

ВІДГУК

офіційного опонента, головного наукового співробітника науково-дослідного управління Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, доктора технічних наук, професора РАССТРИГІНА Олександра Олексійовича на дисертаційну роботу МАЙБОРОДИ Романа Валерійовича на тему: «Визначення взаємного впливу течії в турбінному та вентиляторному контурах турбовентиляторної приставки авіаційного газотурбінного двигуна», представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Конкурентоспроможність майбутньої авіаційної техніки, яку випускають вітчизняні авіабудівні компанії, суттєвим чином залежить від створення та впровадження у виробництво нових ключових технологій.

Одним з підходів на шляху створення енергоефективних авіаційних двигунів з приємними вартісними показниками є розробка сімейства двигунів на основі універсального базового газогенератора.

При цьому виникає проблемні питання, що полягають в істотному впливі параметрів і характеристик модуля осьового вентилятора, який розташовується перед модулем газогенератора, на параметри потоку перед компресором газогенератора і, як наслідок, на параметри і характеристики компресора газогенератора.

Одним із шляхів забезпечення інваріантності параметрів і характеристик модуля базового газогенератора є конструкції двоконтурних двигунів із заднім розташуванням турбовентиляторної приставки. Застосування турбовентиляторної приставки дозволяє поліпшити тягово-економічні характеристики авіаційної силової установки з газотурбінним двигуном, що пояснюється усуненням негативного впливу модуля вентилятора на потік перед компресором газогенераторного модуля і, як наслідок, збільшенням тяги двигуна при практично незмінній витраті палива в контурі газогенератора, а також покращенням акустичних характеристик завдяки місцю розташування модуля осьового вентилятора.

Однак, на даний час залишаються невирішені питання щодо визначення взаємного впливу течії в турбінному та вентиляторному контурах турбовентиляторної приставки авіаційного газотурбінного двигуна. Це дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота Майбороди Р.В. виконана на актуальну тему, яка є важливою для енергетичного машинобудування, а саме щодо створення перспективних авіаційних газотурбінних двигунів.

Метою роботи є: розробка науково - обґрунтованих рекомендацій щодо узгодження параметрів робочого процесу вентиляторного та турбінного контурів турбовентиляторної приставки авіаційного газотурбінного двигуна.

При цьому автором у дисертаційному дослідженні для його реалізації були поставлені конкретні часткові наукові задачі, а саме:

аналіз методів та засобів дослідження течії у турбовентиляторній приставці авіаційного газотурбінного двигуна;

розроблення моделі турбінного і вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки газотурбінного двигуна;

оцінка впливу течії в турбінній частині турбовентиляторної приставки на робочий процес вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки;

оцінка впливу мотогондоли газогенератора на тягові характеристики вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки на режимі роботи на заданих висотах польоту.

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

2. Структура та зміст основних положень дисертаційної роботи

Дисертаційна робота структурно побудована логічно та послідовно. Матеріали викладено професійно і на високому науковому рівні. Результати та висновки роботи цілком відповідають її темі, сформульованій меті та поставленим завданням.

Дисертація містить вступ, п'ять розділів, висновки по роботі, список використаних джерел та 3-х додатків. Основний матеріал викладено на 151 сторінці. Бібліографічний опис джерел інформації містить 109 найменувань на 9 сторінках, додатки на 4-х сторінках. Загальний обсяг дисертації складає 165 сторінок.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання дослідження, наведено відомості щодо зв'язку роботи з науковим темами. Подано наукову новизну отриманих в дисертації результатів і практичну значимість, відзначено особистий внесок здобувача у спільних публікаціях, наведено кількісні показники стосовно опублікованих наукових праць, структури та обсягу дисертації.

У *першому розділі* «Стан та перспективи розвитку авіаційного двигунобудування» проведено критичний аналіз сучасного стану та перспективи розвитку авіаційного двигунобудування. Особливу увагу приділено аналізу ключових критичних технологій для авіаційних двигунів перспективних пасажирських літаків, розглянуто розвиток двигунобудування за кордоном. Завершується перший розділ обґрунтуванням актуальності дослідження параметрів та характеристик газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою. Газотурбінний двигун з турбовентиляторною приставкою має більш високі значення тягового та повного коефіцієнта корисної дії при дозвукових швидкостях польоту, що забезпечує підвищення тяги за стартових умов на 35-40% та на крейсерському режимі польоту 12- 15% більше, ніж тяга турбореактивного двигуна. Цей феномен пояснюється відсутністю негативного впливу модуля осьового вентилятора (яке має місце у двоконтурному двигуні) на параметри газогенераторного контуру, тобто збільшення коефіцієнта корисної дії компресора низького тиску і компресора високого тиску газогенератора на 3...5 %.

