

Голові спеціалізованої вченої ради СРД
26.062.05 Національного авіаційного
університету

03058, м. Київ, пр. Любомира Гузара, 1

ВІДГУК

офіційного опонента

головного наукового співробітника Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
доктора технічних наук, професора Расстригіна Олександра Олексійовича
на дисертацію Жорника Олега Володимировича на тему:

”Підвищення ефективності дозвукового вхідного пристрою силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном”, що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки

Актуальність теми дослідження.

Дослідженню аеродинамічних характеристик вхідних пристроїв газотурбінних двигунів присвячено значна кількість наукових праць. Однак на даний час залишаються до кінця не вирішені питання щодо покращення ефективності вхідного пристрою, що працює під впливом гвинтовентилятора, силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном.

Об'єктивне **протиріччя** між рівнем сучасних вимог до значень параметрів та реальних характеристик вхідних пристроїв силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном та недосконалістю існуючого науково-методичного апарату, який би дозволяв отримання відповідних науково-обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення ефективності вхідного пристрою силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном, під час його проектування, породжує актуальну **науково-прикладну задачу**.

Отже, розробка заходів та рекомендацій щодо удосконалення характеристик дозвукового вхідного пристрою за рахунок зменшення втрат повного тиску шляхом вибору виду вхідного пристрою, його раціонального профілювання проточної частини із застосуванням сучасних програмних

засобів математичного моделювання для підвищення ефективності силової установки є актуальною науково-прикладною задачею.

Автором показано, що вплив роботи співвісного гвинтовентилятора на аеродинамічну досконалість проточної частини кільцевого вхідного пристрою, окружна і радіальна нерівномірність основних параметрів робочого тіла за дозвуковим вхідним пристроєм, що обумовлена зривними явищами в корінній частині гвинтовентилятора, є однією з причин втрат повного тиску у вхідному пристрої і нестійкої роботи компресора. Це впливає на запас газодинамічної стійкості та економічні і тягові характеристики силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном.

У викладеному вище контексті тема дисертації є актуальною та практично значимою для удосконалення існуючих та розробки нових вхідних пристроїв силових установок.

Наукова новизна одержаних у дисертації результатів. У дисертації автором отримано такі нові наукові результати:

Вперше проведено оцінку ефективності ковшового вхідного пристрою силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном з урахуванням впливу співвісного гвинтовентилятора. Встановлено, що застосування ковшового вхідного пристрою, замість кільцевого вхідного пристрою, дозволяє підвищити коефіцієнт відновлення повного тиску на 5–7 %.

Вперше отримані формули для розрахунку раціональної довжини хорди і кількості силових стійок вхідного пристрою кільцевого типу турбогвинтовентиляторного двигуна, по яких можна теоретично розраховувати довжину хорди і кількість силових стійок для заданого значення коефіцієнту відновлення тиску у вхідному пристрої.

Вдосконалено методику проектування ковшового вхідного пристрою силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном, яка, на відміну від існуючих, враховує вхідну частину ковшового S-подібного вхідного пристрою у формі еліпсу.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їх достовірність підтверджується коректними постановками наукових задач дослідження, обґрунтованим вибором вхідних даних, припущень, обмежень, показників і критеріїв, що підтверджені результатами льотних випробувань, застосуванням апробованого математичного апарату.

Теоретичне значення результатів дисертації полягає у впровадженні математичного апарату моделювання газодинаміки потоку з використанням програмного середовища ANSYS CFX у дозвуковому вхідному пристрої кільцевого та ковшового типу (з S - подібним каналом) силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном з урахуванням впливу роботи співвісного гвинтовентилятора, режимів польоту шляхом створення геометричної моделі об'єкту дослідження, генерації скінчено – елементної

структурованої сітки і рішення рівнянь Нав'є-Стокса з використанням двошарової SST моделі турбулентної в'язкості Transitional №4 Gamma Theta.

Практичне значення отриманих результатів

Розроблено рекомендації щодо кількості вхідних стійок кільцевого вхідного пристрою для турбогвинтовентиляторного двигуна. Встановлено, що зменшення кількості вхідних стійок позитивно впливає на зменшення гідравлічних страт у вхідному пристрої і приводить до збільшення коефіцієнту відновлення повного тиску.

