

РЕЦЕНЗІЯ

**кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника,
доцента кафедри авіаційних двигунів Аерокосмічного факультету
Державного некомерційного підприємства «Державний університет
«Київський авіаційний інститут»**

**Якушенка Олександра Сергійовича на дисертаційну роботу
Дулепова Андрія Андрійовича «Удосконалення характеристик
вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного
пристрою», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»**

Актуальність дисертаційної роботи

Ефективність та економічність газотурбінного двигуна (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.

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. Серед пасивних методів керування примежовим шаром можна виділити турбулізатори у формі генераторів вихорів, акустичні резонаторів та надроторних пристроїв (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. Отже, тема дисертаційної роботи є актуальною і має важливе науково-прикладне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

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 ГТД згідно науково-дослідної роботи №15-

2022/07.01.03 «Підвищення ефективності лопаткових машин авіаційних двигунів і газотурбінних установок».

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.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.

У дисертації чітко визначено об'єкт, предмет та мету дослідження, а також поставлені завдання, що сприяють її досягненню. Автор забезпечив належну аргументацію наукових положень, висновків і рекомендацій, використовуючи широку джерельну базу. Дослідження відзначається системністю та зрозумілим викладом матеріалу, а його висновки є обґрунтованими та коректними.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- 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.

Практичне значення отриманих результатів та рекомендації щодо їх можливого застосування.

Практичне значення полягає в тому, що отриманий метод 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. Практичне значення результатів дисертаційного дослідження підтверджується довідкою про впровадження від АТ «АНТОНОВ».

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому.

Структура дисертації має логічне та обґрунтоване викладення, включає анотації українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи з висновками для кожного з них, загальні висновки, два додатки та список використаних джерел зі 95 пунктів на 11 сторінках.

У *вступі* автором описує актуальність дисертаційного дослідження, перелічено мету, основні завдання дослідження, наведено інформацію про зв'язок роботи з науковими темами. Автор обґрунтовує наукову новизну отриманих результатів дисертаційного дослідження та їх практичне значення, приділяє увагу особистому внеску у публікаціях фахових видань та апробації матеріалів дослідження за темою роботи, описує кількісні показники щодо структури та обсягу дисертаційної роботи.

В *першому розділі* «Проблема вдосконалення характеристик вентилятора ТРДД» автор проводить огляд та надає класифікацію методів керування примежовим шаром, зокрема і щодо місця НРП в загальній системі, для ГТД. Як зазначає автор, НРП класифікують як один зі способів пасивного методу керування примежовим шаром. Його застосування передбачає розширення стійкої роботи вентилятора, покращення його характеристик. Однак, застосування НРП для ТРДД з високим ступенем двоконтурності представляється автором до кінця не дослідженим, а тому автор підкреслює потребу в розробці методу розрахунку параметрів вентилятора ТРДД з надроторним пристроєм та наданні науково-обґрунтованих рекомендацій щодо застосування НРП у вентиляторах ТРДД з високим ступенем двоконтурності.

В *другому розділі* «Методика розрахунку параметрів вентилятора ТРДД з надроторним пристроєм» автор формулює та описує підхід до розрахунку параметрів вентилятора ТРДД з НРП. Автор зазначає, що розрахунок параметрів вентилятора ТРДД з НРП здійснюється за допомогою числового експерименту. Розроблений автором метод складається з декількох кроків. Спершу необхідно провести вибір та обґрунтування параметрів числового експерименту: обрати топологію розрахункової сітки та модель турбулентної в'язкості. З цією метою автором виконується тестова задача. Наступним кроком автора є моделювання течії з подальшим розрахунком характеристики досліджуваного вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності без НРП у визначеному діапазоні масових витрат та частот обертання. Наступним кроком автор досліджує характеристик вентилятора з НРП, при цьому кількість стінок в НРП варіюється в залежності від вихідних даних. Після отримання всіх характеристик вентилятора з НРП автор проводить порівняння і обирає варіант НРП, який дозволяє покращити характеристику вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності. У випадку, коли характеристики вентилятора з НРП стають гірше, ніж без НРП, автор пропонує повертатися до блоку з вибором параметрів і проектуванням НРП.

