

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного авіаційного університету
доктору технічних наук, професору,
декану Аерокосмічного факультету,
Національного авіаційного університету
Кулику Миколі Сергійовичу

РЕЦЕНЗІЯ

**кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника,
доцента кафедри авіаційних двигунів аерокосмічного факультету
Національного авіаційного університету
Якушенко Олександра Сергійовича на дисертаційну роботу
Майбороди Романа Валерійовича «Визначення взаємного впливу течії
в турбінному та вентиляторному контурах турбовентиляторної
приставки авіаційного газотурбінного двигуна», подану на здобуття
наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 14 «Електрична
інженерія» за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»**

Актуальність дисертаційної роботи

Наявні тенденції з підвищення вимог щодо зниження таких показників як маса двигуна, рівень шуму, питомої витрати палива та емісії NO_x ставлять перед розробниками авіаційних двигунів складні наукові та інженерні завдання. Для існуючих типів газотурбінних двигунів одними з шляхів вирішення зазначених завдань є застосування нових схем двигунів. Однією з таких схем є схема газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою. Застосування схеми газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою дозволяє зменшити вагу ГТД за рахунок відсутності необхідності у валі, що з'єднує вентилятор та турбіну та всіх супутніх компонентів кріплення. Також, дана схема дозволить розробити універсальний газогенератор, що приведе до зменшення витрат на проектування різних модифікацій авіаційних двигунів.

Розроблених авіаційних двигунів за вказаною схемою з турбовентиляторною приставкою небагато, через що відсутня інформація

про особливості процесів, що в них протікають. Тому представлена в дисертаційній роботі тема з дослідження впливу процесів, що протікають у турбінному контурі на робочий процес турбовентиляторної приставки є актуальним завданням.

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

Робота виконана на кафедрі авіаційних двигунів Національного авіаційного університету. Робота є складовою частиною досліджень, що проводяться в Національному авіаційному університеті та спрямована на підвищення ефективності та економічності перспективних газотурбінних двигунів (Науково-дослідна держ. робота №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 (розпорядження Кабінету Міністрів України від 8.07.2020 р. №851-р), та Державній цільовій науково-технічній програмі розвитку авіаційної промисловості на 2021-2030 роки (постанова Кабінету Міністрів України №951 від 01.09.2021р.)

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

Для вирішення поставленого наукового завдання у дисертації коректно визначено об'єкт і предмет дослідження та його мету. Здобувачем вирішено низку завдань, що сприяло реалізації поставленої мети. Належний рівень обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації забезпечені, зокрема, використанням широкої джерельної бази. При проведенні розрахунків використано сучасне програмне забезпечення та проведено верифікацію отриманих розрахункових результатів через порівняння їх із наявними експериментальними даними. В дисертації наявна системність та ясність викладення матеріалу. Висновки дисертаційної роботи цілком обґрунтовані та коректні.

Наукова новизна отриманих результатів.

З моєї точки зору, наукова новизна отриманих результатів в дисертаційній роботі полягає в наступному:

- *Вперше* методом чисельного експерименту проведено оцінку впливу примежевого шару на мотогондолі газогенератора на параметри вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки з

урахуванням роботи турбовентиляторної приставки газотурбінного двигуна.

- *Розроблено* науково-обґрунтовані рекомендації щодо визначення параметрів робочого процесу турбінного та вентиляторного контурів турбовентиляторної приставки газотурбінного двигуна.

- *Отримані нові дані* щодо впливу нагрівання проміжного корпусу турбовентиляторної приставки на аеродинамічну навантаженість і реактивну силу тяги вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки газотурбінного двигуна.

Практичне значення отриманих результатів та рекомендацій щодо їх можливого використання.

Отримані нові дані щодо аеродинамічних характеристик турбовентиляторної приставки і впливу мотогондоли газогенератора на роботу турбовентиляторної приставки рекомендується використовувати під час створення перспективних двигунів нових схем.

