

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. президента державного некомерційного підприємства “Державний університет “Київський авіаційний інститут”



Ксенія СЕМЕНОВА

« 29 » квітня 2025 року

ВИСНОВОК

Державного некомерційного підприємства “Державний університет “Київський авіаційний інститут” (далі – КАІ) про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Дулепова Андрія Андрійовича, поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 “Енергетичне машинобудування” на тему “Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою”

Витяг

із протоколу № 4 розширеного засідання
кафедри авіаційних двигунів КАІ
від 28 березня 2025 року

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники кафедри авіаційних двигунів:

Головуючий на засіданні – зав. кафедри, д.т.н., професор Терещенко Ю.М.
Андрієць О.Г., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Балалаєва К.В., д.т.н., доцент, професор кафедри;
Корольов П.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Якушенко О.С., к.т.н., с.н.с, доцент кафедри;
Волянська Л.Г., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Терещенко Ю.Ю., д.т.н., доцент, доцент кафедри;
Гвоздецький І.І., к.т.н., доцент, доцент кафедри;
Ратинський В.В., к.т.н., доцент кафедри
Чумак О.І., старший викладач кафедри;
Нікітіна Г.М., старший викладач кафедри;

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники інших кафедр КАІ:

Мікосянчик О.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів;

Попов О.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден.

Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники з інших навчальних закладів та наукових установ:

Мітрахович М.М., д.т.н., професор, заступник директора АТ «Івченко-Прогрес».

Присутні на засіданні аспіранти кафедри авіаційних двигунів:

Мельченко А.В., аспірант другого року навчання, спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування».

Серед присутніх 5 докторів технічних наук і 7 кандидатів технічних наук (10 – фахівці зі спеціальності, з якої виконувалась дисертація)

Порядок денний:

Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта кафедри авіаційних двигунів КАІ Дулепова Андрія Андрійовича на тему “Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 “Електрична інженерія” за спеціальністю 142 “Енергетичне машинобудування”.

Науковий керівник – д.т.н., доцент, професор кафедри авіаційних двигунів Аерокосмічного факультету КАІ Балалаєва Катерина Вікторівна.

Дисертація виконувалась на кафедрі авіаційних двигунів Аерокосмічного факультету КАІ. Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Аерокосмічного факультету КАІ (протокол № 9 від 18 листопада 2021 року).

Виступили:

Здобувач Дулепов Андрій Андрійович представив презентацію за основними положеннями дисертації “Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 “Електрична інженерія” за спеціальністю 142 “Енергетичне машинобудування”.

Добрий день, шановні члени розширеного засідання кафедри авіаційних двигунів та всі присутні! До Вашої уваги пропонується результати дисертаційного дослідження у вигляді дисертаційної роботи аспіранта кафедри авіаційних двигунів Державного університету «Київський авіаційний інститут» Дулепова Андрія Андрійовича на тему «Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою». Дисертація подається на здобуття наукового ступеня PhD (доктора філософії) за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування, галузь знань 14 – Електрична інженерія. Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент, професор кафедри авіаційних двигунів Балалаєва Катерина Вікторівна.

Ефективність та економічність ГТД залежить від багатьох параметрів, в тому числі, від аеродинамічної навантаженості вентилятора та компресора, високого запасу газодинамічної стійкості вентилятора та компресора, коефіцієнту корисної дії (ККД) всіх його вузлів та ін. Тенденціями сучасної авіації є застосування турбореактивних двоконтурних двигунів (ТРДД) з високим та надвисоким ступенем двоконтурності. Одним із важливих вузлів

таких ГТД є вентилятор. Задля зменшення ваги літака розробники ГТД п'ятого та шостого покоління відмовляються від вхідного напрямного апарату. Відмова від вхідного напрямного апарату підвищує рівень нерівномірності потоку на вході, що може негативно сказатися на характеристиках як вентилятора, так і всього компресора. Забезпечення стійкої роботи вентилятора в широкому діапазоні експлуатаційних режимів є вкрай важливим для забезпечення високого рівня надійності літака. Тому удосконалення характеристик вентилятора ТРДД з високим та надвисоким ступенем двоконтурності є важливою науково-прикладною задачею. Застосування керування примежовим шаром у лопаткових вінцях лопаткових машин дозволяє покращити їх характеристики, підвищити аеродинамічну навантаженість, забезпечити високий запас газодинамічної стійкості, розширити діапазон стійкої роботи. Активні методи управління примежовим шаром – ежекція, всмоктування, застосування приводів штучного струменя повітря та плазмового приводу потребують додаткового підводу енергії. Серед пасивних методів керування примежовим шаром можна виділити турбулізатори у формі генераторів вихорів, акустичні резонаторів та НРП.

Перевагою застосування НРП є відсутність потреби підводу додаткової енергії. Їх основна задача полягає в зменшенні радіальних втрат в лопатковому вінці. Однак залишається не до кінця вирішена задача раціонального вибору параметрів НРП, не отримано рекомендації щодо їх застосування для вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності. Тому тема дисертаційної роботи є актуальною і має важливе науково-прикладне значення.

Метою дослідження є покращення характеристик вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою. Для виконання поставленої мети сформульовано та розв'язано наступні завдання: розробити методику розрахунку параметрів вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надроторним пристроєм; провести обґрунтований вибір параметрів числового експерименту моделювання течії в вентиляторі газотурбінного двигуна; отримати характеристики вентилятора у вигляді залежності ступеня підвищення тиску та ККД від масової витрати на основі моделювання течії у вентиляторі турбореактивного двоконтурного двигуна з різними варіантами виконання надроторного пристрою вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна; розробити рекомендації щодо застосування надроторного пристрою у вентиляторі турбореактивного двоконтурного двигуна. Об'єкт дослідження: робоче колесо вентилятора ТРДД з НРП. Предмет дослідження: робочий процес осьового вентилятора ТРДД з НРП.

Теоретична частина дослідження ґрунтується на методах теорії лопаткових машин, теорії теплових двигунів та методах примежового шару, за допомогою яких спроектовані досліджуваний вентилятор з надроторним пристроєм; експериментальна частина дослідження ґрунтується на методах числового експерименту та методах математичного моделювання, які дозволили дослідити характеристики вентилятора з над роторним пристроєм; методах аналізу і синтезу, на основі яких проаналізовано отримані характеристики вентилятора з надроторним пристроєм. Головні теоретичні положення, результати досліджень та висновки доповідалися автором,

розглядалися та здобули позитивний відгук на засіданнях кафедри авіаційних двигунів «Державного університету «Київський авіаційний інститут» протягом 2021-2024 рр. Робота складається з анотацій українською та англійською мовами, списку наукових праць здобувача, вступу, чотирьох розділів, висновків, двох додатків і списку використаних джерел зі 95 пунктів на 11 сторінках. Загальний об'єм дисертаційної роботи становить 142 сторінки, у тому числі основний текст роботи викладено на 110 сторінках. Всього в роботі 37 ілюстрацій, 2 таблиці.

