ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Терещенка Юрія Юрійовича на тему «Концепція інтеграції силової установки з турбовентиляторною приставкою і літального апарату», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

1. Актуальність теми дослідження

Концепція інтеграції силової установки і літального апарату, що досліджується в дисертації, присвячена вирішенню проблеми аеротермогазодинамічної інтеграції газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та ступінчастої мотогондоли силової установки з використанням енергії примежового шару, що формується на поверхні мотогондоли газогенераторного модуля.

Отримання високої паливної економічності магістральних літаків потребує оптимального узгодження аеродинамічних характеристик літального апарату та силової установки, застосування газотурбінних двигунів, що за параметрами та характеристиками найбільш повно відповідають поставленим задачам. Важливе місце у вирішенні цієї проблеми мають задачі аеротермогазодинамічної інтеграції газотурбінного двигуна і мотогондоли як складової частини літального апарату.

Актуальність роботи визначається актуальністю проблеми покращення тягово-економічних характеристик авіаційних силових установок перспективних літальних апаратів шляхом аеротермогазодинамічної інтеграції газотурбінного двигуна та мотогондоли силової установки літального апарату. Роботу виконано відповідно до Стратегії відродження українського авіабудування на період до 2022р., схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 429-р. 10.05.2018р.

Метою дослідження є створення науково-методичного апарату для вирішення актуальної науково-прикладної проблеми покращення тягово-економічних характеристик авіаційної силової установки шляхом аеротермогазодинамічної інтеграції багатоконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та ступінчастої мотогондоли з управлінням примежовим шаром на поверхні мотогондоли модуля газогенератора.

Для досягнення поставленої мети в дисертації вирішувались наступні задачі.

1. Аналіз сучасного стану проблеми вдосконалення параметрів та характеристик авіаційних силових установок та обґрунтування напрямку дисертаційного дослідження.

2. Створення наукових основ концепції аеротермогазодинамічної інтеграції багатоконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки

3. Створення науково-методичного апарату аеротермогазодинамічної

№ 51.08/18
08.11.2019р.

інтеграції багатоконтурних газотурбінних двигунів із турбовентиляторною приставкою і ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки.

4. Виконання експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик моделей мотогондол багатоконтурних газотурбінних двигунів з турбовентиляторною приставкою.

5. Розрахунково-експериментальне дослідження аеротермогазодинамічної інтеграції вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки багатоконтурного газотурбінного двигуна та мотогондоли модуля газогенератора із управлінням примежовим шаром.

6. Створення методики узгодження параметрів робочого процесу багатоконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та параметрів ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки відповідно до розрахункових умов польоту.

7. Створення графоаналітичного методу оптимізації аеротермогазодинамічних параметрів турбовентиляторної приставки багатоконтурних газотурбінних двигунів та ступінчастої мотогондоли.

8. Створення на основі результатів розрахунково-експериментальних досліджень рекомендацій щодо обгрунтування вимог до аеротермогазодинамічної інтеграції ступінчастої мотогондоли силової установки та газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою.

Методи дослідження. В роботі використовувались сучасні методи теоретичних та експериментальних досліджень. Теоретична частина роботи ґрунтується на результатах фундаментальних досліджень в галузі аеродинаміки авіаційних двигунів та теорії примежового шару. Експериментальна частина роботи ґрунтується на використанні сучасних методів аеродинамічних досліджень.

2. Новизна результатів дослідження, ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій

Наукова новизна отриманих автором результатів полягає у наступному.

1. Створено наукові основи концепції інтеграції багатоконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки. Отримала подальший розвиток теорія газотурбінних двигунів у напрямку створення теоретичних основ інтеграції багатоконтурних турбореактивних двигунів з турбовентиляторою приставкою та ступінчастої мотогондоли силової установки.

2. Створено науково-методичний апарат аеротермогазодинамічної інтеграції багатоконтурних турбореактивних двигунів із турбовентиляторною приставкою та ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки.

3. За результатами експериментальних досліджень вперше отримани та проаналізовани аеродинамічни характеристики ступінчастих мотогондол авіаційних силових установок

4. На основі результатів розрахунково-експеріментальних досліджень створено теоретичні основи аеротермогазодинамічної інтеграції триконтурного ГТД з турбовентиляторною приставкою та ступінчастою

мотогондолою авіаційної силової установки із застосуванням управління примежовим шаром на поверхні мотогондоли газогенераторного модуля.

5. Створено методику узгодження параметрів робочого процесу багатоконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та параметрів ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки відповідно до розрахункових умов польоту.