Другий розділ «Вибір та обґрунтування параметрів чисельного експерименту моделювання течії в турбовентиляторній приставці» присвячений вибору та обґрунтуванню параметрів математичного моделювання течії в турбовентиляторній приставці. Проаналізовано основні методи та засоби математичного моделювання течії в лопаткових машинах.

В розділі представлено результати вибору та обґрунтування топології розрахункової сітки та моделі турбулентної в'язкості для моделювання течії в турбовентиляторній приставці.

В роботі представлено результати проведених тестових задач моделювання течії в турбінній решітці VK11 та в компресорній решітці на основі ротору STFF. Результати чисельних експериментів порівнювались з результатами натурних експериментів. На основі результатів тестової задачі

зроблено висновок, що для подальших досліджень для дослідження течії у турбовентиляторній приставці обрано топологію розрахункової сітки та модель турбулентної в'язкості SST GTT.

У *третьому розділі* «Розробка моделі турбовентиляторної приставки» розроблено модель турбовентиляторної приставки авіаційного газотурбінного двигуна. На основі термодинамічного розрахунку отримано геометричні параметри турбінної і вентиляторної частини турбовентиляторної приставки, розроблено твердотільну модель турбовентиляторної приставки, розроблено сіткову модель турбовентиляторної приставки, задано граничні та початкові умови для подальшого моделювання течії у турбовентиляторній приставці. Представлено результати моделювання течії в турбовентиляторній приставці та оцінено вплив теплового потоку від турбінного контуру на вентиляторний контур турбовентиляторної приставки.

У *четвертому розділі* «Моделювання течії в турбовентиляторній приставці» проведено оцінку впливу робочого процесу турбінної частини турбовентиляторної приставки на робочий процес вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки. Представлено результати моделювання течії в двохярусному робочому колесі турбовентиляторної приставки при різних режимах роботи: на висоті від 11км, 9км, 7км до 0 км при стандартних атмосферних умовах.

Автором отримано залежності ступеня підвищення тиску вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки від коефіцієнта витрати на вході без урахування та з урахуванням впливу гарячих газів турбінного контуру турбовентиляторної приставки. Показано, що течія гарячих газів впливає на ступінь підвищення тиску у вентиляторному контурі.

Автором засвідчено, що наявність турбінного осередку призводить до погіршення характеристики вентиляторної частини. Ступінь підвищення тиску зменшується на 0,2...4,8%. Найбільший вплив проявляється на режимі роботи $H=11$ км.

Візуалізація поля швидкості течії у вентиляторній частині турбовентиляторної приставки показала, що при роботі турбінного контуру характер обтікання в вентиляторній частині змінюється приблизно на 50% висоти лопатки. Підвищення температури сприяє інтенсифікації енергії

примежевого шару навколо нижньої частини лопатки вентиляторного контуру, що позитивно впливає на зменшення нульових зон швидкості при обтіканні.

Здобувачем проведено оцінку впливу течії гарячих газів в турбінній частині робочого колеса на нагрів вентиляторної частини робочого колеса турбовентиляторної приставки, який показав, що при роботі турбовентиляторної приставки відбувається досить суттєвий температурний вплив на втулкову частину лопатки вентиляторного контуру.

У *п'ятому розділі* «Моделювання течії в турбовентиляторній приставці з урахуванням впливу примежевого шару на поверхні мотогондоли газогенератора» проведено дослідження впливу мотогондоли газогенератора на течію у вентиляторному контурі турбовентиляторної приставки.

Дисертантом безпосередньо, згідно наведених даних, проведено дослідження впливу примежевого шару на поверхні мотогондоли газогенератора на зміну ступеня підвищення тиску у вентиляторному контурі без урахування впливу турбінного контуру турбовентиляторної приставки. Показано, що мотогондола газогенератора чинить вплив на значення ступеня підвищення тиску.

