

ВІДГУК

офіційного опонента, завідувача кафедри турбінобудування
Національного технічного університету «Харківський політехнічний
інститут», доктора технічних наук, старшого наукового співробітника
Усатого Олександра Павловича

на дисертаційну роботу
ДУЛЄПОВА АНДРІЯ АНДРІЙОВИЧА

на тему «Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного
двигуна шляхом застосування надроторного пристрою», представлену на
здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 «Енергетичне
машинобудування»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-прикладного завдання підвищення ефективності та економічності газотурбінних двигунів у сучасній авіації. Актуальність дослідження зумовлена тенденцією до застосування турбореактивних двоконтурних двигунів із високим ступенем двоконтурності, у яких параметри вентилятора впливають на роботу двигуна в цілому. З метою зменшення ваги авіаційних двигунів останнього покоління відмовляються від вхідного напрямного апарату, що, однак, спричиняє нерівномірність потоку на вході та потенційно негативно впливає на роботу вентилятора та компресора. Одним із перспективних шляхів удосконалення характеристик лопаткових машин є керування примежовим шаром, що сприяє підвищенню аеродинамічного навантаження, стабілізації потоку та розширенню діапазону стійкої роботи. Серед пасивних методів керування примежовим шаром особливу увагу приділено застосуванню турбулізаторів, вихорових генераторів, акустичних резонаторів та надроторних пристроїв. Важливою перевагою надроторних пристроїв є їхня енергоефективність, оскільки вони не потребують додаткового енергопідведення, а їх використання спрямоване на мінімізацію радіальних втрат у лопатковому вінці. Незважаючи на перспективність цього методу, питання оптимального вибору параметрів надроторних пристроїв залишається відкритим, оскільки відсутні достатні рекомендації щодо їх ефективного застосування у вентиляторах ТРДД із високим ступенем двоконтурності.

Таким чином, проведене дослідження є актуальним і має важливе науково-практичне значення для подальшого розвитку технологій авіаційних газотурбінних двигунів, спрямованих на підвищення їх ефективності, надійності та економічності.

Робота відповідає основним напрямам Стратегії відродження вітчизняного авіабудування на період до 2030 року згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8.07.2020 року №851-р та Державній цільовій науково-технічній програмі розвитку авіаційної промисловості на 2021-2030 роки відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України №951 від 01.09.2021 року.

Зміст роботи

Структура дисертаційної роботи є логічно вибудованою та аргументованою, відповідає вимогам наукових досліджень. Вона містить анотації українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи з висновками до кожного з них, загальні висновки, два додатки та список використаних джерел, що складається з 95 позицій на 11 сторінках.

У *вступі* розкрито актуальність дослідження, визначено його мету й основні завдання, а також наведено обґрунтування зв'язку роботи з науковими темами. Автором представлено наукову новизну отриманих результатів, їх практичну значущість, а також проаналізовано особистий внесок у публікаціях та матеріалах дослідження. Окрім того, подано кількісні характеристики щодо структури й обсягу дисертації.

У *першому розділі* проведено аналіз та класифікацію методів керування примежовим шаром, висвітлено місце НРП у загальній системі газотурбінного двигуна. Автор визначає НРП як пасивний метод керування примежовим шаром, що сприяє покращенню характеристик вентилятора та розширенню діапазону його стабільної роботи. Разом із тим, наголошується на недостатності досліджень щодо застосування НРП у ТРДД із високим ступенем двоконтурності, що потребує розробки відповідної методики розрахунку параметрів вентилятора та формулювання рекомендацій щодо використання НРП у таких конструкціях.

Другий розділ присвячено розробці методики розрахунку параметрів вентилятора ТРДД з НРП шляхом числового моделювання. Визначено параметри експерименту, обрано топологію розрахункової сітки та модель турбулентної в'язкості. Проведено моделювання течії й порівняння характеристик вентилятора без НРП та з НРП із варіацією кількості стінок. Визначено оптимальний варіант конструкції НРП, а у випадках, коли його застосування погіршувало параметри вентилятора, виконано повторне коригування.

Третій розділ містить обґрунтування параметрів числового експерименту для моделювання течії у вентиляторі ТРДД. Проведено аналіз методів дослідження та експериментальних підходів, визначено їх переваги й недоліки. Описано основи числового моделювання та виконано тестові розрахунки для одноступеневого компресора Rotor 37. Зіставлено результати фізичного та числового експерименту, що дозволило обрати оптимальну модель турбулентної в'язкості для подальших досліджень – SST Ментера.

Четвертий розділ містить рекомендації щодо застосування НРП у вентиляторі ТРДД із високим ступенем двоконтурності. За результатами моделювання оцінено вплив різної кількості стінок НРП на робочі характеристики вентилятора. Встановлено, що двостінковий НРП підвищує ступінь підвищення тиску на 1–2,1% і розширює діапазон стабільної роботи вентилятора. Запропонована конструкція дозволяє активувати НРП лише за необхідних режимів, зберігаючи ефективність вентилятора в інших умовах експлуатації.

У *загальних висновках* узагальнено ключові результати дисертаційної роботи, що формують науково-прикладну методику числового моделювання

параметрів вентилятора ТРДД з НРП, спрямовану на покращення його характеристик у складі газотурбінного двигуна.

Список використаних джерел та їх цитування в тексті дисертації свідчить про проведений ґрунтовний аналіз сучасних наукових досліджень у межах обраної тематики.

У додатках містяться довідка про впровадження отриманих результатів дисертаційної роботи, а також список наукових публікацій здобувача.

Тема дисертаційної роботи, її зміст, об'єкт і предмет дослідження відповідають спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» та галузі знань 14 «Електрична інженерія».