6. Створено графоаналітичний метод оптимізації аеротермогазодинамічних параметрів турбовентиляторної приставки багатоконтурнного газотурбінного двигуна та ступінчастої мотогондоли.

7. На основі розрахунково-експериментальних досліджень отримані рекомендації щодо обгрунтування вимог до аеротермогазодинамічної інтеграції багатоступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки та багатоконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою.

Достовірність отриманих наукових результатів роботи забезпечувалась коректним застосуванням математичного апарату для вирішення поставлених наукових задач, виконанням умов валідації та верифікації методик та установок для виконання експериментальних досліджень та підтверджувалась добрим узгодженням результатів розрахункових досліджень з результатами математичного моделювання і фізичних експериментів.

3. Найсуттєвіші наукові результати

Створено науково-методичний апарат для вирішення проблеми покращення тягово-економічних характеристик авіаційних силових установок шляхом аеротермогазодинамічної інтеграції газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою і ступінчастої мотогондоли. Науково-методичний апарат складається з:

- методик розрахунку аеротермогазодинамічних параметрів багатоконтурних турбореактивних двигунів з турбовентиляторною приставкою і ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки;
- графоаналітичного методу оптимізації параметрів турбовентиляторної приставки багатоконтурного турбореактивного двигуна та ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки;
- узагальнених результатів досліджень впливу управління примежовим шаром на поверхні мотогондоли газогенератора на ефективну тягу багатоконтурного турбореактивного двигуна та методик узгодження аеротермогазодинамічних параметрів турбовентиляторної приставки і ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки з управлінням примежовим шаром на поверхні мотогондоли газогенератора

4. Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих працях та апробація результатів дослідження.

За темою дисертації опубліковано одна одноосібна та дві колективні монографії, 22 наукових статей у журналах, що входять до переліку фахових видань України з технічних наук, у тому числі 5 статтей, які індексуються наукометричною базою SCOPUS, 1 патент України на корисну модель, 12

матеріалів конференцій.

5. Значення отриманих результатів для науки і практики

Наукове значення отриманих результатів полягає в тому, що в дисертації отримала подальший розвиток теорія газотурбінних двигунів у напрямку створення теоретичних основ інтеграції багатоконтурних турбореактивних двигунів з турбовентиляторою приставкою та ступінчастої мотогондоли силової установки.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання отриманих результатів при проектуванні компоновок перспективних літальних апаратів з силовими установками з турбовентиляторною приставкою. Практичне значення отриманих результатів підтверджується актами реалізації результатів роботи у ДП «Антонов» та ЗМКБ «ПРОГРЕС» і актом реалізації результатів роботи в навчальнно-виховний процес Національного авіаційного університету.

6. Оцінка змісту дисертації

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, обґрунтовано та сформульовано мету та завдання дослідження, охарактеризовані наукова новизна, теоретична та практична значимість отриманих результатів наукових досліджень, визначено особистий внесок здобувача в одержаних результатах наукових досліджень та впровадження результатів роботи.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан проблеми вдосконалення параметрів та характеристик авіаційних силових установок. Одним із шляхів покращення параметрів і характеристик газотурбінних двигунів модульної конструкції є створення газотурбінних двигунів з турбовентиляторною приставкою.. Аеротермогазодинамічна інтеграція газотурбінного двигуна і літального апарата передбачає узгодження параметрів робочого процесу і характеристик газотурбінного двигуна та параметрів і характеристик мотогондоли силової установки з метою отримання найкращих параметрів та характеристик літального апарату в розрахункових умовах польоту.

За змістом першого розділу сформульовано задачі дослідження аеротермогазодинамічної інтеграції багатоконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та ступінчастої мотогондоли силової установки літального апарату.

У другому розділі розглядається концепція інтеграції газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та ступінчастої мотогондоли. Вплив зовнішнього опору мотогондоли на ефективну тягу багатоконтурного двигуна при дозвукових швидкостях польоту визначається при наступних допущеннях. Зовнішній опір мотогондоли авіаційної силової установки визначається без урахування інтерференції несучих поверхонь крила, фюзеляжу, пілонів кріплення двигунів з мотогондолою силової установки і визначається як задача в'язкого обтікання тіла обертання.

Теоретичні дослідження показали, що газотурбінні двигуни з турбовентиляторною приставкою мають високу ефективність і економічність

в порівнянні з сучасними двоконтурними двигунами різного ступеня двоконтурності. Однак питання щодо дослідження профільного опору ступінчастої мотогондоли газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою до теперішнього часу не досліджено. За результатами розрахунково-експериментальних досліджень в роботі отримано узагальненн матеріалі щодо впливу співвідношення геометричних параметрів мотогондоли газогенератора і мотогондоли турбовентиляторної приставки на сумарний зовнішній опір мотогондоли авіаційної силової установки з турбовентиляторною приставкою.

Результати розрахунково-експериментальних досліджень показали, що зовнішній опір мотогондоли газогенератора істотно впливає на сумарний профільний опір мотогондоли силової установки. Зменшення зовнішнього опору ТРТД пропорційно зменшенню площі змочуваної поверхні мотогондоли газогенератора. Автором показано, що зниження в 2...3 рази зовнішнього опору мотогондоли силової установки за рахунок заміни двоконтурного двигуна на триконтурний із заднім розташуванням турбовентиляторної приставки еквівалентно збільшенню ефективної тяги силової установки на 1,5 ... 2,2% при незмінних параметрах робочого процесу і габаритних розмірах силової установки.

У третьому розділі викладено результати експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик мотогондол авіаційної силової установки з багатоконтурним газотурбінним двигуном з турбовентиляторною приставкою.

В процесі експериментальних досліджень при визначенні коефіцієнту лобового опору моделі C_x, розраховувались поправки та похибки, які враховують особливості провадження експериментального дослідження мотогондол авіаційних силових установок: похибки на загромадження робочої частини аеродинамічної труби моделлю та супутнім струменем, похибки прямих багаторазових вимірювань зусиль, визначалось середне квадратичне відхилення остаточного результату, обчислювалися границі довірчого інтервалу випадкової похибки, враховувалася приладова похибка і похибка кутового коефіцієнта тарирування, повна похибка при оцінюванні похибок непрямих вимірювань коефіцієнта сили лобового опору C_x, похибки непрямих вимірювань на основі знайдених похибок попередніх прямих вимірювань.

Важливими науковими результатами у вирішенні проблеми інтеграції газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та мотогондоли було визначення впливу чисел Маха, Рейнольдса і кутів атаки літального апарату на аеродинамічні характеристики ступінчастої мотогондоли силової установки літального апарату.

Аналіз результатів досліджень показав, що при нульовому куті атаки силової установки значення коефіцієнтів зовнішнього опору мотогондоли газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою менше у порівнянні зі значеннями коефіцієнту зовнішнього опору мотогондоли двоконтурного газотурбінного двигуна традиційної компоновки на 5…10% у

всьому досліджуваному діапазоні чисел Маха.

Узагальнені результати досліджень впливу кута атаки на коефіцієнт підйомної сили циліндричної мотогондоли авіаційної силової установки з турбовентиляторною приставкою показали, що збільшення кута атаки літального апарату з $\alpha = 0^{o}$ до $\alpha = 20^{o}$ приводить до збільшення аеродинамічного коефіцієнта підйомної сили циліндричної мотогондоли триконтурного газотурбінного двигуна на 10…15% в порівнянні зі збільшенням коефіцієнта підйомної сили циліндричної мотогондоли двоконтурного газотурбінного двигуна.

Четвертий розділ дисертації присвячений дослідженню впливу управління примежовим шаром на зовнішній опір мотогондоли авіаційної силової установки з турбовентиляторною приставкою. В розділі розглядаються питання впливу параметрів мотогондоли на формування примежового шару перед турбовентиляторною приставкою.

Задача дослідження передбачала оцінку впливу інтенсивності відсмоктування примежового шару на зниження аеродинамічного опору мотогондоли і збільшення внутрішньої тяги вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки. Відсмоктування примежового шару з поверхні мотогондоли газогенератора призводить до зменшення аеродинамічного опору мотогондоли газогенератора і силової установки в цілому. Для оцінки інтенсивності управління примежовим шаром в роботі запропоновано коефіцієнт відсмоктування . Порівняння зовнішнього опору мотогондол звичайного компонування двоконтурного газотурбінного двигуна і п'яти варіантів мотогондол газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою показало, що ефект від застосування відсмоктування примежового шару на поверхні мотогондоли газогенератора залежить від ступеня двоконтурності турбовентиляторної приставки.

Результати досліджень показали, що зовнішній опір мотогондол газотурбінних двигунів з турбовентиляторною приставкою на 50…55% менше, ніж зовнішній опір мотогондол звичайної компоновки двоконтурного газотурбінного двигуна.

У п'ятому розділі розглядаються питання аеротермогазодинамічної інтеграції двоконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та мотогондоли авіаційної силової установки. Концепція аеротермогазодинамічної інтеграції ступінчастої мотогондоли і двоконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою грунтується на використанні енергії примежого шару, що формується на поверхні мотогондоли газогенератора, для зменшення зовнішнього опору мотогондоли та збільшення ефективної тяги турбореактивного двигуна.

