

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U002458

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 23-06-2025

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: № 956-уч від 31.07.2025, виданий Національним аерокосмічним університетом "Харківський авіаційний інститут"



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Подгорський Костянтин Миколайович
2. Kostiantyn Podgors'ky

Кваліфікація: 142

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 142

Назва наукової спеціальності: Енергетичне машинобудування

Галузь / галузі знань: електрична інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Енергетичне машинобудування

Дата захисту: 02-07-2025

Спеціальність за освітою: інженер-механік

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 9456

Повне найменування юридичної особи: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02066769

Місцезнаходження: вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02066769

Місцезнаходження: вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 55.42, 55.42.13, 55.42.47.37

Тема дисертації:

1. Удосконалення методів визначення крутного моменту засобами, вбудованими в конструкцію авіаційних газотурбінних двигунів
2. Improvement of the methods of determining the torque by means built into the design of aircraft gas turbine engines

Реферат:

1. Дисертаційна робота присвячена актуальній задачі формування систем вимірювання крутного моменту, вбудованих у конструкцію газотурбінних двигунів і основаних на використанні математичних моделей, що зв'язують термопружні властивості вала з умовами роботи двигуна. Об'єктом дослідження є процес перетворення крутного моменту на валу газотурбінного двигуна в кутове переміщення елементів системи вимірювання крутного моменту, а також процес визначення коефіцієнту корисної дії вентилятора за результатами його випробувань у складі повнорозмірного двигуна з використанням вимірювача крутного моменту. Предметом дослідження є залежності, що характеризують крутну жорсткість вала вимірювача крутного моменту та залежності похибок визначення ККД вентилятора від похибок вимірювання параметрів

двигуна, зокрема крутного моменту. У роботі представлено аналіз існуючих систем вимірювання крутного моменту й на його основі визначено завдання дослідження. Виконано аналіз похибок вимірювання крутного моменту фазометричним методом, у результаті чого складено геометричну тривимірну модель вимірювача крутного моменту, вбудованого в конструкцію вала вільної турбіни вертолітного двигуна, виявлено та детально проаналізовано структурні складові цих похибок. У результаті визначено, що найбільш значущими є похибки, зумовлені впливом температури на жорсткість валу, а також точністю забезпечення діаметральних розмірів вала й кутового положення екрана та індуктора. Для суттєвого зниження цих похибок запропоновано процедуру формування математичної моделі ВКМ, адаптація якої до характеристики конкретного двигуна виконується з використанням ідентифікації на основі методу найменших квадратів. Розглянуто дві методики визначення ККД вентилятора за експериментальними даними: традиційна методика, основана на визначенні адіабатної та фактичної роботи стискання, та альтернативна, основана на вимірюванні крутного моменту й визначенні фактичної потужності приводу та адіабатної потужності стискання. Сформовано методику аналізу похибок, отримано вирази для абсолютних і відносних похибок результатів розрахунку ККД і витрати повітря, які пов'язують їх із похибками вимірюваних параметрів. Ці вирази є універсальними моделями похибок визначення ККД. Отримано умову, яку має задовольняти похибка вимірювання крутного моменту, щоб забезпечити потрібну точність визначення ККД при заданій точності вимірювання тиску й температури. Запропоновано конструктивну реалізацію вимірювача крутного моменту на валу вентилятора. Сформовано геометричну модель вала та його термопружну модель, яка на основі значень вимірюваних параметрів проточної частини дозволяє визначати граничні умови теплообміну, розподіл температур у валі, а також його крутну жорсткість, що дозволяє встановити співвідношення між вимірюваним кутовим переміщенням вала й крутним моментом. Практичну реалізацію фазометричної системи вимірювання крутного моменту та перевірку її працездатності виконано в складі турбовальних двигунів розробки АТ «Мотор Січ»: МС-500В, ТВ3-117ВМА-СБМ1В 1 серії та ТВ3-117ВМА-СБМ1В 4Е серії. У результаті виконання комплексу робіт у складі двигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В 1 серії була забезпечена похибка вимірювання крутного моменту, яка не перебільшує ± 15 Нпм. Тим самим забезпечено потрібну похибку визначення крутного моменту відносно заданого значення в межах $\pm 1\%$. Наукова новизна отриманих результатів: - суттєво вдосконалено метод визначення крутного моменту турбовальних двигунів в експлуатації на основі використання пружно-геометричної моделі в складі системи вимірювання та запропонованого підходу до аналізу похибок визначення крутного моменту, що дозволяє підвищити точність визначення крутного моменту; - уперше запропоновано універсальні моделі похибок визначення ККД вентиляторів і компресорів під час їх випробування з метою визначення характеристик, які дозволяють прогнозувати точність визначення ККД за відомими похибками вимірювання параметрів у разі використання двох альтернативних методів визначення ККД; - уперше отримано універсальну нерівність, що визначає вимоги до точності вимірювання крутного моменту з метою забезпечення необхідної точності визначення ККД вентиляторів і компресорів; - уперше запропоновано структуру вимірювача крутного моменту на валу вентилятора, вбудованого в конструкцію двигуна та оснований на використанні термопружно-геометричної моделі вала, інтегрованої з моделлю граничних умов теплообміну, яка на основі подібності зв'язана з вимірюваними параметрами проточної частини двигуна, що дозволяє визначати крутний момент в усьому діапазоні режимів роботи та зовнішніх умов.