Головні результати дисертаційної роботи представлено в 4 наукових статтях, опублікованих в журналах, що входять до категорії «Б» переліку фахових видань спеціальності 142, 10 тезах доповідей науково-технічних конференцій. Гіпотеза дослідження: застосування НРП у ступені вентилятора ГТД дозволяє зменшити кут атаки потоку на вході та забезпечити покращення газодинамічної стійкості процесу течії, аеродинамічної навантаженості вентилятора. У роботі планується усунення невідповідностей між результатами числового моделювання та даними фізичного експерименту через розв'язування тестової задачі; застосованими методами та сформульованими завданнями під час дослідження.

Головні положення та результати роботи було представлено та обговорено на 9 наукових заходах протягом 2021-2024 рр., детальний перелік наведено на слайді презентації.

Перше завдання дослідження було виконане через розробку методики розрахунку параметрів вентилятора ТРДД з надроторним пристроєм. На слайді наведено алгоритм розрахунку відповідно до сформульованої методики. З метою вибору та обґрунтування параметрів числового експерименту спочатку необхідно провести тестову задачу, яка дозволяє валідувати запропоновану у дослідженні математичну модель робочого процесу колеса вентилятора з фізичною моделлю ротора аналогічної конструкції. Якщо після порівняння витратних характеристик буде відбуватися значне розходження результатів – необхідно змінити модель турбулентної в'язкості або математичну модель об'єкта, що досліджується. В подальшому необхідно виконати числовий експеримент з течією в сконструйованому робочому колесі вентилятора ТРДД без НРП. Результати, отримані в ході дослідження, необхідно оформити у вигляді характеристики вентилятора в заданому діапазоні масових витрат та частоти обертання вентилятора. З метою розширення діапазону експлуатаційних режимів та зсунення границі газодинамічної стійкості вліво, доцільно проводити дослідження течії у вентиляторі біля границі газодинамічної стійкості. Задля подальшого удосконалення роботи вентилятора необхідно застосувати пасивний метод керування примежовим шаром у вигляді НРП. При раціональній конструкції НРП це дозволить покращити характеристики вентилятора, звинувши границю газодинамічної стійкості вліво, що дасть можливість розширити діапазон стійкої роботи вентилятора. Наступний етап - проектування НРП, вибір кількості стінок, їх товщини і т.д. Наступним кроком є покрокове дослідження течії у вентиляторі з кожним із обраних варіантів НРП ТРДД з високим ступенем двоконтурності за допомогою метода числового експерименту. За отриманими результатами будуються характеристики вентилятора з НРП в заданому діапазоні масових

витрат та частот обертання ротора. Після отримання серії характеристик вентилятора з різними варіантами НРП проводиться порівняння і оцінка щодо можливості покращення характеристики вентилятора на заданих режимах роботи. Якщо ступінь підвищення тиску лишиться таким же або стане меншим – необхідно повернутися до етапу проектування НРП та змінити кількість стінок в ньому.

Друге завдання було реалізовано через проведення обґрунтованого вибору параметрів числового експерименту моделювання течії. Було проведено тестову задачу щодо вибору таких параметрів. Тестова задача під час чисельного експерименту є дуже важливим етапом, тому що саме він дозволяє визначитися з моделлю турбулентної в'язкості, яка найкраще розкриває та описує фізичні явища, що необхідно дослідити. Досліджуваний компресор Rotor 37 налічує один лопатковий вінець у формі робочого колеса.

Моделювання течії проводилось шляхом розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса, що замикалась різними моделями турбулентної в'язкості. Під час дослідження було застосовано сім моделей турбулентної в'язкості: k- ϵ , k- ϵ EARSM, SST, BSL, BSL Reynolds Stress, SSG Reynolds Stress, QI Reynolds Stress. Для цілей моделювання було побудовано розрахункову сітку, яка має адаптацію примежевого шару. На вході у робоче колесо задавалась витрата повітря. Моделювання течії проводилось за стандартних атмосферних умов. Результати чисельного моделювання порівнювались з результатами фізичного експерименту.

Під час моделювання витрата повітря на вході змінювалась в межах від 13,5 до 16,25 кг/с, частота обертання була сталою. За отриманими результатами моделювання течії у Rotor 37 отримано залежність ступеня підвищення тиску від витрати повітря. Аналіз похибки розрахунку для визначеного діапазону масових витрат повітря, яка була отримана під час моделювання течії з різними моделями турбулентної в'язкості, показав, що модель турбулентної в'язкості k- ϵ має похибку розрахунку від 0,13% до 5,8%, модель турбулентної в'язкості k- ϵ EARSM має похибку розрахунку від 0,07% до 5,32%, модель турбулентної в'язкості SST від 0,28% до 5,5%, модель турбулентної в'язкості BSL від 0,55% до 5,82%, модель турбулентної в'язкості BSL Reynolds Stress від 0,1% до 5,15%, модель турбулентної в'язкості SSG Reynolds Stress від 0,13% до 4,97%, модель турбулентної в'язкості QI Reynolds Stress від 0,13% до 5,4%. Під час моделювання течії на заданому режимі в компресорі Rotor 37 у всіх випадках окрім моделювання з моделлю турбулентної в'язкості BSL графік залежності має схожий характер.

Похибка розрахунків зростає для всіх варіантів. Найменшу похибку мають результати під час моделювання течії з моделлю турбулентної в'язкості SSG Reynolds Stress. Необхідно підкреслити, що результати розрахунку під час моделювання течії з іншими моделями турбулентної в'язкості не перевищують 5,8%, що є прийнятним для моделювання течії в лопаткових машинах. Важливим фактором, який не варто забувати при моделюванні є час розрахунку. У даному випадку найменший час розрахунку використала модель SST. Існують певні відмінності під час моделювання течії з моделями турбулентності SST та BSL RS. Дані відмінності стосуються зони обтікання від втулки до середнього радіусу лопаткового вінця, можна проспостерігати

невеликі завихрення, однак в інших зонах характер обтікання є аналогічним. Для подальших досліджень обрано модуль турбулентності SST Ментера.

Третє завдання було виконане через отримання витратних характеристик вентилятора у вигляді залежності ступеня підвищення тиску та ККД від масової витрати на основі моделювання течії у вентиляторі з різними варіантами виконання надроторного пристрою. Об'єктом дослідження є робоче колесо вентилятора ТРДД з ВСД, що має периферійний діаметр - 2,338 м, втулковий діаметр - 0,652 м, кількість лопаток - 33.

