

ВІДГУК
офіційного опонента

на дисертаційну роботу Балалаєва Антона Валерійовича
«Характеристики решітчастого дворядного робочого колеса
вентилятора двоконтурного турбореактивного двигуна»,
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та
енергетичні установки

1. Актуальність теми дисертаційного дослідження.

Конкурентноспроможний двигун повинен мати високі тягові, економічні, масогабаритні та інші експлуатаційні характеристики. Підвищення ступеня двоконтурності перспективних двигунів вимагає розробку надійних ефективних вентиляторів. До таких вентиляторів висувуються наступні вимоги: високий рівень ефективності, високий коефіцієнт корисної дії (ККД); високий рівень надійності; мала вага при заданих габаритних розмірах; низький рівень шуму; низький рівень вібрації та інше.

Управління пограничним шаром дозволяє вирішити задачу підвищення ефективності вентиляторів авіаційних двигунів. Застосування дворядних лопаткових вінців в робочих колесах осьових компресорів дозволяє збільшити аеродинамічну навантаженість ступенів компресора, зменшити вагу та габаритні розміри двигуна, розширити діапазон стійкої роботи компресора. Однак дворядні лопаткові вінці мають зменшений рівень жорсткості в порівнянні з однорядними за рахунок зменшення довжини хорд лопаток першого і другого ряду. Один із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування решітчастих дворядних лопаткових вінців.

Решітчасті крил, як відомо з аеродинаміки, мають високі аеродинамічні характеристики. Дворядну лопатку з перетинками можна розглядати як частковий випадок решітчастого крила. Однак до теперішнього часу не було досліджено характеристики решітчастого дворядного РК.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню науково-прикладної задачі підвищення ефективності лопаткових вінців вентиляторів двоконтурних турбореактивних двигунів шляхом застосування решітчастих дворядних

51.08/52
07.04.2021

робочих коліс. Тема роботи є актуальною і має важливе наукове та народногосподарське значення.

Робота виконана на кафедрі авіаційних двигунів Національного авіаційного університету. Вона ґрунтується на результатах досліджень, що пов'язані з виконанням держбюджетних науково-дослідних робіт і завдань, у яких здобувач брав участь як співвиконавець окремих розділів, відповідальний виконавець. Дисертаційна робота є складовою частиною досліджень, що проводяться в Національному авіаційному університеті і спрямовані на покращення параметрів та характеристик ГТД літаків цивільної та військової авіації в широкому діапазоні експлуатаційних режимів.

Роботу виконано відповідно до Стратегії відродження українського авіабудування на період до 2022 р., схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 429-р. 10.05.2018 р.

Метою дослідження є підвищення ефективності робочих коліс вентиляторів двоконтурних турбореактивних двигунів шляхом застосування решітчастих дворядних робочих коліс.

Досягнення мети вирішені наступні задачі:

1. Моделювання течії у вентиляторі ТРДД з дворядним робочим колесом.
2. Дослідження аеродинамічних характеристик решітчастих дворядних РК вентилятора ТРДД.
3. Дослідження частотних характеристик власних коливань однорядних та решітчастих дворядних лопаток робочих коліс вентилятора ТРДД.
4. Удосконалення методики вибору параметрів решітчастого дворядного робочого колеса вентилятора ТРДД з урахуванням спектру частот власних коливань.

Об'єкт дослідження – решітчасте дворядне робоче колесо вентилятора ТРДД.

Предмет дослідження – робочий процес решітчастого дворядного робочого колеса вентилятора ТРДД.

2. Новизна результатів, їх ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше отримано характеристики решітчастого дворядного робочого колеса вентилятора ТРДД методом чисельного експерименту.
2. Удосконалено методику вибору параметрів решітчастого дворядного РК вентилятора ТРДД з урахуванням спектру частот власних коливань.
3. Отримала подальший розвиток теорія дворядних лопаткових вінців в частині характеристик решітчастих дворядних лопаткових вінців з великим подовженням.

У роботі використовуються сучасні теоретичні методи та метод чисельного експерименту. Теоретична частина роботи ґрунтується на результатах фундаментальних досліджень в теорії управління пограничним шаром, теорії лопаткових вінців турбомашин, міцності робочих коліс компресорів та вентиляторів. Експериментальна частина роботи ґрунтується на використанні методу чисельного експерименту.

Результати чисельних досліджень порівнювались з результатами відомих натурних фізичних експериментів.

Достовірність отриманих результатів роботи забезпечується коректним застосуванням математичного апарату для вирішення поставлених наукових задач та підтверджується хорошим узгодженням результатів розрахункових досліджень з результатами фізичних експериментів та досліджень інших авторів, виконаних за апробованими методиками.

3. Найсуттєвіші наукові результати

В роботі вирішено науково-прикладне завдання – підвищення ефективності робочих коліс вентиляторів двоконтурних турбореактивних двигунів шляхом застосування решітчастих дворядних робочих коліс.