Автором проведено дослідження впливу примежевого шару на поверхні мотогондоли газогенератора на зміну ступеня підвищення тиску у вентиляторному контурі з урахуванням впливу турбінного контуру турбовентиляторної приставки. На основі отриманих результатів показано, що примежевий шар на мотогондолі газогенератора не чинить негативного впливу на течію у вентиляторному контурі турбовентиляторної приставки, ступінь підвищення тиску до значень коефіцієнту витрати 0,35 зменшується на 0,1%, а при зростанні значень коефіцієнту витрати ступінь підвищення тиску зростає до 1%.

Проведено моделювання течії на поверхні мотогондоли газогенератора без вентиляторного та турбінного контуру на наступному режимі роботи: $H=11\ 000\text{м}$ і числі Маха на вході $M=0,3$ та $M=0,5$. Отримана візуалізація обтікання показала, що поле швидкості на вході у осьовий вентилятор рівномірне і має примежевий шар на стінці мотогондоли. Однак, поле швидкості течії на поверхні мотогондоли газогенератора з робочим вентиляторним та турбінним контуром на вході у вентиляторний контур суттєво відрізняється від варіанту, коли робота турбовентиляторної

приставки не враховується. Поле швидкості має нерівномірний характер обтікання і товщина наявного примежевого шару досить мала. Це явище обумовлюють декілька факторів: нагрів проміжного корпусу та робота вентиляторного і турбінного контуру турбовентиляторної приставки.

Здобувачем проведено оцінку впливу мотогондоли газогенератора на силу тяги вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки. Показано, що реактивна тяга вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки зростає на 0,87-6,15% при режимах роботи на висоті 0 км, 9 км, 11 км та діапазоні значень коефіцієнту витрати на вході від 0,35 до 0,9.

Отже, автором зроблено висновок на основі отриманих результатів, що мотогондола газогенератора не чинить негативного впливу на течію у вентиляторному контурі турбовентиляторної приставки і вентилятор турбовентиляторної приставки не чинить негативного впливу на газогенератор двигуна.

У висновках подані основні результати дисертаційного дослідження, що в сукупності відображають вирішення науково-прикладної задачі з розробки науково - обґрунтованих рекомендацій щодо узгодження параметрів робочого процесу вентиляторного та турбінного контурів турбовентиляторної приставки авіаційного газотурбінного двигуна.

Список використаних джерел та посилань на них у тексті дисертації свідчить, що під час досліджень дисертантом було проаналізовано достатній обсяг теоретичних та експериментальних матеріалів за темою дисертаційної роботи, що використані ним під час написання рукопису дисертації.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені в наукових публікаціях автора, які наведено у вступі дисертаційної роботи.

Отже, за змістом, структурою та оформленням розглянута дисертаційна робота повною мірою відповідає вимогам МОН України.

3. Наукова новизна положень, висновків та результатів дисертаційної роботи, практичне значення

Наукова новизна, представленої роботи Майбороди Р.В.

1. 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.

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

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

Практичне значення отриманих результатів підтверджується довідками про впровадження результатів дисертаційної роботи на ДП «Антонов» та ДП «Івченко-Прогрес».

4. Методи дослідження, використані в дисертаційній роботі

В основу представленої дисертаційної роботи покладено наступні методи: теорії теплових двигунів; примежового шару; теорії триконтурних двигунів; аналізу та синтезу; чисельного експерименту.

Застосування зазначених методів є достатньо обґрунтованим та доцільним для розв'язання поставлених у дисертаційній роботі часткових задач та основного наукового завдання у цілому.

5. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами

Робота виконана на кафедрі авіаційних двигунів Національного авіаційного університету та є продовженням напрямку досліджень, що проводяться в Національному авіаційному університеті, спрямованих на підвищення ефективності та економічності перспективних газотурбінних двигунів (Науково-дослідна 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.).

6. Повнота викладу положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи в опублікованих наукових працях

Наукова новизна дисертаційних досліджень достатньо обґрунтована здобувачем не має суперечностей та, на мій погляд, достатня для дисертації доктора філософії. Основні наукові і практичні результати, що отримані автором в ході дисертаційного дослідження, опубліковані у 4 друкованих працях, з них 3 одноосібні наукові статті, опубліковані у журналах, що входять до переліку фахових видань зі спеціальності 142, категорія «Б», розділ зарубіжної монографії, 5 тез доповідей на науково-технічних конференціях.

