішення цієї задачі потребує використання математичних моделей ГТД.

Проблемність пов'язана з тим, що параметри ГТД залежать від багатьох факторів: умов польоту, схеми, розрахункових параметрів та режиму роботи ГТД, індивідуальних особливостей ГТД та зміни його геометрії у процесі експлуатації. Це призводить до зміни статичних та динамічних параметрів математичної моделі ГТД. Крім цього, визначення параметрів математичної моделі ГТД залежить від кількості вимірюваних параметрів, точності та періодичності вимірювань.

Складність проблеми викликає наявність багатьох підходів до її вирішення. Особливі вимоги накладає умова використання цих моделей у складі бортової системи літального апарату. В першу чергу, це швидкодійність алгоритмів, яка забезпечується відповідним обранням моделей ГТД.

Загальні положення теорій ГТД, автоматичного керування та статистичного оцінювання дозволяють науково підійти до вирішення цієї проблеми. При цьому треба вирішити низку наукових завдань. Дисертаційне дослідження присвячене вирішенню саме таких завдань - формуванню бортових самоналаштовувальних динамічних моделей газотурбінних

двигунів із використанням лінійних динамічних моделей, які враховують індивідуальні особливості ГТД та змінення їх властивостей у процесі експлуатації; розробці методу аналізу похибок ідентифікації динамічних характеристик двигунів та невимірюваних параметрів робочого процесу газотурбінних двигунів.

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

ОЦІНКА ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ, ЇЇ ДОСТОВІРНОСТІ ТА НОВИЗНИ

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

- 1) Уперше для стрибкоподібного та лінійного з обмеженням керуючих впливів сформовано співвідношення для похибок оцінок параметрів лінійних динамічних моделей газотурбінних двигунів, які відрізняються використанням інтегральних характеристик чутливості і дозволяють незалежно аналізувати вплив на похибки оцінювання усіх головних чинників: точності вимірюваних параметрів, значень оцінюваних параметрів та характеру керуючих впливів.
- 2) Уперше отримано залежності для похибок визначення невимірюваних параметрів газотурбінних двигунів, які відрізняються використанням інформації про структуру бортових моделей і дозволяють урахувати вплив похибок вимірювання всіх використовуваних параметрів на статичну, динамічну й коригувальну складові моделі, а також похибки оцінювання коефіцієнтів моделі.
- 3) Набула подальшого розвитку концепція бортової самоналаштувальної математичної моделі авіаційного газотурбінного двигуна: до складу відомої структури моделі включено підсистему контролю якості та керування самоналаштуванням, в основі якої – перелічені вище співвідношення.

Ці наукові результати обґрунтовано представлені і оцінка обґрунтованості наукових результатів позитивна.

Достовірність наукових результатів підтверджена як правильним використанням аналітичних засобів і математичного моделювання, так і обробкою результатів випробувань двох типів ГТД.

Перший науковий результат є новим, вперше запропонованим і суттєво відрізняється від існуючих тим, що одержана нова закономірність - залежність похибок оцінок параметрів лінійних динамічних моделей газотурбінних двигунів від точності вимірюваних параметрів, значень оцінюваних параметрів та характеру керуючих впливів.

Другий науковий результат є новим, вперше запропонованим і суттєво відрізняється від існуючих тим, що одержані нові закономірності - залежності для похибок визначення невимірюваних параметрів газотурбінних двигунів з використанням інформації про структуру бортових моделей, з урахуванням похибок вимірювань, а також похибок оцінювання коефіцієнтів лінійних динамічних моделей газотурбінних двигунів.

Третій науковий результат - це подальший розвиток концепції бортової самоналаштовувальної математичної моделі авіаційного газотурбінного двигуна.

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

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Результати дисертаційної роботи утворюють теоретичну основу для розробки комп'ютерної системи визначення невимірюваних параметрів робочого процесу у реальному часі.

Також, окреме практичне значення має можливість використання розроблених моделей для визначення достатності зібраної інформації, оцінки похибки визначення невимірюваних параметрів та розробки рекомендацій для обґрунтування системи вимірюваних параметрів, точності та періодичності їх вимірювань.

Результати дисертаційної роботи використані в діяльності АТ «ФЕД» у рамках госпдоговірних робіт №203-10/2020 «Розробка комплексу динамічних математичних моделей двигуна AI-322» та №203-18/2020 «Модернізація та підтримка комплексу динамічних математичних моделей двигуна AI-322» та в діяльності АТ «МОТОР СІЧ» - госпдоговірна робота №203-25/2021 «Розробка комплексу динамічних моделей двигуна ТВ3- 117ВМА-СБМ1В 1 серії».

Практичну цінність роботи також підтверджено застосуванням отриманих результатів в рамках виконання держбюджетної теми «Формування технологій створення адаптивних систем керування ГТД пасажирських і транспортних літаків» (ДР № 0119U100942) та в навчальному процесі Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» в курсах «Системи автоматичного керування авіаційних двигунів і енергетичних установок», «Моделювання та розрахунок процесів в авіаційній та ракетно-космічній техніці», «Методи аналізу та синтезу систем керування та діагностування об'єктів енергетичного машинобудування» .

Отримані теоретичні результати, а саме математичні моделі, методи оцінки похибок визначення параметрів моделей та параметрів, які не вимірюються, та програмні засоби їх реалізації можуть бути використані на підприємствах, які проєктують ГТД, системи їх керування та діагностування.

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

Дисертаційна робота (загальним обсягом 194 сторінки) містить анотації українською та англійською мовами, вступ, п'ять розділів, список використаних джерел, висновки та три додатки.

Слід зазначити, що висновки за розділами сформульовані 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

дисертаційної роботи відображено в 7 статтях у виданнях, які входять до переліку наукових фахових видань України категорії Б та 1 стаття у закордонному фаховому виданні, яка додатково відображає наукові результати дисертації. Окрім цього, частина результатів роботи опублікована в 6 тезах доповідей науково-технічних конференцій. 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 міжнародних конференціях.

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

ЗАУВАЖЕННЯ ТА НЕДОЛІКИ ЩОДО ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. В роботі використовується припущення, що всіма видами інерційності, окрім інерційності маси, що обертається, можна знехтувати. Але в ряді робіт враховується і газодинамічна інерційність.

2. В роботі використовується припущення, що на дозвукових швидкостях польоту змінення числа M польоту не впливає на зведені параметри силової установки. В дійсності, при заданих повних параметрах потоку p_n^* , T_n^* число M польоту не впливає на зведені параметри турбокомпресору, але впливає на параметри подібності тяги, питомої тяги та питомих витрат палива.

3. На сторінці 28 при опису структури та обсягу дисертації вказана кількість сторінок є помилковою (197 замість 194 фактично).

Необхідно відмітити, що вказані зауваження та недоліки не знижують вагомості отриманих в дисертаційній роботі результатів. Робота насичена достатньою кількістю як теоретичних викладок, так і результатами математичного моделювання та кількісними оцінками, які підтверджують ефективність та достовірність математичних моделей газотурбінних двигунів.

ВИСНОВКИ

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня 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 вирішується актуальна проблема формування бортових самоналаштовувальних динамічних моделей газотурбінних двигунів, які використовуються для визначення невимірюваних параметрів двигунів, оцінки похибки визначення цих параметрів та формування вимог до системи параметрів, що вимірюються, до точності і періодичності їх вимірювань. Це має істотне значення для спеціальності 142 - Енергетичне машинобудування та 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

Кандидат техн. наук, доцент,
завідувач кафедри
теорії авіаційних двигунів

Олег КІСЛОВ