Спочатку було проведено моделювання течії у вентиляторі без надроторного пристрою. Моделювання течії проводилося шляхом вирішення системи рівнянь Нав'є-Стокса, яка замикалась моделлю турбулентної в'язкості SST, в програмному середовищі ANSYS Student. Для моделювання було створено розрахункову сітку з адаптацією примежового шару, з кількістю елементів 1199803 шт., вузлів – 331685 шт. На вході було задано осьову швидкість, на виході - масову витрату повітря. Моделювання течії проводилося при температурі навколишнього середовища $+15^{\circ}\text{C}$ та атмосферному тиску 101325 Па. Валідація даної математичної моделі була виконана у тестовій задачі. Під витратною характеристикою мається на увазі залежність ступеня підвищення тиску від масової витрати повітря. Отримано дані, які використано для побудови графіку витратної характеристики на різних режимах роботи досліджуваного вентилятора.

Найменша інтенсивність вихороутворень спостерігається при роботі на відносній частоті обертання 70%. При режимі роботи на відносній частоті обертання 90% спостерігається зміщення вихрової зони обтікання у периферійну частину лопаткового вінця. При режимі роботи на відносній частоті обертання 85% характер обтікання досить схожий, вихрова область займає місце від середнього діаметру до кінцевого. При зниженні частоти обертання до 80% зона вихроутворень зменшується і концентрується вище середнього діаметру лопатки. Наявна нерівномірність потоку за вихідними кромками лопаток вентилятора в області вище середнього діаметру. Вихори мають різну інтенсивність в різних місцях, що негативно впливає на робочий процес у вентиляторі та може викликати появу періодичної колової та радіальної нерівномірності потоку і як наслідок зрив, вібрацію вентиляторних лопаток. Вирішити таку проблему може застосування методів керування примежовим шаром, зокрема застосування НРП.

Наступним кроком було виконання моделювання течії у вентиляторі з надроторним пристроєм. Об'єктом дослідження є робоче колесо вентилятора з НРП ТРДД з ВСД. Досліджується два варіанти НРП: без стінки та зі стінкою і радіальним зазором 1 мм. Робоче колесо вентилятора має периферійний діаметр - 2,338 м, втулковий діаметр - 0,652 м, кількість лопаток - 33.

Досліджена конструкція НРП - щілинного типу з різною кількістю щілин. Особливістю дослідженої конструкції є два режими роботи НРП – перший режим - відкриті щілини, другий режим – закриті щілини за допомогою спеціальних заслонок (рис.4.5). Наявність двох режимів роботи обумовлена тим, що, як показав проведений аналіз попередніх досліджень інших авторів, НРП не може ефективно працювати на всіх режимах роботи

двигуна. Представлена конструкція дозволить «включати» НРП тільки на тих режимах, де буде в цьому необхідність.

Моделювання течії відбувалося через розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса, яка замикалась моделлю турбулентної в'язкості SST, в програмному середовищі ANSYS Student. Було створено розрахункові сітки з кількістю вузлів – 174377 та 174492 шт. й елементів 963285 та 963195 шт. відповідно для двох різних геометричних моделей досліджуваних робочих коліс вентилятора з НРП. На вході було задано осьову швидкість, на виході масову витрату повітря. Валідація даної математичної моделі була виконана у тестовій задачі.

При проведенні серії числових експериментів з робочим колесом вентилятора з двома варіантами НРП ТРДД з ВСД отримано дані, які використано для побудови графіків залежності ступеня підвищення тиску від масової витрати повітря вентилятора для визначеного діапазону відносної частоти обертання. Також для оцінки впливу НРП на ступінь підвищення тиску РК вентилятора на вищезазначених графіках додано дані щодо залежності ступеня підвищення тиску від масової витрати для цього РК вентилятора без НРП.

Наявність однієї стінки у НРП робочого колеса вентилятора впливає на ступінь підвищення тиску не суттєво. Для розглянутого діапазону частот ступінь підвищення тиску відрізняється до 0,9%. При порівнянні характеристик вентилятора без НРП, з НРП без стінки та з НРП зі 1 стінкою, треба відмітити, що ступінь підвищення тиску в усіх діапазонах масової витрати є більшим для вентилятора без НРП.

Аналіз візуалізацій ліній току при обтіканні вентилятора показав, що наявність НРП впливає на характер обтікання в робочому колесі. З дослідженими конфігураціями НРП спостерігається зменшення інтенсивності зони вихрового обтікання за лопатковим вінцем. Зона підвищених швидкостей зменшується майже вдвічі та зникає з периферійної частини лопаткового вінця. Можна зробити висновок, що наявність НРП позитивно впливає на характер обтікання робочого колеса вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності.

НРП – це спосіб пасивного методу керування примежовим шаром в потоці осевих вентиляторів та компресорів, метою якою є збільшення газодинамічної стійкості процесу течії за рахунок зменшення кута атаки на вході, а також ККД, запасу стійкості роботи лопаткових машин, та за можливості зменшення радіальних перетікань й колових нерівностей, що призводять до появи областей обертових зривів, які можуть спричинити процеси запирання потоку та помпажу в турбомашинах. Нині ж лишаються недостатньо глибоко вивчені параметри надроторного пристрою, відсутній їх чіткий опис, не надано методику розрахунків таких параметрів для конкретних випадків застосування та рекомендації щодо їх раціонального використання в вентиляторах ТРДД з ВСД.

Наступним кроком було обґрунтування параметрів надроторного пристрою. З цією метою було виконано додаткові моделювання течії. Об'єктом дослідження є робоче колесо вентилятора з НРП ТРДД з ВСД. Досліджується два додаткові варіанти НРП: : з двома стінками і радіальним зазором та трьома

стінками і радіальним зазором. Робоче колесо вентилятора має периферійний діаметр - 2,338 м, втулковий діаметр - 0,652 м, кількість лопаток - 33.

Моделювання течії було виконано через розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса, яка замикалась моделлю турбулентної в'язкості SST, в програмному середовищі ANSYS Student. Було створено розрахункові сітки з кількістю вузлів – 174383 та 175734 шт. й елементів 962400 та 968769 шт. відповідно для двох різних моделей досліджуваних робочих коліс вентилятора з НРП. На вході до робочого колеса було задано осьову швидкість, на виході з нього було задано масову витрату повітря. Валідацію математичної моделі було виконано в тестовій задачі.

В результаті, з двома додатковими варіантами НРП ТРДД з високим ступенем двоконтурності було отримано дані, котрі було використано з метою побудови графіків витратної характеристики. Для можливості виконання загальної оцінки впливу НРП на течію у робочому колесі вентилятора при чотирьох варіантах виконання НРП на відповідні графіки додано витратні характеристики робочого колеса без надроторного пристрою, з НРП без стінки та з НРП з однією стінкою та радіальним зазором.