4. Повнота викладу в опублікованих працях та апробація

Основні результати дисертації представлено у 3 наукових статтях у закордонних журналах, 3 наукових статтях, опублікованих у журналах, що входять до переліку фахових видань України з технічних наук, у тому числі 1 статті у журналі, що індексується наукометричною базою SCOPUS; 7 тезах і матеріалах конференцій.

Основні теоретичні положення, результати та висновки наукового дослідження доповідались автором, обговорювались та отримали позитивну оцінку на наукових семінарах кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету (м. Київ, Україна, 2018–2020 рр.); міжкафедральному семінарі Національного авіаційного університету (м. Київ, Україна, 2021 р.); The Eighth World Congress “Aviation in the XXI-st century” (м. Київ, Україна, 2018 р.); The Ninth World Congress “Aviation in the XXI-st century” (м. Київ, Україна, 2020 р.); XXI Міжнародна науково-технічна конференція АС ППП Промислова гідравліка і пневматика (м. Київ, Україна, 2020 р.); The 12th International scientific and practical conference “Topical issues of the development of modern science” (м. Софія, Болгарія, 2020 р.), XXV Міжнародний Конгрес двигунобудівників (м. Харків, Україна, 2020 р. онлайн), XVII науково-технічна конференція студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених «Інноваційні технології» (м. Київ, Україна, 2020 р.).

5. Значення отриманих результатів для науки та практики.

Практична значимість роботи полягає у можливості використання отриманих автором рекомендацій щодо проектування решітчастих дворядних робочих коліс і удосконаленої методики проектування дворядних робочих коліс вентиляторів при проектуванні ТРДД нового покоління або при модернізації існуючих ТРДД.

Практичне значення отриманих результатів підтверджується актами реалізації результатів роботи у ДП «Антонов» та актом реалізації результатів роботи в навчально-виховний процес Національного авіаційного університету.

6. Оцінка змісту дисертації.

Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та 1 додатку.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані наукове завдання, мета і задачі дослідження, охарактеризовані наукова новизна, теоретична й практична цінність отриманих наукових результатів, визначено особистий внесок здобувача в одержані результати досліджень та впровадження результатів роботи.

У першому розділі наведено огляд сучасного стану загальної проблеми підвищення ефективності вентиляторів турбореактивних двоконтурних двигунів (ТРДД).

У другому розділі розглядається задача моделювання течії в дворядному вентиляторі двоконтурного турбореактивного двигуна.

Проведено вибір та обґрунтування параметрів чисельного експерименту для моделювання течії в елементах вентилятора.

В роботі представлено чисельний розрахунок течії у вентиляторі з однорядним та еквівалентним дворядним робочим колесом.

На основі розрахунку течії в однорядному і еквівалентному дворядному РК вентилятора були отримані напірні характеристики у вигляді залежностей ступеня підвищення тиску від газодинамічної функції витрати.

У третьому розділі викладено результати дослідження аеродинамічних характеристик вентиляторів з решітчастими дворядними РК. Першим етапом дослідження решітчастих дворядних лопаткових вінців робочого колеса вентилятора було створення решітчастої дворядної лопатки з перетинками. Було висунуто гіпотезу: перетинки повинні бути встановлені з певними кутами установки відповідно лініям току в міжлопаткових каналах досліджуваного лопаткового вінця робочого колеса, тобто для кожної перетинки повинен бути свій кут установки, який відповідає характеру обтікання. За результатами моделювання течії отримано лінії току в міжлопатковому каналі для дворядного лопаткового вінця робочого колеса вентилятора.

Згідно висунутої гіпотези було отримано кути встановлення перетинок між першим і другим рядом лопаток дворядного РК для трьох варіантів решітчастих дворядних РК вентилятора: з однією перетинкою на відносній висоті 50 %, з двома перетинками на відносній висоті 25 % і 75 % і з трьома перетинками на відносній висоті 25 %, 50 % і 75 %.

З метою оцінки аеродинамічних характеристик решітчастих дворядних РК вентилятора було проведено моделювання течії в них.

Аналіз візуалізації обтікання показує, що в дворядному РК вентилятора спостерігається утворення вихорів за робочим колесом. В той же час, наявність перетинок в щільовому каналі приводить до вирівнювання потоку в щільовому каналі, і, як наслідок, в аеродинамічному сліді за решітчастим дворядним РК рівень нерівномірності потоку зменшується в порівнянні з дворядним РК.

Наступним етапом дослідження була оцінка ефективності вентилятора з решітчастим дворядним РК. Оцінка ефективності вентилятора виконувалась за аналізом залежностей ступеня підвищення тиску від газодинамічної функції витрати $q(\lambda)$ для режимів роботи вентиляторів при частоті обертання ротора 2202 об/хв., 2848 об/хв. і 3010 об/хв.

Аналіз отриманих залежностей показує, що ефективність решітчастих дворядних РК вище, ніж дворядних РК і однорядних РК вентилятора. Решітчасте дворядне РК з трьома перетинками має вищу ефективність, ніж решітчасте дворядне РК з двома та однією перетинкою. Решітчасте дворядне РК з двома перетинками має вищу ефективність, ніж решітчасте дворядне РК з однією перетинкою.