Розроблено рекомендації щодо довжини хорди силової стійки вхідного пристрою на аеродинамічні характеристики вхідного пристрою турбогвинтовентиляторного двигуна. Встановлено, що зменшення хорди силової стійки позитивно впливає на зменшення гідравлічних страт у вхідному пристрої і приводить до збільшення коефіцієнту відновлення повного тиску.

У цілому використання отриманих автором рекомендацій щодо значень параметрів вхідного пристрою турбогвинтовентиляторного двигуна і розробленої методики проектування ковшового вхідного пристрою силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном можливо для використання при проектуванні турбогвинтовентиляторних двигунів нового покоління або при модернізації існуючих турбогвинтовентиляторних двигунів.

Практичне значення отриманих результатів підтверджується Актом впровадження результатів, що одержані в дисертаційній роботі, на ДП «Івченко – Прогрес» та ДП «Антонов».

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях відповідає вимогам Міністерства освіти та науки України щодо кваліфікаційних наукових робіт, поданих на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Результати роботи достатньо повно викладено в 5 наукових статтях у фахових виданнях (з них – 4 статті у виданнях категорії Б, 1 - SCOPUS), 8 тезах доповідей і матеріалах науково-технічних конференцій.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертації.

Подання матеріалу дисертації відповідає вимогам Міністерства освіти та науки України. Дисертацією є рукопис, що складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаних джерел та 3 додатків.

У **вступі** наведено обґрунтування актуальності теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, наведено дані про наукову новизну, практичну цінність та впровадження отриманих результатів, а також дані про публікації та апробацію роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз робочого процесу дозвукового вхідного пристрою, його основних параметрів та характеристик, аналіз впливу роботи співвісного гвинтовентилятора на течію у вхідному пристрої,

аналіз впливу форми вхідного пристрою на його аеродинамічні характеристики.

Показано, що розмір коефіцієнту відновлення повного тиску має значний вплив на питому витрату палива та тягу двигуна.

З'ясовано, що забезпечення потрібної витрати повітря при мінімальних втратах повного тиску і мінімальному зовнішньому опору можливо при спрямуванні досліджень на пошук оптимальних їх схем, розробку методів регулювання в широкому діапазоні швидкостей, зниження рівня радіальної та колової неоднорідності потоку на виході з вхідного пристрою на всіх режимах польоту, вирішення проблеми негативної інтерференції гвинтовентилятора (повітряного гвинта), вхідного пристрою та двигуна.

Попередні результати досліджень спільної роботи співвісного гвинтовентилятора і дозвукового вхідного пристрою показують, що удосконалення характеристик кільцевого вхідного пристрою, що працює за співвісним гвинтовентилятором можливо за рахунок раціонального вибору значень геометричних параметрів (щодо форми обичайки, розміру силових стійок, форми проточної частини та максимального відсунення гвинтовентилятора від обичайки) вхідного пристрою. Для вхідного пристрою, що працює за співвісним гвинтовентилятором його удосконалення можливо також за рахунок вибору раціональної форми ковшового вхідного пристрою і відводу примежового шару перед входом до нього.

Автором з'ясовано, що дослідження щодо вибору раціональних значень геометричних параметрів вхідних стійок і форми вхідного пристрою з урахуванням впливу гвинтовентилятора на даний час не є достатніми.

Також сформульовані основні задачі дослідження.

У другому розділі викладена методика математичного моделювання течії в гвинтовентиляторі і дозвуковому вхідному пристрої, проведено аналіз існуючих методів чисельного математичного моделювання та можливості застосування відповідних моделей турбулентності на точність отриманих даних чисельного дослідження параметрів течії.

Важливим елементом чисельного експерименту при моделюванні течії у гвинтовентиляторі та вхідному пристрої є застосування адекватної моделі турбулентної в'язкості, що замикає систему рівнянь Нав'є-Стокса.

Розглянуто методику математичного моделювання течії в співвісному гвинтовентиляторі з урахуванням вхідного пристрою. Розроблено геометричну та сіткову модель співвісного гвинтовентилятора і вхідного пристрою для проведення моделювання течії в них. Також подано початкові і граничні умови, що накладаються на досліджувану модель під час моделювання течії у співвісному гвинтовентиляторі з вхідним пристроєм турбогвинтовентиляторного двигуна.

