

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.05 в Національному авіаційному
університеті

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 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

Актуальність теми дослідження

Забезпечення високої паливної економічності літальних апаратів потребує максимального узгодження параметрів характеристик силової установки та літального апарату. Важливе місце у вирішенні цієї проблеми мають задачі аеротермогазодинамічної інтеграції газотурбінного двигуна і мотогондоли як складової частини літального апарату.

Слід зазначити, що як концепції так і обґрунтованого цілостного науково-методичного апарату з порушеного питання для компонувань з багатоспінчастою мотогондолою та турбовентиляторною приставкою, що розташована у задній (кормової) частині двигуна досі немає.

Тому, дисертаційна робота спрямована на вирішення актуальної науково-прикладної проблеми - аеротермогазодинамічної інтеграції газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та ступінчастої мотогондоли силової установки літального апарату з використанням енергії примежового шару, що формується на поверхні мотогондоли газогенераторного модуля та покращення тягово-економічних характеристик авіаційних силових установок перспективних літальних апаратів. Саме це і визначає актуальність дисертаційної роботи здобувача.

Вирішення науково-прикладної проблеми дисертантом здійснено шляхом розробки на основі відповідного науково-методичного апарату певної концепції з інтеграції силової установки з кормовою турбовентиляторною приставкою і літального апарату, отримання при цьому кількісних значень основних параметрів, що впливають на підвищення економічності авіаційних двигунів з кормової турбовентиляторною

№51.08/17
08.11.2019р.

приставкою, а також формуванні конкретних рекомендацій щодо застосування як науково-методичного апарату, так і отриманих на його основі результатів.

Мета дослідження. Метою роботи визначено створення науково-методичного апарату для вирішення вище сформульованої актуальної науково-прикладної проблеми.

Для досягнення поставленої мети, що визначена, в дисертації були сформульовані та послідовно вирішувалися відповідні часткові наукові задачі.

Об'єктом дослідження вважалася силова установка з багатоконтурним газотурбінним двигуном з турбовентиляторною приставкою та ступінчастою мотогондолою.

Предметом дослідження є аеротермогазодинамічні процеси взаємодії газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою і ступінчастої мотогондолою з управлінням промежовим шаром.

В дисертації вирішувались наступні часткові наукові 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 мотогондолою авіаційної силової установки.

3. Створення науково-методичного апарату аеротермогазодинамічної інтеграції багатоконтурних газотурбінних двигунів із турбовентиляторною приставкою і ступінчастої мотогондолою 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 мотогондолою модуля газогенератора із управлінням примежовим шаром.

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

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

8. Створення на основі результатів розрахунково-експериментальних досліджень рекомендацій щодо обґрунтування вимог до аеротермогазодинамічної інтеграції ступінчастої мотогондолою 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.

Зв'язок роботи з науково-технічними програмами та планами.

Дисертаційні дослідження безпосередньо виконувалися у відповідності із науковими напрямами, що закріплені за Національним авіаційним університетом, а також щорічними планами наукової та науково-технічної діяльності названої установи і спрямовані на забезпечення покращення параметрів та характеристик газотурбінних двигунів літаків цивільної та військової авіації в широкому діапазоні експлуатаційних режимів.

Роботу виконано відповідно до Стратегії відродження українського авіабудування на період до 2022 року (розпорядження КМУ № 429-р від 10.05.2018р.).

Наукова новизна отриманих автором результатів.

На мій погляд, в ході дисертаційних досліджень отримані наступні наукові результати:

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

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

3. За результатами експериментальних досліджень вперше отримані та проаналізовані аеродинамічні характеристики ступінчастих мотогондол авіаційних силових установок.

4. На основі результатів розрахунково-експериментальних досліджень розроблено теоретичні основи аеротермогазодинамічної інтеграції триконтурного ГТД з турбовентиляторною приставкою та ступінчастою мотогондолою авіаційної силової установки із застосуванням управління примежовим шаром на поверхні мотогондолою газогенераторного модуля.

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

6. Розроблено методику визначення раціональних значень параметрів турбовентиляторної приставки багатоконтурного турбореактивного двигуна та ступінчастої мотогондолою авіаційної силової установки графоаналітичним методом

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

Обґрунтованість одержаних результатів підтверджується коректною постановкою науково-прикладної проблеми та часткових наукових задач дослідження, обґрунтованим вибором вхідних даних, припущень, обмежень, показників і критеріїв, які підтверджені практикою, а також застосуванням апробованого математичного апарату, теорії авіаційних газотурбінних двигунів та сучасних чисельних і експериментальних методів дослідження, коректним співставленням розрахункових даних з відомими точними рішеннями та їх задовільним узгодженням.