Практичне значення отриманих результатів також підтверджується впровадженням результатів дисертаційної роботи на ДП «Антонов» (№1 від 03.10.2023 р.) та ДП «Івченко-Прогрес» (№35/4541-13 від 03.10.2023 р.).

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому

Дисертація включає вступ, п'ять розділів з висновками для кожного розділу, загальні висновки та додатки. Викладення матеріалу дисертації є впорядкованим, основні положення, припущення та висновки є обґрунтованими.

У вступі автор сформулював актуальність досліджуваної теми, мету, задачі для досягнення мети, наукову новизну, практичну цінність результатів.

У першому розділі «Стан та перспективи розвитку авіаційного двигунобудування» автор проводить аналіз сучасного стану розвитку галузі будування двигунів за кордоном, що дозволило визначити вплив існуючих технологій, які були використані при проектуванні існуючих двигунів, на показники зменшення витрат палива та рівня шуму. Визначає ключові критичні технології, розвиток яких дозволить покращити зазначені показники авіаційних двигунів. Серед них можна відмітити газову турбіну низького тиску з неохолоджуваними лопатками колеса з керамічного композиційного матеріалу та системою активного

регулювання радіальних зазорів, регульоване сопло зовнішнього контуру, тонку мотогондолу, САУ, яка враховує поточний технічний стан двигуна. Автор також приділяє увагу гібридним та електричним силовим установкам, проте зазначає, що дані технології знаходяться лише на початку свого розвитку та потребуватимуть значних витрат та часу для їх подальшого вдосконалення. Виконуючи аналіз основних термо- та газодинамічних параметрів, яких досягло двигунобудування на даний час, автор приходять до висновка про доцільність розглянути складний термодинамічний цикл для двигунів наступних поколінь. Для подальшого збільшення ККД двигуна розглядає застосування схеми з відкритим ротором. Проте зазначає, що дана схема, порівняно з меншими витратами палива, має великі рівні шумового забруднення. Цей недолік можна усунути якщо використовувати схему ТРДД з великим ступенем двоконтурності. Великих значень двоконтурності можливо досягти застосовуючи схему з біротативним вентилятором, проте автор зазначає, що для реалізації даної схеми необхідно значно змінити конструкцію основних вузлів двигуна. Надалі автор зазначає, що збільшити витрату повітря через зовнішній контур при збереженні допустимих значень по рівню шуму можна використавши схему двовального триконтурного двигуна з турбовентиляторною приставкою. Проведений автором аналіз значень повного ККД для різних схем двигунів показав перевагу триконтурного двигуна у порівнянні з загально відомою схемою двоконтурного ТРД.

У другому розділі «Вибір та обґрунтування параметрів чисельного експерименту моделювання течії в турбовентиляторній приставці» автор виконує дослідження для побудови чисельного експерименту. Для проведення математичного моделювання автор обрав метод кінцевих об'ємів. Виконаний огляд існуючих комерційних програмних продуктів розв'язку диференційних рівнянь Нав'є-Стокса дозволив обрати Ansys CFX, який часто використовується для розв'язку завдань з напрямку розробки турбореактивних двигунів. Надалі автором виконано аналіз загальновідомих моделей турбулентності та обрані найбільш використані для моделювання течії у турбінах та компресорах. Проведені тестові розрахунки та порівняння їх результатів з результатами натурних експериментів з турбінними та компресорними решітками дозволили визначити оптимальні параметри розрахункових сіток та обґрунтовано вибрати модель турбулентності для подальших досліджень течії в турбовентиляторній приставці.

У третьому розділі «Розробка моделі турбовентиляторної приставки» автор виконує розрахунки конструкції газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою. Для виконання цих робіт автором

проведено термогазодинамічний розрахунок параметрів двигуна з туровентиляторною приставкою та визначено параметри для побудови профілів лопаток. Надалі автор виконує побудову геометричної моделі, на основі якої будує розрахункову сітку та складає математичну модель у програмі Ansys CFX.

