

ВІДГУК

офіційного опонента к.т.н., доцента Ванєєва Сергія Михайловича
на дисертаційну роботу Даценка Вадима Анатолійовича
на тему: «Метод визначення впливу абразивного зносу проточної частини
компресора на характеристики газотурбінного двигуна за допомогою його
математичної моделі»,
представлену на здобуття вченого ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 Електрична інженерія
за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування

1. Актуальність теми дисертації

Актуальність теми дисертаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності, надійності та ресурсу роботи газотурбінних двигунів, які широко застосовуються в авіаційній та енергетичній галузях. Особливо гостро ця проблема проявляється при експлуатації двигунів в умовах підвищеної запиленості атмосфери. У таких умовах відбувається інтенсивне абразивне зношування елементів проточної частини, передусім лопаткових вінців компресора, що призводить до суттєвого погіршення термогазодинамічних параметрів і характеристик двигуна.

Наслідками цього є зростання питомої витрати палива, зменшення питомої потужності, підвищення температури газу перед турбіною, а також зниження запасу газодинамічної стійкості компресора через зміщення робочих режимів до межі стійкої роботи. Це негативно впливає на економічність, надійність і безпеку експлуатації газотурбінних двигунів.

Незважаючи на значну кількість досліджень у цій сфері, існуючі підходи до оцінювання впливу абразивного зношування мають обмеження. Зокрема, широко застосовувані методи, що базуються на використанні поправкових коефіцієнтів або узагальнених характеристик, не дозволяють достатньо точно враховувати зміну геометричних параметрів лопаток і просторову нерівномірність їх зношування. Це знижує достовірність прогнозування характеристик компресора та двигуна в цілому.

У зв'язку з цим виникає науково-технічна задача розроблення більш досконалих методів математичного моделювання, які б дозволяли враховувати реальні зміни геометрії проточної частини компресора внаслідок ерозії та на цій основі прогнозувати зміну параметрів і характеристик газотурбінного двигуна.

Таким чином, тематика дослідження повністю відповідає актуальним потребам науки та техніки, а запропоновані підходи мають значний потенціал для подальшого розвитку в галузі енергетичного машинобудування.

Отже, тема дисертаційної роботи, є актуальною та має важливе наукове і практичне значення.

2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

В дисертаційній роботі Даценка Вадима Анатолійовича вирішене науково-практичне завдання з розроблення методу визначення впливу абразивного зношування проточної частини компресора на характеристики компресора та газотурбінного двигуна з використанням математичного моделювання. Найбільш значущими **науковими результатами**, які отримані автором і які визначають відповідність дисертації вимогам до рівня кваліфікаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії, є наступні.

- Уперше для розрахункового визначення впливу абразивного зношування проточної частини компресора на характеристики турбовального двигуна, запропоновано метод, оснований на повузловій нелінійній математичній моделі двигуна, що спирається на двовимірний опис течії газу в проточній частині багатоступеневого осьового компресора.

- Набула подальшого розвитку методика визначення геометричних параметрів лопаткових вінців осьового компресора на різних радіусах за обмеженим масивом експериментальних даних про змінення хорди лопаток на середньому радіусі та периферії внаслідок абразивного зносу.

- Удосконалено метод розрахунку термогазодинамічних параметрів та характеристик осьового багатоступеневого компресора в двовимірній постановці шляхом уточнення напівемпіричних залежностей для визначення втрат повного тиску та коефіцієнтів корисної дії ступенів, а також урахування впливу зростання шорсткості поверхонь лопаток і збільшення радіального зазору.

Дисертація має суттєве **значення для практики**:

- Розроблений метод розрахункового аналізу впливу абразивного зношування проточної частини компресора на характеристики турбовального газотурбінного двигуна та відповідний комплекс програм забезпечують підвищення обґрунтованості інженерних рішень під час визначення технічного стану двигунів, прогнозування зміни їх експлуатаційних характеристик, оцінки запасів газодинамічної стійкості та прогнозування зростання експлуатаційних витрат, зокрема внаслідок збільшення питомої витрати палива й зменшення питомої потужності.

- Отримані розрахункові дані щодо просторово-радіальних розподілів параметрів потоку в компресорі (кутів натікання, швидкостей, повної та статичної температури й тиски), а також кількісні показники зміни інтегральних характеристик компресора (ступеня підвищення тиску, ККД і запасів газодинамічної стійкості) дозволяють оцінювати вплив абразивного зношування на ефективність і стійкість роботи компресора, прогнозувати наближення граничних станів і визначати допустимі режими експлуатації.

Отримані наукові результати можуть бути використані в авіаційній промисловості, а також в енергетиці для технічного діагностування та

прогнозування параметрів турбовальних газотурбінних двигунів, що експлуатуються в умовах підвищеного абразивного навантаження.

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Напрямок досліджень у дисертаційній роботі Даценка Вадима Анатолійовича відповідає стандарту вищої освіти за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування. Дисертація є самостійним завершеним дослідженням, результати якого мають наукову новизну і практичну цінність.