2. The dissertation is dedicated to the vital problem of forming torque measurement systems built into the design of gas turbine engines and based on the use of mathematical models that relate the thermoelastic properties of the shaft to the engine's operating conditions. The object of the research is the process of converting the torque on the shaft of a gas turbine engine into the angular displacement of the elements of the torque measurement system, as well as the process of determining the efficiency of the fan based on the results of its tests as part of a full-size engine using a torque meter. The subject of the study is the dependences characterizing the torsional stiffness of the torque meter shaft and the dependences of the errors in determining the efficiency of the fan on the errors in the measurement of the engine parameters, in particular the torque. The analysis of torque measurement errors by the phasometric method was performed, as a result of which a geometric three-dimensional model of the

torque meter built into the structure of the free turbine shaft of the helicopter engine was created, the structural components of these errors were identified and analyzed in detail. As a result, it was determined that the most significant are the errors caused by the effect of temperature on the shaft stiffness, as well as the accuracy of the shaft diametrical dimensions and the angular position of the screen and inductor. Two methods of determining the fan efficiency based on experimental data are considered: the traditional method, based on the determination of adiabatic and actual work of compression, and the alternative method, based on the measurement of the torque and the determination of the actual power of the drive, and the adiabatic compression power. An error analysis technique was developed, and equations were obtained for absolute and relative errors of the results of calculating the efficiency and air flow, which relate them to the errors of the measured parameters. These equations are universal models of efficiency determination errors. It is shown that the use of torque meters allows to reduce the errors of determining the efficiency of the fan, which are mainly determined by the errors of pressure and torque measurement. Errors in determining efficiency depend significantly on the pressure ratio and air flow. At small values of these parameters, the errors increase significantly. A constructive implementation of the torque meter on the fan shaft is proposed. A geometric model of the shaft and its thermoelastic model were formed, which, based on the values of the measured parameters of the gas flow duct, allows determining the boundary conditions of heat exchange, temperature distribution in the shaft, as well as its torsional stiffness, which allows establishing the relationship between the measured angular displacement of the shaft and the torque. Practical implementation of the phasometric torque measurement system and verification of its performance was carried out in turboshaft engines developed by Motor Sich JSC: MS-500V, TV3-117VMA-SBM1V 1 series and TV3-117VMA-SBM1V 4E series. As a result of performing a complex of works as part of the TV3-117BMA-CBM1B 1 series engine, the torque measurement error, which does not exceed $\pm 15 \text{ Nm}$, was ensured. In this way, the required error of determining the torque relative to the set value is ensured within $\pm 1\%$. Scientific novelty of the obtained results: - the method of determining the torque of turboshaft engines in operation has been significantly improved based on the use of an elastic-geometric model as part of the measurement system and the proposed approach to the analysis of torque determination errors, which allows to increase the accuracy of torque determination; - for the first time, universal models of errors in determining the efficiency of fans and compressors during their testing were proposed in order to determine the characteristics that allow predicting the accuracy of determining the efficiency based on the known measurement errors of the parameters in the case of using two alternative methods of determining the efficiency; - a universal inequality was obtained for the first time, which determines the requirements for the first time, which determines the requirements for the accuracy of torque measurement in order to ensure the necessary accuracy of determining the efficiency of fans and compressors; - for the first time, the structure of the torque meter on the fan shaft, built into the engine design and based on the use of a thermoelastic-geometric model of the shaft, integrated with the model of heat exchange boundary conditions, which is related to the measured parameters of the flow part of the engine based on similarity, which allows determining the torque moment in the entire range of operating modes and external conditions.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій високотехнологічного розвитку транспортної системи, ракетно-космічної галузі, авіа- і суднобудування, озброєння та військової техніки

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- 1. Подгорський, К. М. Аналіз точності експериментального визначення ККД вентилятора з використанням вимірювачів крутного моменту / К. М. Подгорський, С. В. Єпіфанов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2023. – № 1(185). – С. 35-46.
- 2. Подгорський, К. М. Аналіз впливу похибок вимірювання на абсолютні похибки експериментального визначення ККД вентилятора / К. М. Подгорський, С. В. Єпіфанов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2023. – № 3 (187). – С. 33-41.
- 3. Подгорський, К. М. Створення вбудованого вимірювача крутного моменту на валу вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна / К. М. Подгорський, С. В. Єпіфанов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2024. – № 4sup1 (197). – С. 100-111.
- 4. Vorobieva H.S. Modification Of The Redlich-Kwong-Aungier Equation Of State To Determine The Main Thermodynamic Parameters In The Pure Liquid CO2 Region. Journal of mechanical engineering, 25(2), 6-13.

Наукова (науково-технічна) продукція: пристрої; технології; методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту; зменшення зносу обладнання

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0119U100942

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Єпіфанов Сергій Валерійович
2. Sergiy V. Yepifanov

Кваліфікація: д.т.н., професор, 05.05.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1161-6866

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02066769

Місцезнаходження: вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ткач Михайло Романович

2. Mykhailo -. Tkach

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.08.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4944-7113

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Код за ЄДРПОУ: 02066753

Місцезнаходження: проспект Героїв України, буд. 9, Миколаїв, Миколаївський р-н., 54007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Терещенко Юрій Матвійович

2. Yurii Tereshchenko

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.05.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4367-3232

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний авіаційний університет

Код за ЄДРПОУ: 01132330

Місцезнаходження: проспект Любомира Гузара, буд. 1, Київ, 03058, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Широкий Юрій Вячеславович

2. Yurii V. Shyrokyi

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.03.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4713-0334

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02066769

Місцезнаходження: вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Назін Володимир Іосифович

2. Vololymyr I. Nazin

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.02.09

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7872-5420

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02066769

Місцезнаходження: вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Гакал Павло Григорович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Гакал Павло Григорович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Дмитренко Євгенія Валеріївна

Реєстратор

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна