

Державний концерн «Укроборонпром»
ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес»
імені академіка О.Г. Івченка»

УСЕНКО ВЯЧЕСЛАВ ЮРІЙОВИЧ



УДК 629.735.036(043.3)

МЕТОДИКА ВРАХУВАННЯ АКУСТИЧНИХ ВТРАТ СПІВВІСНОГО
ГВИНТОВЕНТИЛЯТОРА В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ БАЛАНСІ АВІАЦІЙНОЇ
СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

05.05.03 - двигуни та енергетичні установки

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Запоріжжя - 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в ДП «Антонов» і Національному авіаційному університеті на кафедрі авіаційних двигунів.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, доцент Дорошенко Катерина Вікторівна, Національний авіаційний університет, доцент кафедри авіаційних двигунів

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, Расстригін Олександр Олексійович, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, головний науковий співробітник науково-дослідного управління

кандидат технічних наук, Басов Юрій Федорович, АТ «Мотор Січ», головний конструктор

Захист дисертації відбудеться «18» жовтня 2019 року о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 17.740.01 у ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» імені академіка О.Г. Івченка» за адресою: 69068, Запоріжжя, вул. Іванова, 2, корп. КНДК, к.301

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» імені академіка О.Г. Івченка» за адресою: 69068, Запоріжжя, вул. Іванова, 2. та на сайті підприємства www.ivchenko-progress.com у розділі «Про підприємство» – «Спеціалізована вчена рада».

Автоферат розісланий «5» вересня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 17.740.01
кандидат технічних наук



О.В. Петров

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Силова установка літального апарату визначає його ефективність і економічність. Конкурентоспроможний двигун повинен мати високі тягові, економічні, екологічні, масогабаритні та інші експлуатаційні характеристики. Унікальне поєднання властивостей і здатність ефективно функціонувати в істотно різних умовах є однією з основних причин, з яких авіаційний двигун вважається самостійним, з комерційної точки зору, продуктом.

Магістральним напрямом авіаційного двигунобудування є збільшення економічності і зменшення акустичної емісії газотурбінних двигунів.

Один із шляхів підвищення економічності авіаційних двигунів, що обрали світові авіаційні двигунобудівні компанії, є підвищення ступеня двоконтурності. Перспективною розробкою виступає двигун Open Rotor, що має ультрависоку ступінь двоконтурності і штовхаючий співвісний біротативний гвинтовентилятор.

В умовах конкуренції на ринку авіаційної техніки поряд з високою економічністю авіаційних двигунів виступає вимога до відповідності існуючим і перспективним вимогам щодо рівнів шуму, що представлені в додатку 16 до Конвенції міжнародної цивільної авіації. Крім того, однією з цілей ACARE до перспективних літаків є зниження акустичної емісії до 2050 року на 65% в порівнянні з рівнем шуму літаків 2000 року.

На малих дозвукових швидкостях польоту $M < 0,7$ найбільш економічним на теперішній час є турбогвинтовий двигун. При швидкості польоту $M > 0,7$ коефіцієнт корисної дії (ККД) гвинта починає інтенсивно зменшуватися, а питома витрата палива двигуна – збільшуватися. Деяке розширення зони економічної експлуатації турбогвинтового двигуна можливо при застосуванні спеціально спроектованих багатолопатеких стрілоподібних гвинтів змінного шагу (одно- або дворядних) - гвинтовентиляторів. Такі гвинтовентилятори змінного шагу мають підвищену навантаженість і зберігають високий ККД до $M = 0,8 \dots 0,85$.

Таким чином, турбогвинтовентиляторні двигуни (ТГВВД) мають суттєву перевагу в порівнянні з турбогвинтовими двигунами. Однак, ТГВВД мають суттєвий недолік – підвищений рівень шуму в салоні і на місцевості.

Основним джерелом акустичної емісії ТГВВД виступає гвинтовентилятор. Паливна економічність безпосередньо пов'язана з акустичною емісією, бо втрати енергії на акустичну емісію є суттєвою складовою загальних втрат енергії, що для теплових двигунів визначаються тяговим, внутрішнім та повним ККД. Зменшення енергії, що витрачається на акустичне випромінювання, призведе до зменшення рівня акустичних втрат і підвищення тягового ККД силової установки, що, в свою чергу, дозволить підвищити економічність ТГВВД, а також впливатиме на покращення акустичних характеристик гвинтовентилятора і літака. Однак, до теперішнього часу не існує методики урахування акустичних втрат співвісного гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки, що дозволить отримати науково обґрунтовані рекомендації щодо підвищення паливної економічності за рахунок зменшення акустичної емісії гвинтовентилятора.

Тягова ефективність, паливна економічність і акустична досконалість ТГВВД багато в чому залежить від параметрів і характеристик повітряного гвинтовентилятора.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання підвищення економічності турбогвинтовентиляторних авіаційних двигунів шляхом зменшення акустичних втрат гвинтовентилятора.

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

Робота виконана на ДП «Антонов» та кафедрі авіаційних двигунів Національного авіаційного університету. Вона ґрунтується на результатах досліджень, що пов'язані з виконанням держбюджетної науково-дослідної роботи і завдань, у яких здобувач брав участь як співвиконавець окремих розділів, НДР № 14/07.01.03 «Дослідження параметрів та характеристик силових установок перспективних безпілотних літальних апаратів» (2019 р.); також на результатах досліджень, що проводились в ДП «Антонов» №132D.700.Д1-18 «Наземні і льотні випробування по тензометруванню повітряного гвинта DowtyR408» (2018 р.).

Дана робота є складовою частиною досліджень, що проводяться в Національному авіаційному університеті і спрямовані на забезпечення покращення параметрів та характеристик ГТД літаків цивільної та військової авіації в широкому діапазоні експлуатаційних режимів.

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

Мета і задачі дослідження.

Метою роботи є розробка заходів для підвищення економічності турбогвинтовентиляторних двигунів шляхом зменшення акустичної емісії співвісного гвинтовентилятора.

Для досягнення поставленої мети, що визначена, в дисертації вирішувалися такі задачі:

1. Дослідження механізму генерування акустичної емісії співвісного гвинтовентилятора методом чисельного експерименту.
2. Дослідження впливу співвідношення діаметрів другого і першого рядів співвісного гвинтовентилятора на акустичну емісію гвинтовентилятора.
3. Дослідження впливу співвідношення частот обертання першого і другого рядів співвісного гвинтовентилятора на акустичну емісію.
4. Дослідження впливу кількості лопатей першого і другого рядів співвісного гвинтовентилятора на акустичну емісію.
5. Розробка методики урахування акустичних втрат співвісного гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки.
6. Розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення паливної економічності турбогвинтовентиляторного двигуна за рахунок зниження акустичної емісії співвісного гвинтовентилятора.

Об'єктом дослідження є робочий процес співвісного гвинтовентилятора турбогвинтовентиляторного двигуна.

Предметом дослідження є параметри і характеристики співвісного гвинтовентилятора турбогвинтовентиляторного двигуна.

Методи дослідження. В роботі використовуються сучасні теоретичні та експериментальні методи дослідження. Теоретична частина роботи формулює основні задачі, шляхи їх вирішення та ґрунтується на теорії авіаційної акустики, теорії газотурбінних двигунів, теорії повітряних гвинтів. Розрахунково-експериментальна частина роботи ґрунтується на використанні методів чисельного експерименту.

Результати чисельних розрахункових досліджень порівнювались з результатами натурних фізичних експериментів, що виконані в Державному підприємстві «Антонов».

Наукова новизна.

1. Вперше розроблено методику урахування акустичних втрат співвісного гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном. Розроблена методика дає можливість оцінити внесок акустичних втрат в загальному енергетичному балансі, а також дає можливість оцінити підвищення паливної економічності при проведенні заходів щодо зниження рівня шуму гвинтовентилятора.

2. Отримали подальший розвиток розрахунково-експериментальні дослідження аероакустичних характеристик співвісних гвинтовентиляторів, що дозволяють визначити напрямки вдосконалення силових установок з турбогвинтовентиляторними двигунами.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що застосування у практиці створення авіаційних турбогвинтовентиляторних двигунів запропонованих рекомендацій щодо раціональних значень параметрів співвісних гвинтовентиляторів і розробленої методики дозволяє з нових позицій вирішувати науково-прикладне завдання підвищення економічності і акустичної досконалості турбогвинтовентиляторних двигунів.

Практичне значення отриманих результатів підтверджується актами реалізації та впровадження результатів, одержаних в дисертаційній роботі, в ДП «Антонов» (від 14.05.2019), в Центральному науково-дослідному інституті озброєння та військової техніки Збройних Сил України (від 17.05.2019 і від 19.06.2019).

Особистий внесок здобувача. Основні ідеї досліджень, концепція роботи, її положення й принципи вирішення задач розроблені автором самостійно.

Здобувачу належать 5 одноосібних публікацій, а саме: 3 у фахових виданнях України [1, 4, 5] та 1 теза доповідей на Всеукраїнській практично-пізнавальній конференції [6] і 1 теза доповідей на Міжнародній науково-практичній конференції [7].

У наукових працях автора, що опубліковані у співавторстві, здобувачем: проведено чисельне моделювання течії в співвісному гвинтовентиляторі, проведено аналіз результатів [2, 3, 8, 10]; уточнено формули для розрахунку питомої витрати палива з урахуванням акустичних втрат співвісного гвинтовентилятора [9]; проведено аналіз стану проблеми проектування систем захисту повітрязабирачів авіаційних силових установок від попадання сторонніх предметів в двигун [11]; проведено огляд сучасного стану проблеми забезпечення газодинамічної стійкості [12]; проведено огляд проблеми підвищення повного ККД газотурбінних двигунів [13]; проаналізовано отримані результати щодо підвищення повного ККД газотурбінних двигунів [14].

Достовірність отриманих наукових результатів роботи забезпечується коректними постановкою наукового завдання, мети, застосуванням математичного апарату для вирішення поставлених задач, та підтверджується задовільним узгодженням результатів розрахункових досліджень з результатами фізичних експериментів, виконаних за апробованими методиками.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення, результати та висновки наукового дослідження доповідались автором, обговорювались та отримали позитивну оцінку на наукових семінарах кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету (м. Київ, Україна, 2016-2019 рр.); міжкафедральному семінарі Національного авіаційного університету (м. Київ, Україна, 2019 р.); науковому семінарі в ДП «Антонов» (м. Київ, Україна, 2019 р.); XXVI Всеукраїнській практично-пізнавальній конференції "Наукова думка сучасності і майбутнього" (м. Київ, Україна, 2019 р.); XIX Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених і студентів Політ. Сучасні проблеми науки. (м. Київ, Україна, 2019 р.); Всеукраїнській конференції «Авіація та космонавтика: стан, досягнення і перспективи» (м. Кропивницький, Україна, 2019р.); XIV Міжнародній науково-технічній конференції «АВІА-2019». (м. Київ, Україна, 2019р.); Міжнародній науково-технічній конференції "Нові і нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні» (м. Одеса, Україна, 2019р.).

Публікації. Основні результати дисертації представлено у колективній монографії, 8 наукових статтях, опублікованих у журналах, що входять до переліку фахових видань України з технічних наук, у тому числі 4 статті індексуються міжнародними наукометричними базами, 5 тезах і матеріалах конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та 4 додатків. Основний матеріал викладено на 112 сторінках, на яких наведено 42 рисунки та 2 таблиці. Список використаних джерел інформації містить 130 найменувань на 15 сторінках. Загальний обсяг дисертації складає 156 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані наукове завдання, мета і задачі дослідження, охарактеризовані наукова новизна, теоретична й практична цінність отриманих наукових результатів, визначено особистий внесок здобувача в одержані результати досліджень та впровадження результатів роботи.

У першому розділі наведено огляд сучасного стану загальної проблеми підвищення паливної економічності і зменшення акустичної емісії авіаційних двигунів.

Вагомий внесок у вирішення проблеми підвищення паливної економічності газотурбінних двигунів внесли представники світової та української наукових шкіл, зокрема видатні вчені: Холщевников К.В., Нечаєв Ю.М., Шляхтенко С.М., Клячкін О.Л., Ольштейн Л.Є., Брусиловський Й.В., Самойлович Г.С., Люлька А.М., Гіневський А.С., Івченко О.Г., Кравченко І.Ф., Богуслаєв В.О., Іноземцев О.О., Федоров Р.М., Єршов В.М., Бойко А.В., Бойко Л.Г., Єршов С.В., Терещенко Ю.М., Халатов А.А., Мітрахович М.М., Дихановський В.М. та ін. У розділі приведено кри-

тичний аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень у галузі теорії авіаційних газотурбінних двигунів, що віддзеркалюють сучасний стан вирішення задач покращення паливної економічності.

Проаналізовано методи покращення паливної економічності. Зазначено, що покращення економічності газотурбінних двигунів залежить від підвищення повного ККД. Підвищення повного ККД, по-перше, пов'язано з вдосконаленням термодинамічного циклу, по-друге, залежить від підвищення тягового ККД. ТГвВД мають достатньо високий тяговий ККД. Таким чином, підвищення повного ККД ТГвВД дозволить отримати високоекономічний конкурентоспроможний двигун вітчизняного виробництва.

Проведений аналіз показав, що одним із основних недоліків ТГвВД є високий рівень шуму на місцевості і в салоні літака. Вагомий внесок у вирішення проблеми зменшення акустичної емісії газотурбінних двигунів внесли представники світової та української наукових шкіл, зокрема видатні вчені: Лайтхілл М.Дж., Голдстейн М.Є., Гутін Л.Я., Непомнящий Є.О., Самохін В.Ф., Мошков П.О., Токарев В.І., Мунін А.Г., Запорожець О.І. та ін.

Літературний огляд досліджень в області шуму гвинтів і гвинтовентиляторів показав, що такі параметри гвинтів і гвинтовентиляторів як діаметр, частота обертання, кількість лопатей, форма лопатей значно впливають на акустичну емісію.

Акустична емісія співвісного гвинтовентилятора – це втрати енергії в енергетичному балансі ТГвВД. Визначення співвідношення аеродинамічних та акустичних характеристик співвісного гвинтовентилятора в енергетичному балансі ТГвВД дозволяє розробити рекомендації щодо підвищення паливної економічності двигуна за рахунок зниження акустичної емісії співвісного гвинтовентилятора. Зменшення енергії акустичного випромінювання гвинтовентилятора приведе до підвищення тягового ККД силової установки, що дозволить підвищити економічність ТГвВД, а також сприятиме покращенню акустичних характеристик гвинтовентилятора і літака. До теперішнього часу не існує методики урахування акустичних втрат співвісного гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки.

У другому розділі розглядаються математичні моделі генерації шуму співвісного гвинтовентилятора.

Проведено аналіз моделей акустичної емісії гвинтовентиляторів. На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що з метою зниження загального акустичного випромінювання гвинтовентилятора, в першу чергу, необхідно впливати на зниження дипольного і квадрупольного акустичного джерела.

Розглянуто методи розрахунку акустичної емісії гвинтовентиляторів. На перших етапах дослідження акустичної емісії гвинтовентиляторів доцільно використовувати методи чисельного моделювання. Обчислювальний експеримент дає можливість досліджувати генерацію шуму при різних умовах за досить короткий проміжок часу.

В роботі вирішено тестову задачу щодо обґрунтування вибору моделі турбулентної в'язкості для моделювання шуму співвісним гвинтовентилятором авіаційної силової установки з гвинтовентиляторним двигуном.

Розрахунок течії виконувався за допомогою осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса. Вся досліджувана область гвинтовентилятора з метою забезпечення коректного моделювання обтікання першого і другого ряду гвинтовентилятора і необхідністю врахувати вплив повітрозбірника двигуна на параметри за гвинтовентилятором, була розбита на чотири підобласті: зовнішня; канал повітрозбірника; перший ряд гвинтовентилятора; другий ряд гвинтовентилятора. У всіх чотирьох підобластях була побудована структурована гексаедральна сітка з адаптацією приміжового шару: зовнішня підобласть складається з 1 066 679 розрахункових елементів; перший ряд гвинтовентилятора – 8 670 880 елементів, складається з 8 підобластей (кожна описує одну з лопатей); другий ряд гвинтовентилятора – 6 914 808 елементів, складається з 6 підобластей (кожна описує одну з лопатей); канал повітрозбірника – 1 248 528 розрахункових елементів, складається з 8 підобластей - для кожної лопатки вхідного напрямного апарату. На рис. 1 зображено фрагмент побудованої розрахункової сітки.

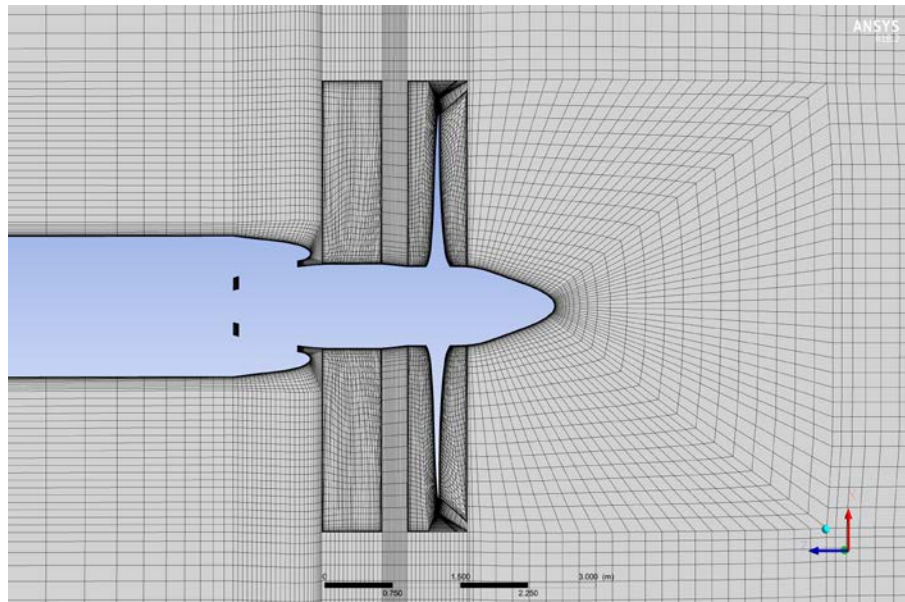


Рисунок 1 – Фрагмент побудованої розрахункової сітки

У місцях розрахункової області, в яких передбачається виникнення сильних градієнтів обчислюваних змінних, розрахункова сітка повинна мати відповідне згущення для отримання адекватного рішення. До таких місць відносяться області, в яких має місце прикордонний шар. При створенні сітки для всіх чотирьох підобластей початкова висота комірок у стінки складала 0,01 мм. Значення безрозмірної координати першого пристінного вузла y^+ не перевищувало 1,0.

Тестові задачі проводились для моделей турбулентності $k-\omega$, SST і моделлю SST Gamma Theta Transitional.

На основі проведених тестових задач, зроблено висновок, що для подальших досліджень доцільно використовувати моделі турбулентної в'язкості SST і SST Gamma Theta Transitional Model. Однак меншу похибку розрахунків має модель турбулентної в'язкості SST Gamma Theta Transitional Model.

У третьому розділі розглянуто задачі генерації шуму співвісного гвинтовентилятора та впливу конструктивних та кінематичних параметрів на акустичну емісію співвісного гвинтовентилятора.

Результати дослідження показали, що рівень звукового тиску, який генерує другий ряд співвісного гвинтовентилятора вище, ніж рівень звукового тиску, який генерує перший ряд. Одна з причин цього явища є колова та радіальна нерівномірність на вході у другий ряд гвинтовентилятора, яку створює аеродинамічний слід за першим рядом.

Результати дослідження інтенсивності і направленості акустичного випромінювання співвісного гвинтовентилятора показали, що нерівномірність потоку на вході в другий ряд гвинтовентилятора є додатковим джерелом акустичного випромінювання в задню напівсферу. При збільшенні осевого зазору між рядами гвинтовентилятора на 300 мм у задній напівсфері сумарна акустична потужність зменшується на 2,5...4,6 дБ.

В роботі представлено результати розрахунків рівнів акустичного тиску співвісного гвинтовентилятора при зміні співвідношення діаметрів гвинтовентилятора.

На рис. 2 показано зміну сумарного рівня акустичного тиску (ΔL) першого і другого ряду гвинтовентилятора відносно базового гвинтовентилятора для п'яти досліджуваних модифікованих варіантів при зменшенні периферійного діаметру другого ряду гвинта від 5% до 25% при $\bar{D}=0,95\dots0,75$.

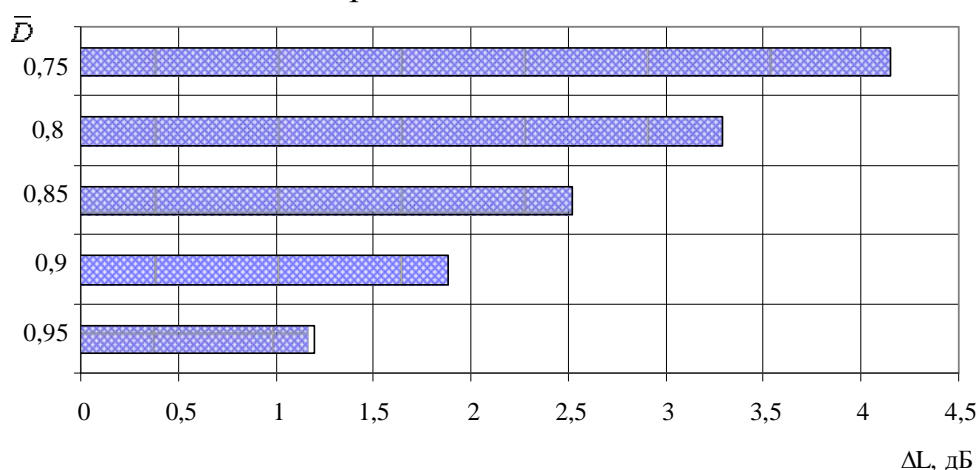


Рисунок 2 – Зміна сумарного рівня акустичного тиску першого і другого ряду гвинтовентилятора відносно базового гвинтовентилятора для п'яти модифікованих варіантів гвинтовентилятора

Встановлено, що зменшення відносного діаметру другого ряду гвинтовентилятора впливає на інтенсивність акустичного випромінювання першого і другого рядів гвинтовентилятора. Аналіз отриманих результатів показав, що при зменшенні діаметру другого ряду гвинтовентилятора від 5% до 25% ($\bar{D}=0,95\dots0,75$) сумарний рівень акустичного тиску першого і другого ряду гвинтовентилятора зменшується на 1,2...4,15 дБ відповідно. Показано, що найбільша ефективність має місце при зменшенні діаметру другого ряду гвинтовентилятора на 25% при $\bar{D}=0,75$.

