ВИСНОВОК
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації *Подгорського Костянтина Миколайовича* на тему «Удосконалення методів визначення крутного моменту засобами, вбудованими в конструкцію авіаційних газотурбінних двигунів», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування

На засіданні кафедри конструкції авіаційних двигунів за участі:
Єпіфанова Сергія Валерійовича, д.т.н., професора, завідувача кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Білогуба Олександра Віталійовича, д.т.н., професора, професора кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Гусєва Юрія Олексійовича, к.т.н., доцента, професора кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Гаркуші Олександра Івановича, к.т.н., доцента, доцента кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Безуглого Сергія Володимировича, к.т.н., доцента, доцента кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Суховія Сергія Івановича, к.т.н., доцента, доцента кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Зеленського Романа Леонідовича, к.т.н., доцента, доцента кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Марценюка Євгена Вікторовича, ст. викладача кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Свєженцева Сергія Юрійовича, аспіранта кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Бондаренка Олексія Васильовича, аспіранта кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Векліча Ярослава Сергійовича, аспіранта кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Неманєжина Євгена Миколайовича, аспіранта кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;
Бойко Людмили Георгіївни, д.т.н., професорки кафедри теорії авіаційних двигунів «ХАІ»;
Кіслова Олега Володимировича, к.т.н., доцента, завідувача кафедри теорії авіаційних двигунів «ХАІ»;
Даценко Вадима Анатолійовича, асистента кафедри теорії авіаційних двигунів «ХАІ»;

Широкого Юрія Володимировича, к.т.н., доцента, декана факультету авіаційних двигунів «ХАІ»;
Назіна Володимира Іосифовича, д.т.н., професора, професора кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем «ХАІ»;
Ткача Михайла Романовича, д.т.н., професора, завідувача кафедри інженерної механіки та технології машинобудування Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова;
Торби Юрія Івановича, к.т.н., начальника відділу ДП «Івченко-Прогрес»
відбулася публічна презентація дисертаційної роботи *Подгорського Костянтина Миколайовича* на тему «Удосконалення методів визначення крутного моменту засобами, вбудованими в конструкцію авіаційних газотурбінних двигунів».

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

Для реалізації низки важливих функцій керування та діагностування турбовальних газотурбінних двигунів необхідно забезпечити безперервне визначення крутного моменту на валу вільної турбіни з високою точністю в усьому діапазоні режимів роботи двигуна та польотних умов. Для визначення характеристик вентилятора й турбіни низького тиску ТРДД з великим ступенем двоконтурності необхідно забезпечити визначення крутного моменту на валу низького тиску. Перераховані вище завдання не можуть бути вирішені за допомогою спеціалізованих (промислових) вимірювачів крутного моменту – необхідно формувати вимірювачі, інтегровані з конструктивними елементами двигуна. Проєктування таких вимірювачів стримується відсутністю методичних підходів до комплексного аналізу похибок і до формування математичних моделей, що пов'язують кутове скручування вала з крутним моментом, а також режимом роботи та зовнішніми умовами роботи двигуна.

Тому формування систем вимірювання крутного моменту, вбудованих у конструкцію газотурбінних двигунів, які ґрунтуються на використанні математичних моделей, що пов'язують термопружні властивості вала з умовами роботи двигуна, є актуальним науково-технічним завданням, яке має важливе практичне значення.

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

Представлені в роботі дослідження виконано на кафедрі конструкції авіаційних двигунів Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» у рамках виконання держбюджетної теми «Формування технологій створення адаптивних систем керування ГТД

пасажирських і транспортних літаків» (ДР № 0119U100942), а також на АТ «МОТОР СІЧ» у рамках Державної цільової науково-технічної програми розвитку авіаційної промисловості на 2021-2030 роки та робіт зі створення ТВаД МС-500В і забезпечення індикації потужності двигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В 4Е серії екіпажу вертольота Мі-8МСБ, а також у рамках робіт з реалізації вимог контракту АТ «МОТОР СІЧ» з турецькою компанією TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A. Ş. (Turkish Aerospace Industries, Inc.) з розробки та постачання нових модифікацій двигунів ТВ3-117ВМА-СБМ1В 1 серії. Ці двигуни планується встановити на важкий штурмовий гелікоптер АТАК-2 (Т-929) і гелікоптери загального призначення класу 10 тон (Т-925).

3. **Наукова новизна отриманих результатів**

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1) Суттєво вдосконалено метод визначення крутного моменту турбовальних двигунів в експлуатації на основі використання пружно-геометричної моделі у складі системи вимірювання та запропонованого підходу до аналізу похибок визначення крутного моменту, що дає змогу підвищити точність визначення крутного моменту.

2) Уперше запропоновано універсальні моделі похибок визначення ККД вентиляторів і компресорів за результатами їхніх випробувань з метою визначення характеристик, що дають змогу прогнозувати точність визначення ККД за відомими похибками вимірювання параметрів у разі використання двох альтернативних методів визначення ККД.

3) Уперше отримано універсальну нерівність, яка визначає вимоги до точності вимірювання крутного моменту з метою забезпечення необхідної точності визначення ККД вентиляторів і компресорів.