Наявність трьох стінок та радіального зазору у НРП робочого колеса вентилятора значно впливає на ступінь підвищення тиску, адже за вищевказаного діапазону відносних частот обертання ступінь підвищення тиску є відмінним не більше, ніж на 2,1% у порівнянні з НРП без стінки, та не більше, ніж на 2,5% у порівнянні з НРП з однією стінкою та радіальним зазором. Наявність двох стінок дозволила значно збільшити значення ступеня підвищення тиску для всіх відносних частот обертання в робочому колесі вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності. Після порівняння з робочим колесом вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності без НРП було зроблено висновок, що за відносної частоти обертання $n=70\%$ для значення ступеня підвищення тиску π було досягнуто максимального збільшення до 1,9% за масової витрати 523 кг/с; для $n=80\%$ - до 1,9% за масової витрати 575 кг/с; для $n=85\%$ - до 2% за масової витрати 680 кг/с; для $n=90\%$ - до 1,4% за масової витрати 810 кг/с; для $n=95\%$ - до 2,3% за масової витрати 732 кг/с; для $n=100\%$ до 2% за масової витрати 680 кг/с.

Аналіз візулізацій ліній току при обтіканні робочого колеса вентилятора відобразив, що наявність кількох стінок в НРП суттєво впливає на течію у вентиляторі. Наявність трьох стінок незначно змінила характер течії, даний тип НРП дозволив отримати менш інтенсивні зони вихрового обтікання за лопатковим вінцем.

Наявність двох стінок в НРП дозволила, окрім зменшення кількості вихорів, також позитивно вплинути на зони понижених швидкостей. Останні практично не присутні в периферійній частині робочого колеса при забезпеченні збільшеного ступеня підвищення тиску.

Параметр, який безпосередньо впливає на характер течії – кількість стінок в НРП. Від даного параметру залежить кількісне підвищення тиску та зміна ККД ступеня вентилятора. На слайді узагальнені результати виконаних числових експериментів в рамках дисертаційного дослідження. За наявності

стінок в НРП радіальний зазор становить 1 мм. Взято відношення між отриманими значеннями ступеню підвищення тиску для відносної частоти обертання 90% за масової витрати повітря 732 кг/с. Варіант пристрою, для якого розраховано покращення/погіршення у відсотковому відношенні відносно іншого типу пристрою, знаходиться в першій колонці по вертикалі. Червоним кольором подано погіршення, зеленим – покращення.

Дане завдання було реалізовано і через розрахунок ККД ступеня вентилятора. ККД вентилятора є важливим параметром, який дозволяє оцінити ефективність застосування того чи іншого варіанту надроторного пристрою в цілому в межах ГТД. У рамках дисертаційної роботи було розглянуто 4 варіанти надроторного пристрою. Для кожного з них було розраховано ККД за діапазону значень відносної частоти обертання 70-100% та значень осевої швидкості на вході до ступеня вентилятора в межах 90...160 м/с. Для об'єктивності та можливості оцінки загального впливу кожного з варіантів НРП було додатково розраховано ККД для ступеня вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності без НРП за таких же параметрів потоку.

У порівнянні з вентилятором без НРП варіант НРП без стінки забезпечив зменшення ККД для всіх відносних частот обертання в діапазоні 10,82%...22,54%. Після порівняння варіанту НРП з однією стінкою та радіальним зазором 1 мм з вентилятором без НРП було отримано зменшення ККД за всіх відносних частот обертання в межах від 6,18% до 19,1%. У порівнянні з вентилятором без НРП варіант НРП з двома стінками та радіальним зазором 1 мм забезпечив аналогічно забезпечив зменшення ККД за всіх відносних частот обертання від 10,05% до 24,47%.

Варіант НРП з трьома стінками та радіальним зазором забезпечує найменше погіршення показників параметру ККД ступеня вентилятора серед розглянутих варіантів НРП, а за деяких значень масової витрати навіть дозволяє збільшити ККД в межах до 0,76...3,48% у порівнянні з ступенем вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності без НРП.

Останнє завдання було виконане шляхом розробки рекомендацій щодо застосування НРП у вентиляторах ТРДД. НРП рекомендується застосовувати для зменшення кута атаки на вході у робоче колесо вентилятора з метою підвищення газодинамічної стійкості течії, а також збільшення аеродинамічної навантаженості осевих вентиляторів та компресорів, де наявні радіальні перетікання та спостерігається значний вплив примежового шару на роботу вузла та ГТД в цілому. НРП рекомендується застосовувати у ступенях вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності, в яких можлива поява нерівномірності потоку на вході до ступеня або областей підвищених швидкостей на вихідних кромках робочих лопаток.

З метою збільшення газодинамічної стійкості роботи ГТД застосування НРП з 2 стінками дозволило збільшити ступінь підвищення тиску від 1% до 2,1 % та змістити лінію зриву на витратній характеристиці вліво (рис. 4.13), що покращило діапазон стійкості роботи вентилятора. Запропонована конструкція вентилятора з НРП дає змогу використати НРП на певних режимах у разі потреби, а це не погіршить роботу ступеня вентилятора на інших режимах.

Наукова новизна дослідження полягає в наступному: вперше отримано витратну характеристику для вентилятора з надроторним пристроєм ТРДД з високим ступенем двоконтурності методом числового експерименту; удосконалено параметри вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності шляхом застосування надроторного пристрою; отримала подальший розвиток теорія теплових двигунів у питаннях покращення характеристик вентиляторів турбореактивних двоконтурних двигунів з високим ступенем двоконтурності шляхом застосування надроторних пристроїв.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримана методика та розроблені науково-обґрунтовані рекомендації щодо застосування надроторного пристрою у вентиляторах може бути застосована при розробці перспективних та модернізації існуючих ТРДД з високим ступенем двоконтурності. Практичне значення результатів дисертаційного дослідження підтверджується довідкою про впровадження від АТ «АНТОНОВ».

В роботі отримано вирішення науково-прикладної задачі щодо удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою.

На наступних слайдах представлено висновки за роботою. Доповідь завершено.

Після закінчення презентації Дулепова А.А. присутніми на захисті фахівцями були поставлені наступні запитання:

Запитання до здобувача:

1. Якушенко О.С., к.т.н., с.н.с., доцент кафедри авіаційних двигунів КАІ.

Запитання: Можете пояснити, як можна розробити методику розрахунку параметрів вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надроторним пристроєм методом числового експерименту?

Відповідь: Дякую за запитання. Мається на увазі, що в роботі розроблено методику розрахунку параметрів вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надроторним пристроєм із застосуванням методу числового експерименту, тобто на основі результатів числового моделювання, яке було виконане в програмного середовищі, зокрема в моєму випадку в Ansys Student. Це означає провести ряд числових експериментів, на основі їх отримати результати і їх обробити, і на основі обробленої інформації вже надати методику, яка в подальшому дозволить використовуючи певні послідовності і кроки в правильному напрямку рухатися до того, щоб отримати позитивний результат. Моделювання течії у вентиляторі здійснюється за допомогою числового експерименту, на основі моделювання течії розраховується характеристика вентилятора з надроторним пристроєм і без надроторного пристрою.