Проведено тестову задачу моделювання течії у гвинтовентиляторі та у вхідному пристрої турбогвинтовентиляторного двигуна. За результатами тестової задачі обрано модель турбулентної в'язкості SST Transitional №4 Gamma Theta Model. При проведенні тестової задачі результати чисельного

експерименту порівнювались з результатами льотних випробувань та показали задовільну збіжність результатів.

Третій розділ присвячений верифікації запропонованої методики математичного моделювання дозвукового вхідного пристрою з урахуванням впливу співвісного гвинтовентилятора шляхом порівняння результатів моделювання з даними льотного експерименту на визначеному режимі.

За результатами цих досліджень автором зроблено висновок, що запропонована математична модель дозвукового вхідного пристрою з урахуванням впливу роботи співвісного гвинтовентилятора є адекватною, тобто достовірно описує процеси в розрахунковій області, а точність реалізації математичної моделі є достатньою (не перевищує 1%), що дозволяє проводити оцінку впливу різних факторів на аеродинамічні характеристики дозвукового вхідного пристрою.

Проведено математичне моделювання течії в дозвуковому вхідному пристрої з співвісним гвинтовентилятором для оцінки впливу параметрів стійок на коефіцієнт відновлення повного тиску. Досліджено вплив кількості силових стійок на характеристики у вхідному пристрої, та вплив довжини хорди силової стійки вхідного пристрою на аеродинамічні характеристики вхідного пристрою.

Розроблено рекомендації щодо кількості вхідних стійок кільцевого вхідного пристрою для турбогвинтовентиляторного двигуна. Встановлено, що зменшення кількості вхідних стійок позитивно впливає на зменшення гідравлічних страт у вхідному пристрої і приводить до збільшення коефіцієнту відновлення повного тиску.

Розроблено рекомендації щодо довжини хорди силової стійки вхідного пристрою на аеродинамічні характеристики вхідного пристрою турбогвинтовентиляторного двигуна. Встановлено, що зменшення хорди силової стійки позитивно впливає на зменшення гідравлічних втрат у вхідному пристрої і приводить до збільшення коефіцієнту відновлення повного тиску.

Отримана формула для розрахунку раціональної довжини хорди силових стійок вхідного пристрою кільцевого типу турбогвинтовентиляторного двигуна, яка дозволяє теоретично розраховувати довжину хорди силових стійок для заданого значення коефіцієнту відновлення тиску.

Отримана формула для розрахунку раціональної кількості силових стійок вхідного пристрою кільцевого типу для турбогвинтовентиляторного двигуна, яка дозволяє теоретично розраховувати кількість силових стійок для заданого коефіцієнту відновлення тиску у вхідному пристрої.

У четвертому розділі отримані рекомендації щодо раціонального значення кривизни S – подібного каналу та його раціонального значення звуження на ефективність ковшового вхідного пристрою.

Автором розроблено вдосконалену методику проектування ковшового вхідного пристрою силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном, яка, на відміну від відомих, враховує вхідну частину ковшового S -

подібного вхідного пристрою у формі еліпсу. При цьому площа входу досліджуваного S-подібного вхідного пристрою дорівнює площі входу вихідного кільцевого пристрою прототипу. Розроблена методика дозволяє побудувати ковшовий вхідний пристрій силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном, забезпечуючи еквівалентність витрати повітря, в порівнянні з кільцевим вхідним пристроєм.

Геометрична особливість отриманого ковшового вхідного пристрою забезпечує мінімізацію втрат повного тиску при зберіганні необхідної витрати повітря на вході в двигун. Таким чином, при інтеграції вхідного пристрою та співвісного гвинтовентилятора враховуються умови їхньої взаємодії для забезпечення максимального значення коефіцієнта відновлення повного тиску вхідного пристрою.

Представлена методика має практичну цінність та може бути використана інженерами та науковцями, які займаються розробкою та дослідженням вхідних пристроїв ковшового типу.

Також автором проведено розрахунок коефіцієнтів відновлення повного тиску для ковшового вхідного пристрою. Отримано залежність коефіцієнта збереження повного тиску вхідного пристрою від висоти та швидкості польоту з урахуванням впливу роботи гвинтовентилятора турбогвинтовентиляторного двигуна. Встановлено, що зміна умов польоту менш істотно впливає на зміну коефіцієнту відновлення повного тиску кільцевого, ніж ковшового вхідного пристрою.