У четвертому розділі «Моделювання течії в турбовентиляторній приставці» за допомогою створеної моделі турбовентиляторної приставки автор виконує чисельні експерименти з дослідження впливу процесів, що протікають у турбінній приставці на робочий процес вентилятору. На основі отриманих результатів автор робить висновок, що процеси в турбіні мають негативний вплив на робочий процес у вентиляторному контурі, про що свідчить зменшення параметру підвищення тиску у порівнянні з варіантами чистого вентилятору. Проте автор вказує на зменшення нульових зон швидкості унаслідок підвищення температури елементів вентилятору.

У п'ятому розділі «Моделювання течії в турбовентиляторній приставці з урахуванням впливу примежевого шару на поверхні мотогондоли газогенератора» автор виконує чисельні експерименти з дослідження впливу підігріву примежевого шару на вході у вентиляторний контур турбовентиляторної приставки від контуру газогенератора. Виконаний автором аналіз результатів досліджень показав відсутність негативного впливу мотогондоли газогенератора на течію у вентиляторному контурі.

У висновках автор представив у стислому вигляді основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У додатках представлені акти впровадження результатів дисертаційної роботи на ДП «Івченко Прогрес» та ДП «Антонов».

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

Основні положення дослідження викладені у публікаціях автора, кількість яких відповідає діючим вимогам. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані у 9 друкованих працях, серед

яких 3 – у фахових виданнях України, 1 – розділ монографії, 5 – матеріали та тези доповідей науково-технічних конференцій.

Недоліки та зауваження

Автором виконана значна науково-дослідна робота, результатами які стали нові наукові результати, проте слід зазначити наступні зауваження:

1. В роботі розглянуто вплив «гарячої» частини ГТД на робочий процес вхідного пристрою приставки. Зворотній вплив робочого процесу у приставці на робочий процес турбіни не розглядається. Тому вважаю, що тема роботи («взаємний вплив...») сформульована не досить коректно.
2. При розгляді впливу «гарячої» частини ГТД на робочий процес приставки не оцінено вплив нагріву робочого тіла на вході та у самій приставці на характеристики двигуна в цілому.
3. При аналізі отриманих результатів (рис.2.5, 2.6, 2.7 та 2.9), які представляють з себе дуже складні нелінійні залежності автором використано формулювання «Аналіз результатів показує, що, в цілому...». При цьому візуальний аналіз таких залежностей є досить складним, а висновки не дуже достовірними. Для таких залежностей необхідно використовувати відповідні критерії для оцінки узгодженості результатів експерименту та розрахунку.
4. В роботі показано, що реактивна тяга вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки зростає на 0,87-6,15%, але при цьому не проведено оцінку зміни економічності двигуна в цілому.
5. Помічено деякі помилки у оформленні. Так номер табл. 2.2 і її назва знаходяться на різних сторінках, на рис. 3.4 - 3.6 залежність від дискретного параметру (кількість ступенів турбіни) показано як неперервну, табл. 3.1 не має назви, тощо.

Вважаю, що виявлені зауваження не є значимими та не зменшують позитивне враження від проведеної роботи.

Висновки

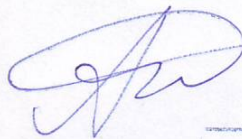
Вважаю, що дисертаційна робота на тему «Визначення взаємного впливу течії в турбінному та вентиляторному контурах турбовентиляторної приставки авіаційного газотурбінного двигуна» здобувача Майбороди Романа Валерійовича є закінченою, теоретично та

методологічно обґрунтованою, виконана на високому науковому рівні, має наукову новизну та практичну значущість.

Дисертація відповідає спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» та чинного «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 Майборода Роман Валерійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора 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 Національного
авіаційного університету



Олександр ЯКУШЕНКО



Handwritten signature and date: 01.02.2024