Найсуттєвіші наукові результати

Розроблено науково-методичний апарат для вирішення проблеми покращення тягово-економічних характеристик авіаційних силових установок шляхом аеротермогазодинамічної інтеграції газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою і ступінчастої мотогондoli з управлінням примежовим шаром на поверхні мотогондoli газогенератора, який складається з:

- методик розрахунку аеротермогазодинамічних параметрів багатоконтурних турбореактивних двигунів з турбовентиляторною приставкою і ступінчастої мотогондoli авіаційної силової установки;

- методики визначення раціональних значень параметрів турбовентиляторної приставки багатоконтурного турбореактивного двигуна та ступінчастої мотогондoli авіаційної силової установки графоаналітичним методом;

- узагальнених результатів досліджень впливу управління примежовим шаром на поверхні мотогондoli газогенератора на ефективну тягу багатоконтурного турбореактивного двигуна та методик узгодження аеротермогазодинамічних параметрів турбовентиляторної приставки і ступінчастої мотогондoli авіаційної силової установки з управлінням примежовим шаром на поверхні мотогондoli газогенератора.

Результати дослідження достатньо повно відображені в опублікованих працях та матеріалах наукових конференцій

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 статей, які індексуються наукометричною базою SCOPUS, 12 матеріалів конференцій, зазначений 1 патент України на корисну модель.

Значення отриманих результатів для науки і практики

В дисертації отримала подальший розвиток теорія газотурбінних двигунів у напрямку створення теоретичних основ інтеграції багатоконтурних турбореактивних двигунів з турбовентиляторною приставкою, що встановлена у кормовій частини двигуна, та ступінчастої мотогондoli силової установки.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання під час досліджень при проектуванні компоновок

перспективних силових установок з турбовентиляторною приставкою, що розташована у кормовій частині авіаційного двигуна.

Практичне значення отриманих результатів підтверджується актами реалізації (впровадження) результатів роботи у ДП «Антонов» та ЗМКБ «ПРОГРЕС» і актом реалізації результатів роботи в навчально-виховний процес Національного авіаційного університету.

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 наведено сучасний стан проблеми вдосконалення параметрів та характеристик авіаційних силових установок, обґрунтовано та сформульовано основні завдання дисертаційного дослідження. Аналіз проблеми інтеграції параметрів та характеристик газотурбінних двигунів та мотогондол авіаційних силових установок показав, що підвищення економічності та ефективності газотурбінного двигуна може бути забезпечено на основі комплексного розгляду всіх задач, що визначають параметри і характеристики авіаційної силової установки та літального апарату. Підкреслено, що одним із шляхів покращення параметрів і характеристик газотурбінних двигунів модульної конструкції є створення газотурбінних двигунів з турбовентиляторною приставкою.

У другому розділі розглянуто концепцію інтеграції газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та ступінчастої мотогондолі. Для визначення впливу зовнішнього опору мотогондолі на ефективну тягу багатоконтурного двигуна при дозвукових швидкостях польоту були обґрунтовані та прийняті відповідні обмеження та допущення.

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 мотогондолі газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою до теперішнього часу не досліджено. За результатами розрахунково-експериментальних досліджень виконано узагальнення матеріалів щодо впливу співвідношення геометричних параметрів мотогондолі газогенератора і мотогондолі турбовентиляторної приставки на сумарний зовнішній опір мотогондолі авіаційної силової установки з турбовентиляторною приставкою.

Результати розрахунково-експериментальних досліджень показали, що зовнішній опір мотогондолі газогенератора істотно впливає на сумарний профільний опір мотогондолі силової установки.

Використання турбовентиляторної приставки приводить до зміни ефективної тяги авіаційної силової установки внаслідок протилежного

впливу двох факторів: збільшення внутрішньої тяги вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки внаслідок збільшення витрати повітря через вентиляторний контур та зменшення зовнішнього аеродинамічного опору мотогондоли. Використання турбовентиляторної приставки з модулем універсального газогенератора приводить до підвищення ефективності і економічності авіаційної силової установки.

У третьому розділі представлено результати експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик мотогондол авіаційної силової установки з турбовентиляторною приставкою.

У роботі розглядаються задачі визначення впливу чисел Маха, Рейнольдса і кутів атаки на аеродинамічні характеристики ступінчастої мотогондоли силової установки літального апарату.

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 $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 20^\circ$ приводить 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 на 35...40%.

Четвертий розділ дисертації містить результати дослідження впливу управління примежовим шаром на зовнішній опір мотогондоли авіаційної силової установки з турбовентиляторною приставкою. Розглядаються питання оцінки впливу параметрів течії на зовнішній поверхні мотогондоли на формування примежового шару перед турбовентиляторною приставкою. Застосування чисельного експерименту дозволило дослідити опір мотогондоли газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою при різних зовнішніх умовах і швидкостях польоту.