4) Уперше запропоновано структуру вимірювача крутного моменту на валу вентилятора, вбудованого в конструкцію двигуна, що ґрунтується на використанні термопружно-геометричної моделі вала, інтегрованої з моделлю граничних умов теплообміну, яка на основі подібності пов'язана з вимірюваними параметрами проточної частини двигуна, що дає змогу визначати крутний момент в усьому діапазоні режимів роботи та зовнішніх умов.

4. **Теоретичне та практичне значення результатів роботи**

1) Розроблений метод формування вбудованих систем вимірювання крутного моменту практично реалізовано у складі турбовальних двигунів розроблення АТ «МОТОР СІЧ»: МС-500В, ТВ3-117ВМА-СБМ1В 1 серії та ТВ3-117ВМА-СБМ1В 4Е серії.

2) Працездатність системи вимірювання та індикації крутного моменту цих двигунів підтверджено результатами випробувань у складі гідрогальмівних стендів, а також льотно-конструкторських випробувань.

3) У результаті виконання комплексу доводочних робіт у складі двигуна ТВ3-117ВМА-СБМ1В 1 серії було забезпечено похибку вимірювання крутного моменту, що не перевищує ±15 Н·м. Тим самим забезпечено необхідну похибку визначення крутного моменту щодо заданого значення в межах ±1%.

4) Розроблені елементи методу формування вбудованих систем ВКМ – поєднання термопружної та геометричної моделей, використання методів подібності для забезпечення зв'язку цих моделей із параметрами робочого процесу, методи аналізу похибок визначення крутного моменту – мають універсальний характер і можуть бути використані для проєктування систем ВКМ турбовальних двигунів.

5) Розроблений метод аналізу похибок експериментального визначення ККД вентиляторів і компресорів та відповідні залежності похибок визначення ККД і витрати від похибок вимірювань, а також нерівність, яка визначає вимоги до похибки вимірювання крутного моменту під час відповідних випробувань, мають універсальний характер і можуть бути використані під час підготовки до випробувань будь-якого вентилятора або компресора.

5. Апробація/використання результатів дисертації

Основні наукові та практичні результати дисертації викладено, обговорено та отримано схвальну оцінку на XXVII, XXVIII та XXIX Міжнародних конгресах двигунобудівників (2022, 2023, 2024 рр., м. Харків), міжнародній науково-практичній конференції «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії» (2024 р., м. Харків), Seminarium IV. New Trends in the Construction, Research and Operation of Flying Objects (2022 p., Institut Lotniztwa, Warsaw).

Розробленні автором наукові положення впроваджено:

– на АТ «МОТОР СІЧ» при створенні фазометричних систем вимірювання крутного моменту турбовальних двигунів МС-500В, ТВ3-117ВМА-СБМ1В 1 серії та ТВ3-117ВМА-СБМ1В 4Е серії;

– у навчальному процесі кафедри конструкції авіаційних двигунів ХАІ (лекціях і практичних заняттях з навчальних дисциплін «Автоматизовані системи діагностики авіаційних двигунів і енергетичних установок» і «Системи автоматичного керування авіаційних двигунів і енергетичних установок») для магістрів, що навчаються за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація К. М. Подгорського 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:

– три статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю, в усіх один співавтор – науковий керівник;

– одна стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому в базі Scopus;

– дві тези доповідей на наукових конференціях.

Статті у наукових виданнях України, затверджених як фахові за спеціальністю 142:

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.

Здобувач отримав універсальні співвідношення, що пов'язують відносні похибки визначення ККД вентилятора із похибками вимірювання параметрів та визначають вимоги до точності вимірювання крутного моменту під час відповідних випробувань.

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.

Здобувач показав, що більш коректним є використання абсолютних похибок визначення ККД і скоригував отримані ним зв'язки цих похибок із похибками вимірювання. Він отримав розглянув приклад застосування запропонованих методичних підходів до характеристики конкретного вентилятора, який відповідає двигуну Д-436ФМ.

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. – № 4sup2 (198). – С. 100-111.

Здобувач запропонував інформаційну структуру системи ВКМ та обґрунтував формування термопружної неізотермічної моделі вала, пов'язаної з вимірюваними параметрами проточної частини двигуна умовами подібності.

8. Висновок наукового керівника

Виконання індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною науково-освітньою програмою та написання дисертації Подгорським Костянтином Миколайовичем вважаю успішним. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження, завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну. Вона виконана на належному науковому рівні та відповідає встановленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, і може бути рекомендована до захисту, а її автор Подгорський Костянтин Миколайович – до присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Отже, вважаємо, що дисертаційна робота Подгорського Костянтина Миколайовича на тему «Удосконалення методів визначення крутного моменту засобами, вбудованими в конструкцію авіаційних газотурбінних двигунів», 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 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Головуючий на засіданні
кандидат технічних наук, професор,
заступник завідувача кафедри
конструкції авіаційних двигунів
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського «Харківський
авіаційний інститут» Юрій ГУСЄВ