Запитання: Ви використовували методи математичного моделювання?

Відповідь: Дякую за запитання. Звісно, в основі роботи покладено моделювання течії, яке реалізується на основі розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса, що є математичною моделлю, отже основою роботи є математичне моделювання.

Запитання: Якщо використовувати наведену схему методики як план

експерименту, то Ви не повинні були розраховувати більше, ніж 1 варіант пристрою, можете пояснити, чи правильно я зрозумів?

Відповідь: Дякую за запитання. Методика передбачає аналіз отриманих значень ступеня підвищення тиску у вентиляторі без надроторного пристрою і з надроторним пристроєм. При проведенні дослідження спочатку кількість стінок у над роторного пристроя дорівнювала нулю, потім одна, потім дві, потім три. При дослідженні характеристик вентиляторі з НДП з двома стінками було отримано найбільше значення ступеня підвищення тиску, але це не був перший розрахунок. Також всього було вирішено дослідити діапазон кількості стінок від 0 до 3.

Запитання: Де можна подивитися розміри Ваших пристроїв?

Відповідь: Дякую за запитання. Всі розміри досліджених надроторних пристроїв надано в дисертаційній роботі. На рисунку 15 подана модель робочого колеса вентилятора з надроторним пристроєм з 2 та 3 стінками, але під час моделювання ми подаємо об'єм повітря як домен, а стінки подаємо як пустоту, товщина стінки складає 2,5 мм, однак зауваження будуть враховані та усунені шляхом відображення всіх розмірів на зображеннях в презентації.

2. Мітрахович М.М., д.т.н., проф., заступник директора АТ «Івченко-Прогрес».

Запитання: Скажіть, будь ласка, чи визначено в роботі між чим планується усунення невідповідностей в результаті дослідження?

Відповідь: Дякую за запитання. Науковим завданням дисертаційного дослідження є усунення невідповідності між рівнем сучасних вимог до значень параметрів та характеристик вентилятора силової установки та обмеженими можливостями існуючого науково-методичного апарату для підвищення ефективності вентилятора з над роторним пристроєм ТРДД з високим ступенем двоконтурності.

Запитання: Стосовно гіпотези дослідження, можете її сформулювати?

Відповідь: Дякую за запитання. Так, звичайно, гіпотеза дослідження – застосування надроторного пристрою з раціональними параметрами у вентиляторі ТРДД з високим ступенем двоконтурності призведе до покращення його характеристик.

3. Андрієць О.Г., к.т.н., доцент, доцент кафедри авіаційних двигунів КАІ.

Запитання: Як об'єкт дослідження у Вас вибрано Rotor37 – він до якогось конкретного двигуна відноситься чи він якийсь віртуальний?

Відповідь: Дякую за запитання. Rotor37 – це типовий зразок лопаткової турбомашини, яка застосовується дослідниками у всьому світі, розроблений в NASA, це є експериментальний зразок, на основі якого можна формулювати подальші гіпотези. В даній роботі Rotor37 використовувався тільки для тестової задачі, для обґрунтування параметрів числового експерименту.

Запитання: В сучасних авіаційних двигунах, де вентилятори мають лопатки довжиною понад 1 м, чи мають Ваші пристрої якусь цікавість чи сенс у застосуванні у порівнянні з Rotor37, діаметром 0,5 м?

Відповідь: Дякую за запитання. В представленій роботі над роторний пристрій застосовується саме для вентилятора сучасного ТРДД з високим ступенем двоконтурності. Моделювання течії у Rotor37 використовувалось для тестової задачі для обґрунтування параметрів числового експерименту. Нажаль,

для вентиляторів з більшим діаметрів досить складно знайти експериментальні дані досліджень. Для Rotor37 звичайно, такі пристрої мають свою доцільність у застосуванні, але це не було предметом дослідження.

Запитання: У двигунах Д-18Т були модернізації, чи знайомі Ви з цими серіями?

Відповідь: Дякую за запитання. Значну увагу було приділено даному питанню, є ряд модернізацій, в тому числі з підвищеною тягою, для випадків застосування в більш тяжких умовах та для перевезення більш тяжких вантажів.

Запитання: Як впливає на акустичну емісію поява таких надроторних пристроїв?

Відповідь: Дякую за запитання. В цілому, такий пристрій як один з способів методу пасивного керування примежовим шаром, який не потребує підведення додаткової енергії до потоку, дозволяє також зменшити шум, але так як це не було передбачено у розрізі мети та завдань дослідження, це питання не досліджувалось, це питання для майбутніх досліджень.

Запитання: Обрана програма Ansys Student є призначеною для студентів чи достатньо професійною?

Відповідь: Дякую за запитання. Ansys Student є професійною безкоштовною версією з накладенням обмежень по кількості елементів та вузлів під час моделювання.

Запитання: Дана програма дозволяє дослідити зменшення або збільшення акустичної характеристики?

Відповідь: Дякую за запитання. Так, звичайно, вона дозволяє вивчити ці параметри і також отримати в результаті моделювання під час формування звіту зображення та графіки щодо перерізів, частин моделі, які цікавлять щодо появи негативного впливу акустичної емісії. Але питання акустичної емісії вентилятора ТРДД з надроторним пристроєм не досліджувалось, це не було предметом досліджень.

Запитання: Чи не здається Вам, що на слайді 25 у Вас дуже багато наведено інформації з детальною проробкою? Можливо треба якимось чином виділити головне? Підкреслити основні отримані результати.

Відповідь: Дякую за запитання. Влучне зауваження, хотілось подати всю важливу інформацію, спробую трохи відредагувати, виділити головне.

4. **Мікосянчик О.О.**, д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ.

Запитання: Яким чином було проведено частину фізичного експерименту, її методологічна частина чи Ви десь взяли ці дані?

Відповідь: Дякую за запитання. Дані було взято з протоколу випробувань NASA, в якому було наведено результати випробувань, на основі їх було побудовано всі подальші висновки та задачі.

Запитання: Чи було враховано показники тертя примежового шару у дослідженні?

Відповідь: Дякую за запитання. У контексті математичної моделі використання програмного комплексу Ansys Student передбачає моделювання з адаптацією примежового шару, система рівнянь Нав'є - Стокса замикається моделлю турбулентної в'язкості. Показники тертя примежового шару

враховуються при моделюванні течії за допомогою застосування моделі турбулентної в'язкості та адаптації примежового шару при побудові розрахункової сітки.

Запитання: Тобто Ви початково можете задавати якісь мінімальні значення коефіцієнту тертя?