У дослідженні вирішувалась задача оцінки впливу інтенсивності відсмоктування примежового шару на зниження аеродинамічного опору ступінчастої мотогондоли і збільшення внутрішньої тяги вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки. Встановлено, що відсмоктування примежового шару з поверхні мотогондоли газогенератора призводить до зменшення аеродинамічного опору мотогондоли газогенератора і силової установки в цілому. Порівняння зовнішнього опору мотогондол звичайного компоновання двоконтурного газотурбінного двигуна і п'яти варіантів ступінчастих 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 розглянуті питання аеротермогазодинамічної

інтеграції двоконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та мотогондолою авіаційної силової установки. У розділі розглядаються методики аеротермогазодинамічного розрахунку силової установки з одноконтурним та двоконтурним газогенератором. Для визначення оптимальних значень ступеня двоконтурності $m_{p\text{opt}}$ турбовентиляторної приставки і ступеня підвищення тиску у вентиляторі $\pi_{\text{Вл opt}}^*$ у розрахункових умовах польоту в дисертації запропоновано оптимізацію параметрів турбовентиляторної приставки ТРДД графоаналітичним методом. В роботі отримано серію номограм визначення раціональних значень параметрів турбовентиляторної приставки, узгоджених з параметрами газогенераторного контуру двоконтурного турбореактивного двигуна. Підкреслене, що важливе місце у вирішенні проблеми зменшення зовнішнього опору мотогондолою газотурбінного двигуна та підвищення тяги вентиляторного контуру має аеротермогазодинамічна інтеграція параметрів і характеристик газотурбінного двигуна та мотогондолою силової установки з управлінням примежовим шаром. Розгляд результатів дослідження показав, що при інтенсивності відсмоктування примежового шару з поверхні мотогондолою газогенераторного модуля, що відповідає значенням коефіцієнта відсмоктування $C_\delta = C_{\delta\text{opt}} = 1,0$, має місце зниження профільного аеродинамічного опору мотогондолою силової установки з подовженням $\lambda = 8$ на 45...75% і, відповідно, збільшення ефективної тяги силової установки з двоконтурним двигуном на 3...6 %.

В шостому розділі розглядається концепція аеротермогазодинамічної інтеграції триконтурного газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою та мотогондолою авіаційної силової установки.

Основна задача полягає у визначенні значень ступеня підвищення тиску у вентиляторі $\pi_{\text{Вл opt}}^*$, ступеня триконтурності турбовентиляторної приставки m_{III} та параметрів мотогондолою, при яких в заданих умовах польоту забезпечується оптимальний розподіл вільної енергії газового потоку газогенератора. Для вирішення цієї задачі запропоновано оптимізацію параметрів турбовентиляторної приставки ТРДД графоаналітичним методом. Наведено приклади номограм визначення раціональних значень параметрів турбовентиляторної приставки триконтурного турбореактивного двигуна (для газогенераторного контуру при $m_1 = 1$).

В роботі отримано серію номограм визначення раціональних значень параметрів турбовентиляторної приставки, узгоджених зі значеннями параметрів двоконтурного газогенераторного контуру триконтурного турбореактивного двигуна.

Розгляд результатів досліджень показав, що при інтенсивності відсмоктування примежового шару з поверхні мотогондолою газогенераторного модуля, що відповідає значенням коефіцієнта відсмоктування $C_\delta = 1,0$, має місце зниження профільного аеродинамічного опору мотогондолою силової установки на 45...75% і, відповідно, збільшення

ефективної тяги силової установки з двоконтурним двигуном на 1...6% і зниження ефективної питомої витрати палива 1...5%. Цей ефект забезпечується зменшенням негативного впливу зовнішнього опору мотогондоли газогенератора на ефективну тягу авіаційної силової установки і підведенням у вентиляторний контур турбовентиляторної приставки додаткової маси повітря примежового шару, що відсмоктується з поверхні мотогондоли газогенератора.

Висновки за роботою містять основні результати наукових досліджень та пропозиції щодо їх використання на практиці.

Оформлення дисертації та автореферату відповідають встановленим вимогам МОН України. Матеріали дослідження викладено в логічній послідовності, технічною мовою, без застосування псевдонаукової термінології.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації, містить основні положення і результати досліджень та дозволяє повною мірою оцінити сутність, наукову новизну та практичне значення дисертаційної роботи.

Автореферат дисертації не містить матеріалів, які не освітлені в тексті дисертації.

В цілому можна констатувати, що в дисертаційній роботі Терещенка Ю.Ю. 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 силової установки літального апарата.

Поставлена мета дисертаційних досліджень досягнута.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. Назва дисертаційної роботи, на мій погляд, сформульована не зовсім коректно з причин:

неповно розкриває сутність роботи, крім цього в неї відсутні ключові слова, що визначають її особливості та новизну напрямку досліджень;

з назви випливає, що дисертант розглядає інтеграцію силової установки з літаком, але в роботі цього немає (у тому числі у наведених часткових наукових завданнях), а лише вирішується проблема інтеграції газогенератора, кормової турбовентиляторної приставки та ступінчастої мотогондоли при відсмоктуванні з її поверхні примежового шару без врахування впливу ефекту інтерференції з боку елементів конструкції літака (пілонів, несучих поверхонь, фюзеляжа, тощо);

2. Формулювання більшості (з семи п'ять) пунктів наукової новизни не повною мірою відповідають вимогам ДАК МОН України щодо «формули наукової новизни (а саме: вперше розроблено; удосконалено; отримав подальшого розвитку), автором сформульовані ключовим словом «створено», крім того, не розкрито за кожним пунктом, що це надає для науки.

3. Автором не наведено загальної схеми дисертаційних досліджень, що дозволяло би спростити з'ясування задуму та послідовності вирішення наукової

проблеми з врахуванням прийнятих критеріїв. Науково-методичний апарат, що наведено по розділах (крім формалізованого алгоритма реалізації методики інтеграції ступінчастої мотогондоли силової установки і турбореактивного двигуна з турбовентиляторною приставкою, рис.5.9 на 228 сторінці) не має чіткої формалізації як по окремих методиках, так і взагалі.

4. У першому висновку за розділом 2 дисертантом констатовано, що по результатах досліджень ним запропоновано аеродинамічну компоновку ступінчастої мотогондоли авіаційної силової установки з багатоконтурним турбореактивним двигуном та турбовентиляторною приставкою, що складається з мотогондоли модуля газогенератора та мотогондоли модуля турбовентиляторної приставки, але по наданих в розділі матеріалах стосовно будь якого вибору нічого не зазначено.

5. З матеріалів роботи незрозуміло, яким чином отримано результати, що наведено на рис. 3.19, 3.20, якщо в експерименті була фіксована величина швидкості у робочій частині аеродинамічної труби 24 м/с, що дає число Маха $M=0,07$, число Рейнольдса $Re \approx 3,3 \cdot 10^5$, а на рисунках максимальні значення згаданих параметрів складають 0,2 та $7,0 \cdot 10^5$ відповідно.

6. По тексту дисертації по усіх розділах практично відсутня, а в авторефераті взагалі відсутня нумерація формул, що призводить до багатьох повторів окремих виразів та пояснень до них по розділах, і, у підсумку до перевантаження обсягів дисертаційної роботи. Крім того, дисертантом практично за усією роботою не робляться посилання на формули та рисунки (наприклад, рис. 1.12, 1.13, 2.2 тощо), що позичаються із зовнішніх джерел, також у окремих випадках робляться висловлення щодо узагальнення результатів розрахунково-експериментальних досліджень також без посилань на джерела та авторів.

7. Дисертантом у 6-му науковому результаті стверджується, на мою думку не зовсім коректно, про створення (по дослідженнях, що наведені у 5-му та 6-му розділах дисертаційної роботи) графоаналітичного методу оптимізації аеротермогазодинамічних параметрів турбовентиляторної приставки багатоконтурного газотурбінного двигуна та ступінчастої мотогондоли. Вважаю, що у даному випадку коректніше була би редакція у такому виді: «вперше розроблено методику визначення раціональних значень аеротермогазодинамічних параметрів турбовентиляторної приставки багатоконтурного газотурбінного двигуна та ступінчастої мотогондоли з використанням графоаналітичного методу, що дозволяє...». Пропонуємо термін «раціональних значень» тому, що вони, на мою думку, не є оптимальними, а лише початковими вихідними даними для розрахунків, які потім коригуються та уточнюються, про що автором неодноразово підкреслене в роботі.

Наведені зауваження безумовно знижують наукову цінність але не впливають на практичне значення дисертації Терещенка Ю.Ю. та отримані в ній наукові результати.

Висновок: Дисертація ТЕРЕЩЕНКА Юрія Юрійовича на тему «Концепція інтеграції силової установки з турбовентиляторною приставкою і

літального апарату» є науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності розв'язують актуальну науково-практичну проблему, та відповідає вимогам пп. 10, 12, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами та доповненнями згідно постанов КМ №656 від 19.08.2015, №1159 від 30.12.2015, №567 від 27.07.2016), що висуваються до дисертаційних робіт, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Головний науковий співробітник науково-дослідного управління Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
доктор технічних наук, професор
"06" 11 2019 р.

О.РАССТРИГІН

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

Є.НОВОЖЕНІН