Отже, в опублікованих дисертантом наукових працях досить повно висвітлено головні положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи. Результати проведених досліджень отримали апробацію на всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференціях. Кількість друкованих робіт за темою дисертаційної роботи та їх обсяг відповідають вимогам щодо публікації основного змісту дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

7. Зауваження до дисертаційної роботи та дискусійні положення

1. В роботі відсутня структурно-логічна схема дисертаційних досліджень, що ускладнює поняття логіки ланцюга послідовного вирішення часткових задач для досягнення мети роботи і вирішення наукової задачі у цілому.

2. Мета роботи «розробка науково - обґрунтованих рекомендацій щодо узгодження параметрів робочого процесу вентиляторного та турбінного контурів турбовентиляторної приставки авіаційного газотурбінного двигуна» та наукове завдання сформульовані абсолютно ідентично друг другу, що, на мою думку, не є коректним.

3. Другий розділ дисертаційної роботи перенасичено описом загальних положень теорії обчислювального експерименту моделювання течії в лопаткових машинах.

4. Моделюванні течії в турбовентиляторній приставці з урахуванням впливу примежевого шару на поверхні мотогондоли газогенератора доцільно було б дослідити при різних значеннях температури газів перед турбіною.

5. Однією з важливих проблем, яка виникає при розробці турбовентиляторної приставки, є забезпечення високих міцнісних характеристик. Тому, при дослідженні температурного розподілу в робочому колесі турбовентиляторної приставки автору було б доцільно провести відповідні дослідження.

6. Заявлена автором наукова новизна, на мій погляд, не повною мірою розкрита, наприклад, є речення «вперше, або отримано...», разом з тим незрозуміло, у чому складається новизна та саме на що це впливає - пояснення відсутнє. Крім того, другий пункт, віднесений автором до наукової новизни, явно, на мій погляд, відноситься до практичної значимості.

7. Відомо, що під час роботи турбовентиляторної приставки виникають гідравлічні втрати, однак в роботі автором при оцінці аеродинамічних характеристик двоярусного робочого колеса їх вплив на останні не було оцінено.

8. Починаючи з другого розділу автором за текстом наведена певна кількість формул, разом з тим крім нумерації двох формул у третьому розділі у подальшому їх нумерація взагалі відсутня, що ускладнює процес роботи с дисертацією.

9. В дисертаційній роботі мають місце окремі випадки застосування не зовсім технічної лексики (наприклад, речення «літературний огляд...», «створення науково-обґрунтованих рекомендацій...»), крім того, за текстом дисертації також зустрічаються стилістичні, граматичні та синтаксичні помилки, повтори деякої інформації, порушення правил оформлення графічної інформації тощо.

Вважаю, що зазначені зауваження та недоліки викладення змісту дисертаційної роботи Майбороди Р.В. безумовно знижують наукову цінність, але не впливають на практичну значимість отриманих результатів, рівень їх новизни, обумовлені достатньою складністю кола досліджених автором питань та у більшості стосуються форми і специфіки подання матеріалу проведеної роботи, є не суттєвими і мають у основному рекомендаційний характер.

8. Загальна оцінка дисертаційної роботи, її відповідність існуючим вимогам та висновки

Дисертація МАЙБОРОДИ Романа Валерійовича на тему «Визначення взаємного впливу течії в турбінному та вентиляторному контурах

турбовентиляторної приставки авіаційного газотурбінного двигуна» є завершеною науковою працею з логічно побудованою структурою. Зміст дисертації відповідає поставленій меті та задачам, які повністю розв'язано в процесі дослідження.

Основні положення дисертаційної роботи, які виносяться на захист, містять наукову новизну та практичну значимість. Ознак академічного плагіату не виявлено.

Дисертаційна робота відповідає спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» та 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), 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 (зі змінами), а її автор МАЙБОРОДА Роман Валерійович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування», галузь знань 14 «Електрична інженерія».

Офіційний опонент: головний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України

доктор технічних наук, професор

Олександр РАССТРИГІН

“01” лютого 2024 року

Підпис РАССТРИГІНА Олександра Олексійовича засвідчую.
Начальник відділу персоналу та стройового ЦНДІ ОВТ ЗС України



Євген НОВОЖЕНІН