Порівнянням характеристик кільцевого та ковшового вхідного пристрою силової установки з урахуванням впливу роботи гвинтовентилятора турбогвинтовентиляторного двигуна встановлено, що ковшовий вхідний пристрій є більш ефективний. Застосування ковшового вхідного пристрою, замість кільцевого вхідного пристрою, дозволяє підвищити коефіцієнт відновлення повного тиску на 5–7 %.

Автором показано, що заміна кільцевого вхідного пристрою на ковшовий дозволить мінімізувати втрати повного тиску на вході в компресор двигуна. Це, в свою чергу, дозволить покращити економічність двигуна.

Дискусійні положення та зауваження:

1. В роботі відсутня загальна структурно-логічна схема дисертаційних досліджень, що давала б повне уявлення про ланцюг послідовного вирішення часткових наукових задач для досягнення мети роботи і вирішення науково-прикладної задачі у цілому.

2. У роботі розглянуто вплив ряду факторів тільки на коефіцієнт відновлення повного тиску вхідного пристрою без дослідження впливу таких факторів на інші його аеродинамічні характеристики.

3. Автором у роботі при математичному моделюванні робота гвинтовентилятора обмежена лише крейсерським режимом. Доцільно було оцінити зміну коефіцієнта відновлення повного тиску вхідного пристрою на інших експлуатаційних режимах роботи.

4. В роботі розглянуто тільки один варіант відстані гвинтовентилятора до обичайки вхідного пристрою, що відповідає прототипу. Однак, цей параметр є важливим щодо впливу співвісного гвинтовентилятора на роботу вхідного пристрою, тому доцільно було б оцінити вплив значень і цього параметру на аеродинамічні характеристики вхідного пристрою.

5. Використана автором у роботі досліджувана модель не враховує нестационарність течії, що існує в реальному вхідному пристрої та при моделюванні враховується лише в потоці за співвісним гвинтовентилятором.

6. В матеріалах роботи відсутнє підтвердження результатів дисертаційних досліджень патентами на винаходи та корисні моделі, хоча, судячи з виконаного обсягу досліджень та отриманих при цьому результатів, такі патенти могли б бути оформлені.

7. За текстом дисертаційної роботи та автореферату мають місце порушення вимог ЄСКД щодо представлення графічної інформації, окремі стилістичні та синтактичні помилки.

Наведені зауваження безумовно знижують наукову цінність але не впливають на практичне значення дисертації та отримані в ній наукові результати і обумовлені визначеним колом досліджених автором питань та їх складністю. Область, якій присвячено дисертаційну роботу, безпосередньо торкається питань, які визначають ефективність силових установок з турбогвинтовентиляторним двигуном літаків транспортної категорії.

Висновок про дисертацію в цілому та відповідність її вимогам МОН України.

Дисертаційна робота Жорника О.В. є завершеною працею, виконана на достатньому науковому рівні, містить нові науково обґрунтовані результати в галузі авіаційних двигунів та енергетичних установок, які у сукупності складають рішення важливої науково-прикладної задачі з розробки відповідного науково-методичного апарату, спрямованого на вдосконалення конструкції елементів дозвукових вхідних пристроїв силових установок з турбогвинтовентиляторними двигунами літаків транспортної категорії із застосуванням сучасних програмних засобів математичного моделювання, що дозволяє підвищити ефективність силової установки у цілому за рахунок зменшення втрат повного тиску на вході у компресор і, тому, підвищити економічність двигуна.

Матеріали дослідження викладено грамотно в логічній послідовності, технічною мовою, без застосування псевдонаукової термінології.

Запозичень без посилань на джерела та авторів не виявлено.

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.

Поставлена мета дисертаційних досліджень досягнута

За усіма ознаками слідує, що дисертаційна робота Жорника О.В. відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки, з яких присуджується науковий ступінь кандидата технічних наук.

Висновок: Дисертаційна робота Жорника О.В. відповідає п. п. 9, 11 та 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами), а її автор Жорник Олег Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 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

" 15" 02 2023 р.



Олександр РАССТРИГІН

Підпис РАССТРИГІНА Олександра Олексійовича засвідчую.

Начальник відділу персоналу та стройового ЦНДІ ОВТ ЗС України

Євген НОВОЖЕНІН

