

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Подгорського Костянтина Миколайовича
«Удосконалення методів визначення крутного моменту засобами, вбудованими в
конструкцію авіаційних газотурбінних двигунів»,
представлену на здобуття вченого ступеня доктора філософії
за спеціальністю 142 - Енергетичне машинобудування

1. Актуальність і новизна теми

Одним з ефективних напрямів розвитку авіаційної та ракетно-космічної техніки є вдосконалення систем автоматичного керування та параметричного діагностування технічного стану, зокрема шляхом удосконалення засобів вимірювання параметрів, а також обґрунтованого розширення складу вимірюваних параметрів.

У роботі вирішується завдання 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.

Таким чином, тема дисертації має значну наукову і практичну актуальність, а об'єкт досліджень має новизну.

Ця робота добре узгоджена з планами розвитку наукових досліджень на кількох рівнях – державному, університетському та АТ «МОТОР СІЧ» - провідного підприємства галузі авіаційного двигунобудування.

2. Значення для науки і практики

Найбільш значущим **науковим результатом**, який уперше отримано автором і який визначає відповідність дисертації вимогам до рівня кваліфікаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії, є створення 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 у всьому діапазоні режимів роботи та зовнішніх умов.

Запропонований підхід до формування вимірювачів крутного моменту був розвинений та досліджений у двох напрямках: вимірювання крутного моменту на вивідному валу турбовального двигуна в складі штатної вимірювальної системи, а також вимірювання крутного моменту під час експериментальних досліджень для визначення характеристик вентиляторів.

Запропоновано оригінальний підхід до аналізу впливу різноманітних факторів на похибку вимірювання крутного моменту фазометричним методом.

Розвинено метод побудови моделей, що зв'язують параметри граничних умов теплообміну елементів вбудованих вимірювачів крутного моменту з вимірюваними параметрами робочого процесу, й забезпечують корекцію крутильної жорсткості вала відповідно до режиму роботи та параметрів атмосферного повітря.

Дисертація має суттєве **значення для практики**:

В оглядовій частині роботи виконано детальний та докладний аналіз конструктивних рішень щодо методів вимірювання крутильного моменту, які можуть бути використані в умовах газотурбінних двигунів, і обґрунтовано доцільність використання засобів, що базуються на фазометричному принципі.

Досліджено джерела похибок вимірювання крутного моменту на валу вільної турбіни, в результаті чого виявлено найбільш значущі фактори. Запропоновано процедуру зменшення найбільшої складової, зумовленої впливом температури на жорсткість вала.

Отримано та проаналізовано залежності, які дають можливість обґрунтувати вимоги до засобів вимірювання крутильного моменту на валу вентилятора, які можуть забезпечити визначення коефіцієнта корисної дії компресора з необхідною точністю. Вперше досліджено розподіл потенційно можливої точності експериментального визначення характеристики ККД вентилятора двигуна з великим ступенем двоконтурності в усьому полі характеристики.

Запропоновано низку конструктивних реалізацій вимірювачів крутного моменту турбовальних двигунів типу ТВ3-117ВМА-СБМ1В і МС-500. В результаті експериментальних досліджень їх удосконалено, що забезпечило виконання вимог, які висуваються до точності штатних вимірювачів, і реалізацію обмеження крутного моменту та потужності, а також синхронізацію роботи двигунів на вертольоті, за показниками цих засобів.

3. Обґрунтованість і вірогідність результатів

Основні результати і висновки дисертації представляються достовірними, добре обґрунтованими та випробуваними.

Автор базує свої дослідження на детальному кваліфікованому аналізі проблеми та робіт інших дослідників, які виконано у напрямку її вирішення.

В основу методики дослідження покладено самостійне отримання експериментальних даних, досвід попередників, відокремлення значущих факторів, формування математичної структури моделі, яка спирається на закони пружності, термодинаміки, теплообміну тощо.

Експерименти проведено в умовах підприємства із використанням атестованих засобів і методів вимірювання.

Висновки, наведені автором в дисертації, повністю відповідають її змісту й отриманим результатам.

4. Повнота викладення дисертації в публікаціях

На протязі періоду роботи автора над дисертацією її результати починаючи з 2018 р. регулярно висвітлювались у статтях і матеріалах науково-технічних конференцій. Автор приводить список із шести таких робіт, з них три статті у вітчизняних фахових журналах, одна стаття у закордонному фаховому журналі, який індексується в наукометричній базі Scopus, і дві тези доповідей міжнародних конференцій. Аналіз цих робіт дозволяє вважати, що всі основні результати дисертації опубліковані та відомі широкому колу вчених.

5. Оформлення дисертації

Оформлення дисертації відповідає встановленим вимогам.

Зміст анотації достатньо повно відбиває зміст дисертації, її структуру та основні результати.

6. Зауваження

1). У розділі 1 під час огляду проблеми вимірювання крутного моменту автор наводить інформацію щодо можливості використання оптичних датчиків для вимірювання кутового переміщення вала. У наступному розділі, присвяченому штатним вимірюванням, ці датчики відкидаються як непридатні для використання в експлуатаційних умовах, і потім не розглядаються. Проте в наступних розділах, де досліджено стендові випробування, ці засоби недоцільно відкидати, тому що вони не є очевидно менш придатними, ніж використані автором магнітоіндукційні датчики.

2). Автор виконав дуже значну роботу з аналізу похибок визначення ККД. Він проаналізував численні фактори – перш за все похибки вимірювання необхідних параметрів. Але, зважаючи на формулу (3.2) було б доцільно та корисно для подальших практичних робіт проаналізувати вплив похибки визначення c_p – питомої теплоємності при постійному тиску. Похибку цієї величини можуть спричинити, наприклад, похибка вимірювання або неврахування температури, похибка визначення або неврахування вологості та інші.

3). Аналогічні похибки, пов'язані з завданням властивостей робочого тіла (повітря) можуть вплинути на точність визначення показника адіабати й коефіцієнта рівняння Христиановича, а значить, і витрати повітря.

4). У підрозділі 3.6 розглянуто приклад аналізу похибок визначення характеристики ККД вентилятора конкретного двигуна. Тут переконливо показано, що на низьких режимах роботи двигуна жоден з розглянутих методів не забезпечує необхідної точності. Виходу з цієї ситуації автор не пропонує.

7. Висновки

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи – вони скоріше є наслідком складності процесів, які розглянуто автором.

У цілому, за своїм змістом робота суттєво виходить за ті рамки, що визначено сформульованою автором метою. В ній розглянуто низку науково-практичних задач, пов'язаних із визначенням крутного моменту в газотурбінних двигунах, та запропоновано їх розв'язки на основі створення систем вимірювання, конструктивна частина яких вбудована в конструкцію двигуна, а інформаційно-методична частина базується на термопружно-геометричних моделях, сформованих на основі запропонованих в дисертації рекомендацій.

Дисертація відповідає спеціальності 142 - Енергетичне машинобудування.

Таким чином, результати, викладені в дисертаційній роботі, відповідають вимогам пп. 6-9 "Порядку присудження ступеня доктора філософії...", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.22 р. №44, а її автор – **Подгорський Костянтин Миколайович** – заслуговує присвоєння вченого ступеня доктора філософії.

Завідувач кафедри
авіаційних двигунів
Державного некомерційного підприємства
«Державний університет
«Київський авіаційний інститут»
докт. техн. наук, професор



Юрій ТЕРЕЩЕНКО

Підпис Терещенка Юрія Матвійовича ЗАВІРЯЮ

Вчений секретар



Інна НАБОК