Відповідь: Дякую за запитання. Задавати можемо тільки розміри ребер розрахункової сітки, значення коефіцієнту тертя розраховуються при моделюванні течії для різних режимів - різні.

5. **Волянська Л.Г.**, к.т.н., доцент, доцент кафедри авіаційних двигунів КАІ.

Запитання: Чому тестова задача щодо вибору параметрів числового експерименту передбачала дослідження компресора Rotor37 діаметром 0,5 м, а об'єктом подальших досліджень є робоче колесо вентилятора 2,338 м?

Відповідь: Дякую за запитання. Ідеально було б тестову задачу проводити для вентилятора двигуна Д-18Т, але, нажаль, таких даних немає. Тому було прийнято рішення для тестової задачі використати Rotor37. Типові конструкції лопаткових машин, наприклад Rotor37 або Rotor67, є невеликими лабораторними прикладами, на основі яких дослідники формують протокол випробувань, а так як це була одна з найбільш наближених до мого об'єкту дисертаційного дослідження модель, було вирішено застосувати саме її.

Після відповідей на запитання виступили:

Науковий керівник – д.т.н., доцент, професор кафедри авіаційних двигунів КАІ Балалаєва Катерина Вікторівна.

Балалаєва К.В.:

Дулєпов Андрій Андрійович успішно виконав індивідуальний план наукової роботи та індивідуальний навчальний план. Підготовлена дисертація готова до захисту. У роботі вирішено наукове-прикладне завдання щодо удосконалення характеристик вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності. Під час роботи Дулєповим А.А. опрацьовано досить багато інформаційних джерел, в тому числі англійські статті. Тема роботи є актуальною та має практичне значення.

У процесі виконання роботи дисертант показав необхідну кваліфікацію для самостійного вирішення поставлених наукових задач. Дулєпов Андрій Андрійович постійно працює над підвищенням свого освітнього і професійного рівня. Вміє проводити наукові дослідження, приймає участь у науково-дослідних роботах, має наукові публікації та доповіді у наукових конференціях.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка націлена на вирішення актуального науково-прикладного завдання, відповідає спеціальності 142 “Енергетичне машинобудування”, а її автор Дулєпов Андрій Андрійович заслуговує присудження ступеня доктора філософії, на підставі Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, який затверджено Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

Науковий керівник запропонував затвердити позитивний висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів зазначеної дисертації та рекомендувати до захисту на здобуття ступеня доктора філософії з

галузі знань 14 “Електрична інженерія”, за спеціальністю 142 “Енергетичне машинобудування”.

Рецензенти дисертаційної роботи, які наголосили на позитивних аспектах дослідження та висловили свої побажання та зауваження:

Волянська Л.Г., к.т.н., доц., доцент кафедри авіаційних двигунів КАІ.

Рецензент зазначив, що робота виконана на високому науковому рівні, тема роботи є актуальною та має важливе наукове та практичне значення. Представлена робота відповідає вимогам для галузі знань 14, у тому числі за рахунок практичного використання для створення перспективних авіаційних ТРДД з високим ступенем двоконтурності. Загалом дисертаційна робота є завершеною та такою, що відповідає вимогам чинного Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії.

Якушенко О.С., к.т.н, с.н.с, доцент кафедри авіаційних двигунів КАІ.

Рецензент зазначив, що представлена дисертаційна робота виконана за актуальною темою, містить наукову новизну та практичне значення. Робота є логічною та цілісною, мета та поставлені задачі корелюються з висновками. У роботі вирішено наукове-прикладне завдання щодо удосконалення характеристик вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності. Здобувач опублікував необхідну кількість наукових праць. Наукові результати, отримані в роботі здобувача, заслуговують на позитивну оцінку, буду підтримувати цю роботу.

В обговоренні дисертаційного дослідження взяли участь:

Мікосянчик О.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів КАІ: підтримала дисертаційну роботу та підкреслила короткі терміни виконання дисертаційної роботи згідно вимог, які висувуються до здобувача. Вказала, що в роботі представлена розв’язана задача, хоча і розкриті не всі питання, не всі параметри враховані. Підтримала наукову роботу та висловила згоду на рекомендацію до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді.

Мітрахович М.М., д.т.н., професор, д.т.н., проф., заступник директора ДП «Івченко-Прогрес»: висловився, що за актуальністю, науковою новизною та практичними результатами, які подані в доповіді здобувачем, дана робота відповідає вимогам до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії за визначеною спеціальністю. Запропонував роботу до подальшого розгляду і захисту, тому що вона відповідає основним вимогам визначеним Постановою Кабінету Міністрів України до дисертації на здобуття наукового ступеня доктор філософії. Побажав успіхів здобувачу.

Андрієць О.Г., к.т.н., доцент, доцент кафедри авіаційних двигунів КАІ: погодився, що наукова робота по своєму сенсу та контексту відповідає вимогам. Рекомендував роботу до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді.

Корольов П.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри авіаційних двигунів КАІ: приєднався до думки Якушенка О.С. та наголосив на важливості отриманих результатів в дисертаційній роботі. Виразив вдячність за проведення

вузьконаправленого та тривалого дослідження в умовах воєнного стану. Надав позитивну оцінку запропонованій роботі.

Попов О.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден: приєднався до точки зору рецензентів, підтримав дисертаційну роботу здобувача та запропонував допустити її до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Дулепова Андрія Андрійовича на тему “Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії галузі знань 14 “Електрична інженерія” за спеціальністю 142 “Енергетичне машинобудування”

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Ефективність та економічність ГТД залежить від багатьох параметрів, в тому числі, від аеродинамічної навантаженості вентилятора та компресора, високого рівня газодинамічної стійкості вентилятора та компресора, коефіцієнту корисної дії (ККД) всіх його вузлів та ін. Тенденціями сучасної авіації є застосування турбореактивних двоконтурних двигунів (ТРДД) з високим та надвисоким ступенем двоконтурності. Одним із важливих вузлів таких ГТД є вентилятор. Задля зменшення ваги літака розробники ГТД п'ятого та шостого покоління відмовляються від вхідного напрямного апарату. Удосконалення характеристик вентилятора ТРДД з високим та надвисоким ступенем двоконтурності є важливою науково-прикладною задачею. Застосування керування примежовим шаром у лопаткових вінцях лопаткових машин дозволяє покращити їх характеристики, збільшити коефіцієнту корисної дії, напірність. Активні методи управління примежовим шаром – ежекція, всмоктування, застосування приводів штучного струменя повітря та плазмового приводу. Серед пасивних методів керування примежовим шаром можна виділити турбулізатори у формі генераторів вихорів, акустичні резонатори та надроторні пристрої. Надроторні пристрої поєднують переваги активного та пасивного методу керування примежовим шаром. Їх основна задача полягає в зменшенні радіальних втрат в лопатковому вінці. Однак до сьогодення не до кінця вирішена задача раціонального вибору параметрів надроторних пристроїв, не отримано рекомендації щодо їх застосування для вентиляторів ТРДД з високим ступенем двоконтурності. Отже, тема дисертаційної роботи є актуальною і має важливе науково-прикладне значення.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Робота виконана на кафедрі авіаційних двигунів «Державного університету «Київський авіаційний інститут». Надана робота є ініціативною та водночас частиною досліджень, що проводяться в «Державному університеті «Київський авіаційний інститут» та спрямована на підвищення ефективності та економічності перспективних газотурбінних двигунів згідно науково-дослідної

роботи №15-2022/07.01.03 «Підвищення ефективності лопаткових машин авіаційних двигунів і газотурбінних установок».