Дисертація відповідає принципам академічної доброчесності: відсутні ознаки плагіату, компіляції, фальсифікації чи фабрикації результатів. Усі залучені джерела коректно процитовано, використані матеріали інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

4. Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота Даценка В.А. написана українською мовою та відповідає загальному стилю наукових досліджень із використанням термінології, що є стандартною для даної області. У роботі чітко простежується логічна послідовна структура викладення матеріалу, обґрунтованість постановок задач, вибір методів і аналіз отриманих результатів. Дисертаційна робота розкриває головні ідеї та здобутки автора.

5. Структура роботи

Структура роботи є логічною та типовою для дисертацій з технічних дисциплін – дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, списків використаних джерел до кожного розділу, загальних висновків та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 125 сторінок, у тому числі 54 рисунки та 2 таблиці за текстом, список використаних джерел з 128 найменувань та 2 додатки.

У **вступі** автор обґрунтував актуальність обраної теми дослідження, сформував мету і завдання дослідження, а також наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи та особистий внесок автора.

У **першому** розділі проаналізовано фактори, що впливають на технічний стан газотурбінного двигуна в процесі експлуатації та встановлено, що головним фактором зниження ефективності газотурбінних двигунів при експлуатації в запиленому середовищі є абразивне зношування проточної частини компресора. Проведено огляд літературних джерел щодо впливу експлуатації двигунів в умовах запиленої атмосфери на характеристики компресора, а також розглянуто існуючі методи оцінювання зміни параметрів двигуна внаслідок зношування.

У **другому** розділі розглянуто методи математичного моделювання газотурбінних двигунів та компресорів, проаналізовано їх рівні деталізації та обмеження. Обґрунтовано доцільність використання удосконаленого підходу з

урахуванням зміни геометричних параметрів лопаток, а також описано розроблену математичну модель турбовального двигуна.

У **третьому** розділі наведено удосконалений метод розрахунку термогазодинамічних параметрів і характеристик багатоступеневого осьового компресора з урахуванням абразивного зношування, а також виконано його верифікацію шляхом порівняння розрахункових результатів з експериментальними даними.

У **четвертому** розділі проведено дослідження впливу абразивного зношування елементів проточної частини компресора на його параметри та характеристики, а також на параметри та характеристики газотурбінного двигуна в цілому. Розроблено методику визначення змінених геометричних параметрів лопаток, виконано моделювання процесів та проаналізовано зміну характеристик компресора і двигуна при експлуатації в запиленому середовищі.

Завершується дисертація **висновками**, у яких узагальнено матеріали, отримані автором згідно проведеним дисертаційним дослідженням. Короткі висновки також мають після кожного розділу. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

6. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основний зміст дисертації відображено в 5 статтях, з яких 3 статті входять до переліку наукових фахових видань України (Категорія Б), і 2 статті у виданнях, що реферуються в базі даних Scopus (Категорія А). Окрім цього, основні положення та результати дисертаційного дослідження доповідались на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Інтегровані комп'ютерні технології у машинобудуванні» (Україна, м. Харків, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», 2018 р.), XXVII, XXVIII міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Україна, м. Харків, Національний технічний університет «ХПІ», 2019 – 2020 рр.), XXIV міжнародному конгресі двигунобудівників, (Україна, м. Харків, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», 2019 р.), XXXII всеукраїнській конференції «Нові технології в машинобудуванні» (Україна, м. Харків, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», 2022 р.).

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

7. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1) У розділі 1 вказано, що є методики і чисельне моделювання параметрів потоку в проточній частині багатоступеневого осьового компресора з урахуванням зношування лопаток із використанням програмного модуля Ansys CFX, але результатів досліджень не наведено.

2) У роботі вплив зміни геометричних параметрів проточної частини компресора (зменшення хорди, зміна геометричних кутів профілів, збільшення радіального зазору, шорсткість поверхонь лопаток тощо) на параметри на характеристики компресора і двигуна розглянуто комплексно. Разом з тим у дисертації відсутній аналіз чутливості розрахункових результатів до окремих факторів зносу, що дозволило б кількісно оцінити їх відносний внесок у погіршення характеристик компресора та двигуна.

3) Результати розрахунків параметрів двигуна наведено для обмеженого діапазону частот обертання. Доцільним було б розширення цього діапазону, а також дослідження поведінки двигуна на перехідних режимах.

4) У роботі не наведено аналізу впливу нерівномірності абразивного зносу по колу робочого колеса компресора, що може мати місце в реальних умовах експлуатації.

5) У дисертації не розглянуто вплив накопичених пошкоджень (втоми матеріалу, мікротріщин) на характеристики компресора, що може бути суттєвим при тривалій експлуатації.

8. Висновки

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні та є завершеною науковою працею, яка містить нові науково обґрунтовані результати в галузі енергетичного машинобудування. У ній вирішено важливе науково-практичне завдання розроблення більш досконалого методу математичного моделювання, що дозволяє враховувати реальні зміни геометрії проточної частини компресора внаслідок абразивного зношування та на цій основі прогнозувати зміну параметрів і характеристик газотурбінного двигуна.

Дисертація відповідає спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.

Таким чином, результати, викладені в дисертаційній роботі, відповідають вимогам п.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 12.01.22 р. №44, а її автор – **Даценко Вадим Анатолійович** – заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри технічної теплофізики
Сумського державного університету

Сергій ВАНЄСВ