У роботі розглядаються методики аеротермогазодинамічного розрахунку силової установки з одноконтурним та двоконтурним газогенератором. Для визначення оптимальних значень ступеня двоконтурності турбовентиляторної приставки і ступеня підвищення тиску у вентиляторі у розрахункових умовах польоту в дисертації запропоновано графоаналітичний метод оптимізації параметрів турбовентиляторної

приставки ТРДД. В роботі отримано серію номограм графоаналітичного методу визначення параметрів турбовентиляторної приставки, узгоджених з параметрами газогенераторного контуру двоконтурного турбореактивного двигуна. Результати досліджень показали, що при інтенсивності відсмоктування примежового шару з поверхні мотогондоли газогенераторного модуля, яка відповідає значенням коефіцієнта відсмоктування $C_\delta = C_{\delta opt} = 1{,}0$, має місце зниження ефективної питомої витрати палива на 1… 7 %.

В шостому розділі запропоновано концепцію аеротермогазодинамічної інтеграції триконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки. Основна задача полягає у визначенні значення ступеня триконтурності турбовентиляторної приставки, при якому в заданих умовах польоту забезпечується оптимальний розподіл вільної енергії газового потоку газогенератора. Для вирішення цієї задачі запропоновано графоаналітичний метод оптимізації параметрів турбовентиляторної приставки ТРТД. Наведено приклади номограм графоаналітичного методу визначення оптимальних параметрів турбовентиляторної приставки триконтурного турбореактивного двигуна. Отримано серію номограм графоаналітичного методу визначення оптимальних параметрів турбовентиляторної приставки, узгоджених з параметрами двоконтурного газогенераторного контуру триконтурного турбореактивного двигуна.

7. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. Окремі рисунки в першому розділі потребують додатніх пояснень.
2. В другому розділі немає пояснення визначення параметрів турбовентиляторної приставки та параметрів мотогондоли (рис.2.4 та 2.5).
3. В розділі 2 графіки на рис.2.7 та 2.8 мають однакову наукову інформацію.
4. Дослідження аеродинамічних характеристик ступінчастих мотогондол виконано для невеликих дозвукових числах Маха.
5. Ефективність впливу відсмоктування примежового шару з поверхні мотогондоли на аеродинамічні характеристики мотогондол досліджувалась тільки при нульовому куті атаки.
6. Було б доцільно розглянути питання впливу пілонів на параметри та характеристики турбовентиляторної приставки, в тому числі, з відсмоктуванням примежового шару.
7. В роботі не відображено питання урахування роботи, що втрачається при відсмоктуванні примежового шару з поверхні мотогондоли газогенератора.
8. Доцільне було більш ретельно розкрити питання щодо енергетичної доцільности відсмоктування примежового шару з поверхні мотогондоли газогенератора силової установки з турбовентиляторною приставкою.

9. В роботі не розглянуті питання взаємодії потоків першого та другого контурів за турбовентиляторною приставкою.

10. Не розглянуті питання впливу відсмоктування примежового шару з поверхні мотогондоли газогенератора на аеродинамічні та аеропружні характеристики двохярусного лопаткового вінця турбовентиляторної приставки

Висновок

Вказані зауваження не суттєво впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Терещенка Ю.Ю.

В цілому можна констатувати, що дисертаційна робота Терещенка Ю.Ю. є закінченим науковим дослідженням, в якому отримані нові науково-обгрунтовані результати. На основі узагальнення теоретичних та розрахунково-експериментальних досліджень створено науково-методичний апарат для вирішення проблеми покращення тягово-економічних характеристик авіаційних силових установок шляхом аеротермогазодинамічної інтеграції газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою і ступінчастої мотогондоли

Дисертаційна робота і автореферат оформлені з дотриманням вимог, встановлених МОН України. Автореферат відповідає змісту дисертації.

Зважаючи на актуальність теми дослідження Терещенка Ю.Ю., ступінь обґрунтованості наукових результатів роботи, новизну та повноту викладу результатів в опублікованих працях автора, вважаю, що дисертація Терещенка Юрія Юрійовича на тему «Концепція інтеграції силової установки з турбовентиляторною приставкою і літального апарату» відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, 13, 14 чинного «Порядку присудження наукових ступенів», що висуваються до дисертації, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент
академік НАН України,
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,
доктор технічних наук, професор,
завідувач відділом високотемпературної
термогазодинаміки ІТТФ НАНУ А.А. Халатов

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут технічної теплофізики
Підпис А.А. Халатова
ЗАВІРЯЮ
04 11 2009 р.
Зав. ка[illegible]