Робота відповідає основним напрямкам 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.

Тема дисертації відповідає освітньо-науковій програмі “Енергетичне машинобудування” за спеціальністю 142 “Енергетичне машинобудування” галузі знань 14 “Електрична інженерія” в КАІ (зокрема, ОК 1.3.2, ОК 1.3.4).

3. Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є покращення характеристики вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою.

Для виконання поставленої мети сформульована та розв’язано наступні завдання:

- розробити методику розрахунку параметрів вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надроторним пристроєм;
- провести обґрунтований вибір параметрів числового експерименту моделювання течії в вентиляторі газотурбінного двигуна;
- отримати характеристики вентилятора у вигляді залежності ступеня підвищення тиску та ККД від масової витрати на основі моделювання течії у вентиляторі турбореактивного двоконтурного двигуна з різними варіантами виконання надроторного пристрою вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна;
- розробити рекомендації щодо застосування надроторного пристрою у вентиляторі турбореактивного двоконтурного двигуна.

4. Об’єкт дослідження: робоче колесо вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надроторним пристроєм.

5. Предмет дослідження: робочий процес осьового вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надроторним пристроєм.

6. Методи дослідження.

Теоретична частина дослідження ґрунтується на методах теорії лопаткових машин, теорії теплових двигунів та методах примежового шару, за допомогою яких спроектовані досліджуваній вентилятор з надроторним пристроєм; експериментальна частина дослідження ґрунтується на методах числового експерименту та методах математичного моделювання, які дозволили дослідити характеристики вентилятора з над роторним пристроєм; методах аналізу і синтезу, на основі яких проаналізовано отримані характеристики вентилятора з надроторним пристроєм.

7. Наукова новизна дослідження: базується на таких основних положеннях:

уперше:

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

удосконалено:

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

отримала подальший розвиток:

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

8. Теоретичне значення. Дисертація містить нові науково-обґрунтовані результати досліджень щодо удосконалення характеристик вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності шляхом застосування надроторного пристрою, які мають істотне значення для галузі енергетичне машинобудування.

9. Практичне значення та використання результатів дисертаційного дослідження полягає в тому, що отримана методика розрахунку параметрів вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надроторним пристроєм та розроблені науково-обґрунтовані рекомендації щодо застосування надроторного пристрою у вентиляторах можуть бути застосовані при розробці перспективних та модернізації існуючих ТРДД з високим ступенем двоконтурності.

Результати даної дисертаційної роботи використані Акціонерним товариством «АНТОНОВ» (*довідка про впровадження № 2 від 11.03.2025*).

10. Особистий внесок здобувача. Дисертація “Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою” Дулепова Андрія Андрійовича є самостійною науковою працею, в якій наведено теоретичні положення і висновки, власні ідеї та розробки автора, які дають змогу вирішити поставлені завдання. Усі висновки та практичні рекомендації, винесені на захист, розроблені дисертантом особисто. Використані в дисертації ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей здобувача.

11. Апробація результатів дослідження. Найважливіші ідеї, висновки, рекомендації, отримані в дисертації, оприлюднені на наукових та науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних, всеукраїнських та за міжнародною участю: «Енергетична безпека та енергоефективність на транспорті» (Київ, 2021, 2023); «Політ. Сучасні проблеми науки. Сучасні авіаційні технології» (Київ, 2022, 2023); Міжнародний Конгрес двигунобудівників (Харків, 2022, 2023, 2024); «Авіація в ХХІ сторіччі» (Київ, 2022); «Промислова гідравліка і пневматика» (Київ, 2022).

12. Публікації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження викладено в 14 наукових публікаціях, серед них 4 публікації у наукових фахових виданнях України, що входять до категорії «Б» переліку фахових видань спеціальності 142, 10 тезах доповідей науково-технічних конференцій.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Колков О. О., Дулепов А. А., Глобін Є. В., Довгалюк Д. В., Балалаєва К. В. Вплив інжекції повітря у вхідні стійки турбовального двигуна. *Авіаційна*

техніка і технологія. 2022. №4 спецвипуск 1 (181). С. 36–40. DOI: <https://doi.org/10.32620/aktt.2022.4sup1.06>.

Особистий внесок Колкова О.О.: сформульовано проблему, проведено моделювання течії.

Особистий внесок Дулепова А.А.: оглянуто та проаналізовано інформаційні джерела, сформульовано проблему, проведено моделювання течії, сформульовано висновки.

Особистий внесок Глобіна Є.В.: оглянуто та проаналізовано інформаційні джерела, проаналізовано отримані результати.

Особистий внесок Довгалока Д.В.: оглянуто та проаналізовано інформаційні джерела, проаналізовано отримані результати.

Особистий внесок Балалаєвої К.В.: сформульовано проблему, проаналізовано отримані результати, проведено моделювання течії, сформульовано висновки.

2. Дулепов А.А., Глобін Є.В., Ковтун А.А., Хижняк М.В., Балалаєва К.В. Тестова задача моделювання течії у ступені компресора Rotor 37. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2023. №4 (188). С. 73-78. DOI: <https://doi.org/10.32620/aktt.2023.4.09>.

Особистий внесок Дулепова А.А.: сформульовано проблему, проведено моделювання течії, проаналізовано отримані результати.

Особистий внесок Глобіна Є.В.: оглянуто та проаналізовано інформаційні джерела, проведено моделювання течії, проаналізовано отримані результати.

Особистий внесок Ковтуна А.А.: оглянуто та проаналізовано інформаційні джерела, проведено моделювання течії.

Особистий внесок Хижняка М.В.: сформульовано проблему, сформульовано висновки.

Особистий внесок Балалаєвої К.В.: сформульовано проблему, проаналізовано отримані результати, сформульовано висновки.

3. Дулепов А.А. Моделювання течії у ступені вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2024. №4 спецвипуск 1 (197). С. 25-30. DOI: <https://doi.org/10.32620/aktt.2024.4sup1.04>.