Оформлення дисертаційної роботи здійснено відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше отримано витратну характеристику для вентилятора з надроторним пристроєм турбореактивного двоконтурного двигуна з високим ступенем двоконтурності методом числового експерименту;

2. Удосконалено параметри вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з високим ступенем двоконтурності шляхом застосування надроторного пристрою;

3. Отримала подальший розвиток теорія теплових двигунів у питаннях покращення характеристик вентиляторів турбореактивних двоконтурних двигунів з високим ступенем двоконтурності шляхом застосування надроторних пристроїв.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, викладені в дисертаційній роботі, відповідають встановленим вимогам до досліджень такого типу. Отримані наукові результати є достовірними, аргументованими та ґрунтуються на перевірених методах дослідження. Їхня обґрунтованість забезпечується чітким формулюванням завдань, коректно обраною методологією, широкою джерельною базою, застосуванням перевірених методик і методів, а також порівнянням результатів тестових задач із загальновідомими даними фізичних експериментів.

Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування розробленої методики розрахунку параметрів вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надроторним пристроєм, а також науково обґрунтованих рекомендацій щодо його використання у вентиляторах. Запропоновані методи можуть бути ефективно використані при створенні перспективних конструкцій та удосконаленні існуючих ТРДД з високим ступенем двоконтурності, що сприяє підвищенню їх ефективності та надійності.

Практичне значення проведеного дослідження підтверджується офіційними документами про впровадження отриманих результатів на АТ «Антонов».

Повнота викладення основних результатів дисертації

Основні результати дисертаційної роботи представлені у 14 наукових публікаціях, серед яких 4 статті опубліковані у журналах, що входять до переліку фахових видань зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування», категорія «Б», а 10 – у матеріалах і тезах доповідей на науково-технічних конференціях.

Основні теоретичні положення, результати та висновки дисертаційного дослідження були представлені автором, обговорені та отримали позитивну оцінку на засіданнях кафедри авіаційних двигунів Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут» (м. Київ, Україна, 2021-2024 рр.); VII Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Енергетична безпека та енергоефективність на транспорті» (м. Київ, 30 листопада 2021 р.); XXII Міжнародній науково-практичній конференції «Політ. Сучасні проблеми науки. Сучасні авіаційні технології» (м. Київ, 5-7 квітня 2022 р.); XXVII Міжнародному конгресі двигунобудівників (м. Харків, 5-10 вересня 2022 р.); X Всесвітньому конгресі «Авіація в ХХІ сторіччі» (м. Київ, 28-30 вересня 2022 р.); XXIII Міжнародній науково-технічній конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» (м. Київ, 15-16 грудня 2022 р.); IX Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Енергетична безпека та енергоефективність на транспорті» (м. Київ, 28 лютого 2023 р.); XXIII Міжнародній науково-практичній конференції «Політ. Сучасні проблеми науки. Сучасні авіаційні технології» (м. Київ, 4-7 квітня 2023 р.); XXVIII Міжнародному конгресі двигунобудівників (м. Харків, 5-8 вересня 2023 р.); XXIX Міжнародному конгресі двигунобудівників (м. Харків, 3-7 вересня 2024 р.).

Представлені результати засвідчують актуальність дослідження та його значний внесок у розвиток наукових підходів до вдосконалення газотурбінних двигунів. Отже, обсяг опублікованих матеріалів повністю відображає зміст дисертаційної роботи та є достатнім.

Особистий внесок здобувача

Основні результати дослідження, концепція роботи, її положення та підходи до вирішення поставлених задач були самостійно розроблені автором. Усі висновки та наукові ідеї ґрунтуються на проведеному аналізі, числовому моделюванні та обґрунтованих методах дослідження, що підтверджує особистий внесок здобувача у науковий розвиток теми.

Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи

1. В дисертаційній роботі розрахунок характеристики досліджуваного вентилятора ТРДД наведено без урахування змінних параметрів довкілля.
2. В дисертаційній роботі доцільно було б при дослідженні напірної характеристики вентилятора з надроторним пристроєм надати більш детальний аналітичний опис отриманих результатів, а також провести порівняння отриманих результатів з фізичним експериментом.

3. Підрозділ дисертації 3.1. містить досить багато загальновідомої інформації. В той же час, в розділі 3.3 недостатньо розкрито питання постановки задачі моделювання обтікання ступеня осевого компресора.

4. Із матеріалів дисертації не зрозуміло чи враховувався аеропружний обмін енергією між повітрям та лопатями вентилятора ТРДД з метою перевірки можливості виникнення резонансних коливань лопатей і флатера.

5. В дисертаційній роботі варто було б розглянути питання оптимального проектування (в класичній постановці) конструкцій надроторного пристрою з метою отримання найефективнішого рішення.

Загальна оцінка дисертаційної роботи, її відповідність існуючим вимогам та висновки

Виявлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Мета та завдання дослідження повністю реалізовані, а отримані результати мають наукову новизну й значну практичну цінність. Зміст дисертації відповідає її темі, а всі положення, винесені до захисту, детально висвітлені у тексті роботи. Дисертація має ґрунтовне теоретичне та методологічне обґрунтування, оформлена відповідно до чинних державних стандартів.

Дисертаційна робота Дулепова Андрія Андрійовича на тему «Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою» є завершеним науковим дослідженням, спрямованим на вирішення актуальної науково-прикладної задачі.

Дисертація відповідає спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування», вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року №261 (зі змінами), та вимогам пунктів 6–9 чинного «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44 (зі змінами), а автор дисертаційної роботи, Дулепов Андрій Андрійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування».

**офіційний опонент,
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач кафедри турбінобудування
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»**



Підпис **Олександр УСАТИЙ**
СВІДЧУЮ:
ЗАКРЕДИТОВАНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
" " 20 р.