Застосування решітчастого дворядного РК навіть з однією перетинкою дає можливість підвищити ступінь підвищення тиску на 6...9 % в порівнянні з дворядним РК. При збільшенні кількості перетинок приріст ступеня підвищення тиску незначний (до 6 %...10 %).

У четвертому розділі надано результати досліджень частотних характеристик власних коливань решітчастих дворядних лопаток вентилятора, та наведено удосконалену методику вибору параметрів решітчастого дворядного РК вентилятора.

За проведеними розрахунками отримано спектри власних форм коливань однорядної лопатки вентилятора.

Аналіз спектру власних форм коливань дворядної лопатки вентилятора показує, що в спектрі власних форм коливань дворядної лопатки наявні гармоніки, де відбувається пересікання лопаток першого і другого ряду, що є недопустимим і потребує уникнення. Наступним етапом дослідження було моделювання власних коливань решітчастих дворядних робочих лопаток.

За результатами розрахунків отримано спектри власних форм коливань решітчастих дворядних лопаток вентилятора.

Аналіз спектрів власних форм коливань решітчастих дворядних лопаток показує, що при застосуванні трьох перетинок у решітчастому дворядному РК досягається відсутність перетинання лопаток першого і другого ряду до 15 гармонік.

При застосуванні перегородок характер коливань та місце вузлових ліній суттєво змінюється, починаючи вже з другої форми власних коливань. Це можна пояснити тим, що при наявності перегородок дворядна лопатка виступає вже єдиною системою.

Аналіз спектру власних коливань досліджуваних лопаток показав, що частота коливань дворядної лопатки набагато зменшується в порівнянні з однорядною. Однак решітчасті дворядні лопатки мають частоту власних коливань вище, ніж дворядна лопатка без перетинок. Збільшення частоти коливань відбувається при збільшенні кількості перетинок дворядної лопатки.

За результатами проведеного моделювання було побудовано діаграми Кемпбелла.

Аналіз отриманих частотних діаграм показав, що для дворядної лопатки будуть виникати резонансні коливання на досліджених режимах роботи двигуна, на відміну від решітчастої дворядної лопатки.

На основі проведених досліджень, результати, якого представлено в 2, 3 та 4 розділі в роботі запропоновано удосконалену методику вибору параметрів решітчастого дворядного вінця робочого колеса вентилятора ТРДД.

Удосконалена методика вибору параметрів решітчастих дворядних РК вентилятора ТРДД дозволяє врахувати аеродинамічні та частотні характеристики власних коливань решітчастих дворядних лопаток вентилятора ТРДД.

7. Зауваження до роботи.

1. Згідно з теорією решітчастих крил, вони мають більший аеродинамічний опір. В дисертації доцільно було б оцінити силу опору решітчастих дворядних робочих коліс вентилятора.

2. Автору доцільно було б більш повно описати запропоновану методику вибору параметрів решітчастого дворядного робочого колеса вентилятора.

3. В дисертації показано, що автор дослідив три варіанти розташування перетинок в решітчастому дворядному робочому колесі вентилятора. Доцільно було б виконати оптимізацію кількості та місця розташування перетинок з цільовою функцією оптимізації – мінімізація гідравлічних втрат в решітчастому дворядному робочому колесі.

4. Нажаль розрахункова сітка для досліджуваних решітчастих дворядних лопаток, представлена на стор. 11, не дає якісної та кількісної оцінки розрахункової сітки. Автору доцільно було б надати фрагмент розрахункової сітки досліджуваного решітчастого робочого колеса вентилятора.

Висновок.

Висловлені зауваження суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Балалаєва А.В.

В цілому можна констатувати, що дисертаційна робота Балалаєва А.В. є завершеним науковим дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати. На базі узагальнення результатів вирішено науково-прикладне завдання - підвищення ефективності робочих коліс вентиляторів двоконтурних турбореактивних двигунів шляхом застосування решітчастих дворядних робочих коліс.

Дисертаційна робота і автореферат оформлені з дотриманням вимог, встановлених МОН України. Автореферат відповідає змісту дисертації.

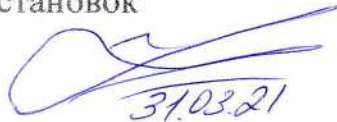
Зважаючи на актуальність теми досліджень Балалаєва А.В., ступінь обґрунтованості наукових результатів роботи, новизну та повноту викладу результатів в опублікованих працях автора, вважаю, що дисертація Балалаєва Антона Валерійовича «Характеристики решітчастого дворядного робочого колеса вентилятора двоконтурного турбореактивного двигуна» відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, 13, 14 чинного «Порядку присудження наукових ступенів», що висувається до дисертації, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент

кандидат технічних наук,

начальник відділу силових установок

ДП «Антонов»



31.03.21

В.Ю. Усенко

Підпис Усенка В.Ю.

ЗАСВІДЧУЮ

Головний конструктор

ДП «Антонов»



О.В. Тижнов