В *третьому розділі* «Вибір та обґрунтування параметрів числового експерименту для моделювання течії у вентиляторі» автором представлено вибір та обґрунтування параметрів числового експерименту для моделювання течії у вентиляторі ТРДД. Автор описує методи для дослідження течії у вентиляторах та аналізує переваги й недоліки експериментальних методів

дослідження течії у вентиляторах ТРДД. Автором розглянуто основи метод числового експерименту дослідження течії у вентиляторах ТРДД та проведено тестову задачу моделювання течії у одноступеневому компресорі Rotor 37. В ході розрахунку автор тестує сім моделей турбулентної в'язкості, а саме: k- ϵ , k- ϵ EARSM, SST, BSL, BSL RS, SSG RS, QI RS. За результатами порівняння результатів числового і фізичного експерименту для подальших досліджень течії у вентиляторі ТРДД автор обирає модель SST Ментера.

У четвертому розділі «Моделювання течії у ступені вентилятора» автор представляє науково-обґрунтовані рекомендації щодо застосування над роторного пристрою у вентиляторі ТРДД з високим ступенем двоконтурності. За результатами моделювання течії автор отримує характеристику вентилятора без НРП при відносній частоті обертання від 70% до 100%, будує лінію зриву на характеристиці вентилятора. Відповідно до розробленої автором методу, представленого у другому розділі роботи, автором спроектовано НРП і проведено дослідження впливу НРП з кількістю стінок від 0 до 3 на характеристику вентилятора ТРДД з високим ступенем двоконтурності. Автор проводить аналіз результатів і свідчить, що застосування НРП з двома стінками дозволить підвищити ступінь підвищення тиску вентилятора на 1..2,1% при відносній частоті обертання від 70% до 100%, при цьому лінія зриву на характеристиці зсувається вліво, що приводить до розширення діапазону стійкої роботи вентилятора. Також, запропонована автором конструкція вентилятора з НРП має можливість застосовувати НРП тільки на тих режимах, де є в цьому необхідність, що не погіршить роботу вентилятора на інших режимах роботи.

У висновках автор наводить основні результати дисертаційної роботи, що комплексно описують розв'язання науково-прикладної задачі створення методу розрахунку параметрів вентилятора ТРДД з НРП методом числового експерименту задля удосконалення характеристик вентилятора ГТД.

У додатках автор наводить перелік публікацій за темою дисертаційного дослідження та довідку про впровадження в АТ «АНТОНОВ».

Повнота викладених наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Основні положення дослідження знайшли своє відображення у наукових публікаціях автора, кількість яких відповідає встановленим вимогам. Основні результати дисертаційної роботи оприлюднені у 14 друкованих працях, включаючи чотири у фахових виданнях України та десять у матеріалах і тезах доповідей на науково-технічних конференціях.

Недоліки та зауваження:

Автором проведено ґрунтовне науково-дослідне дослідження, що привело до отримання нових наукових результатів. Однак варто звернути увагу на такі зауваження:

1. В роботі не надано повного опису принципу роботи і конструкції запропонованого надроторного пристрою.

2. При розробці та проектуванні засобів покращення внутрішньої аеродинаміки вентилятора ТРДД доцільно розглядати задачу комплексно - проводити оцінку впливу запропонованих засобів на акустичні та міцнісні характеристики досліджуваного вентилятора ТРДД.

3. Автор невірно використовує термін «методика» для характеристики методу розрахунку параметрів вентилятора ТРДД з надроторним пристроєм.

4. Доцільно було б більш повно описати запропонований метод розрахунку параметрів вентилятора ТРДД з надроторним пристроєм, представлений у розділі 2.

На мою думку, зауваження, що були виявлені в процесі аналізу дисертаційної роботи, не впливають на загальну позитивну оцінку проведеного дослідження та його наукову значущість.

Висновки.

Вважаю, що дисертаційна робота на тему: «Удосконалення характеристик вентилятора газотурбінного двигуна шляхом застосування надроторного пристрою» здобувача Дулепова Андрія Андрійовича є завершеним дослідженням, яке має ґрунтовне теоретичне та методологічне обґрунтування, відзначається науковою новизною та практичною цінністю.

Дисертація відповідає спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» та чинному «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор Дулепов Андрій Андрійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктор філософії у галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування».

Рецензент

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,
доцент кафедри авіаційних двигунів
Аерокосмічного факультету
Державного некомерційного
підприємства «Державний університет
«Київський авіаційний інститут»



Олександр ЯКУШЕНКО