4. Дулепов А.А., Балалаєв А.В. Моделювання течії у ступені вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надроторним пристроєм. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2024. №4 спецвипуск 2 (198). С.5-11. DOI: <https://doi.org/10.32620/aktt.2024.sup2.01>.

Особистий внесок Дулепова А.А.: запропоновано концепт і методологію дослідження, оглянуто та проаналізовано інформаційні джерела, поставлено задачу, розроблено модель дослідження, проаналізовано результати.

Особистий внесок Балалаєва А.В.: запропоновано концепт і методологію дослідження, поставлено задачу, розроблено модель дослідження.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Дулепов А. А. Питання вдосконалення енергоефективності вентиляторів турбореактивних двоконтурних двигунів // VII Всеукр. наук.-

практ. конф. молодих учених і студентів «Енергетична безпека та енергоефективність на транспорті»: матеріали доповідей. Київ, 2021. С. 16.

2. Дулепов А. А. Проблема використання активних надроторних пристроїв у турбореактивних двоконтурних двигунах // XXII Міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки. Сучасні авіаційні технології»: матеріали доповідей. Київ, 2022. С. 47-48.

3. Колков О. О., Дулепов А. А., Глобін Є. В., Довгалюк Д. В., Балалаєва К. В. Моделювання течії у вхідних стійках турбовального двигуна з інжекцією повітря // XXVII міжнародний конгрес двигунобудівників: тези доповідей. Харків, 2022. С. 34.

4. Dulieпов A. Innovative ways of improving the characteristics of turbofan engine fans with a large and an ultra-large bypass ratio // X Всесвітній конгрес «Авіація в XXI сторіччі»: матеріали доповідей. Київ, 2022, С. 1.4.20- 1.4.22.

5. Дулепов А. А., Глобін Є. В., Балалаєва К. В. Моделювання течії в ступені осьового компресора ROTOR 37 // Промислова гідравліка і пневматика: збірник тез XXIII Міжнародної науково-технічної конференції АС ППТ. Київ, 2022. С. 171-179.

6. Балалаєва К. В., Глобін Є. В., Дулепов А. А. Переваги чисельного експерименту при дослідженні течії в лопаткових машинах // Енергетична безпека та енергоефективність на транспорті: матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. конф молодих учених і студентів. Київ, 2023. С. 40-41.

7. Глобін Є, Дулепов А. Методи та засоби забезпечення газодинамічної стійкості // XXIII Міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки. Сучасні авіаційні технології»: тези доповідей. Київ, 2023. С. 2-3.

8. Дулепов А. А., Глобін Є. В., Ковтун А. А., Хижняк М. В., Балалаєва К. В. Моделювання течії у ступені компресора Rotor 37 // XXVIII - міжнародний конгрес двигунобудівників: тези доповідей. Харків, 2023. С.26-27.

9. Дулепов А. А. Числове моделювання течії у ступені осьового вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна // XXIX - міжнародний конгрес двигунобудівників: тези доповідей. Харків, 2024. С. 11-12.

10. Дулепов А. А., Балалаєв А. В. Оцінка параметрів вентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надроторним пристроєм // XXIX - міжнародний конгрес двигунобудівників: тези доповідей. Харків, 2024. С. 12.

13. Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів основної частини, висновків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 142 сторінки, із них – 108 основного тексту. Робота містить 35 рисунків, 2 таблиці, 2 додатки. Список використаних джерел налічує 95 найменувань.

14. Характеристика особистості здобувача. Під час підготовки дисертаційної роботи Дулепов А.А. проявив себе як творчий дослідник і науковець, здатний самостійно на високому науково-методичному рівні вирішувати наукові та практичні завдання. Він повною мірою володіє сучасними методами числового експерименту моделювання течії у лопаткових

машинах, має належний рівень теоретичної та практичної підготовки.

15. Оцінка мови та стилю дисертації. Текст дисертації викладено фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури. Матеріали дослідження оформлені у відповідності до вимог Міністерства освіти і науки України.

16. Відповідність принципам академічної доброчесності.

Дисертація не містить необґрунтованих запозичень та плагіату. У роботі дотримано правила посилання на джерела інформації у випадку використання підходів, положень, тверджень, відомостей. Надано достовірну інформацію про результати досліджень, джерела використаної інформації.

17. Рецензенти рекомендують: відповідно до пп. 15, 16 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 січня 2022 року № 44, *пропонується такий склад разової ради:*

Голова ради:

Єнчев Сергій Васильович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та енергоменеджменту Аерокосмічного факультету КАІ.

Рецензенти:

Волянська Лариса Георгіївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри авіаційних двигунів Аерокосмічного факультету КАІ.

Якушенко Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри авіаційних двигунів Аерокосмічного факультету КАІ.

Офіційні опоненти:

Алексєєнко Сергій Вікторович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри машинобудування та матеріалознавства Національного технічного університету “Дніпровська політехніка”.

Усатий Олександр Павлович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри турбінобудування Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Усі члени разової спеціалізованої вченої ради не мають реальний чи потенційний конфлікт інтересів щодо здобувача Дулепова Андрія Андрійовича (зокрема, є його близькою особою) та/або його наукового керівника.

У результаті попередньої експертизи дисертації Дулепова Андрія Андрійовича і повноти публікації основних результатів дослідження

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Дулепова Андрія Андрійовича на тему “Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою”.

2. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Дулепова Андрія Андрійовича відповідає спеціальності 142 “Енергетичне машинобудування” та 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 і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283), вимогам пп. 6, 7, 8, 9 “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

3. Рекомендувати дисертаційну роботу “Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою”, подану Дулеповим Андрієм Андрійовичем на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 “Електрична інженерія”, за спеціальністю 142 “Енергетичне машинобудування”.

4. Рекомендувати Вченій раді затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради:

Єнчев Сергій Васильович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та енергоменеджменту Аерокосмічного факультету КАІ.

Рецензенти:

Волянська Лариса Георгіївна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри авіаційних двигунів Аерокосмічного факультету КАІ.

Якушенко Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри авіаційних двигунів Аерокосмічного факультету КАІ.

Офіційні опоненти:

Алексєєнко Сергій Вікторович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри машинобудування та матеріалознавства Національного технічного університету “Дніпровська політехніка”.

Усатий Олександр Павлович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри турбінобудування Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації
Дулепова Андрія Андрійовича:

“за” – 12

“проти” – немає

“утримались” – немає.

Головуючий на засіданні:

завідувач кафедри авіаційних двигунів
КАІ, д.т.н., професор

Юрій ТЕРЕЩЕНКО

Секретар засідання:

старший викладач кафедри авіаційних
двигунів КАІ

Галина НІКІТИНА

ПОГОДЖЕНО:

Проректор з наукових досліджень та
трансферу технологій КАІ,
д.т.н., професор

Сергій ГНАТЮК