В роботі представлено результати дослідження рівнів акустичного тиску співвісного гвинтовентилятора при зміні співвідношення частоти обертання першого і

другого рядів гвинтовентиляторів. Зміна частоти обертання першого і другого рядів гвинтовентилятора була досліджена при умові незмінної сумарної потужності $N=\text{const}$, але при цьому потужність першого і другого ряду гвинтовентилятора змінювалась ($N_1=\text{var}$ і $N_2=\text{var}$). На рис. 3 представлено отриману залежність зміни рівня акустичного тиску ΔL для обох рядів гвинтовентилятора від співвідношення частот обертання першого і другого рядів гвинтовентилятора \bar{n} .

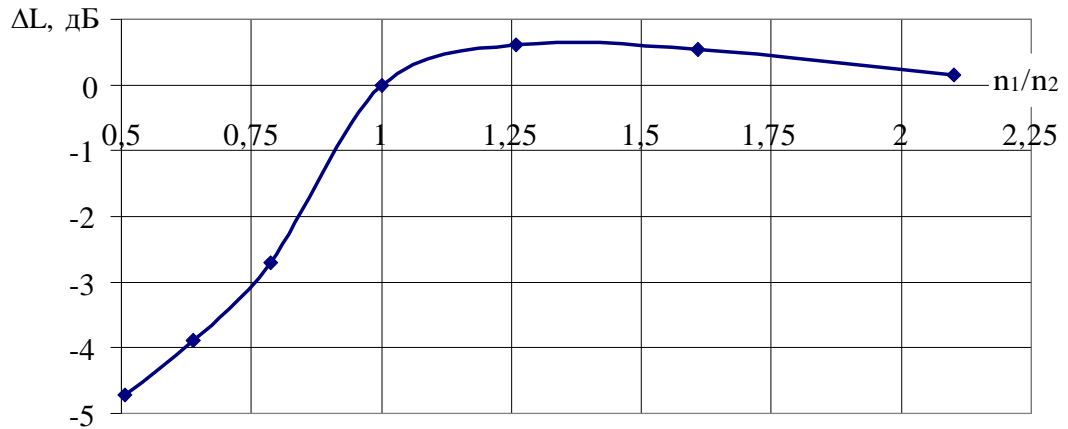


Рисунок 3 – Залежність зміни рівня акустичного тиску ΔL для обох рядів гвинтовентилятора від співвідношення частот обертання першого і другого рядів гвинтовентилятора \bar{n}

Встановлено, що збільшення частоти обертання другого ряду гвинтовентилятора призводить до збільшення сумарного рівня акустичного тиску.

Аналіз отриманих результатів показує, що співвідношення частот обертання першого і другого рядів гвинтовентилятора впливає на акустичну емісію гвинтовентилятора. При $\bar{n} < 1$ рівень акустичного тиску зростає в порівнянні з базовим на 2,7...4,7 дБ. При $\bar{n} > 1$ рівень акустичного тиску зменшується в порівнянні з базовим на 0,15...0,6 дБ.

Зменшення частоти обертання другого ряду гвинтовентилятора приводить до незначного зменшення сумарного рівня акустичного тиску гвинтовентилятора. При $\bar{n} = 1,260159$ рівень акустичного тиску ΔL співвісного гвинтовентилятора зменшується на 0,6 дБ, при цьому відбувається перерозподіл потужності, при якому потужність першого ряду на 10% більше, ніж в базовому варіанті. При застосуванні співвідношення частот обертання $\bar{n} = 1,60901$ рівень акустичного тиску ΔL співвісного гвинтовентилятора зменшується на 0,54 дБ, при цьому потужність першого ряду зростає на 20%. При $\bar{n} = 2,1012$ рівень акустичної потужності ΔL зменшується на 0,15 дБ і потужність першого ряду гвинта повинна зрости на 30%.

Тобто, при зменшенні частоти обертання другого ряду гвинтовентилятора досягнутий ефект покращення акустичної емісії другого ряду гвинтовентилятора (від 1,9...6,6 дБ) практично повністю уходить на компенсацію збільшення акустичної емісії першого ряду гвинтовентилятора, де відбувається збільшення рівня акустичного тиску на 2,1...5,4 дБ. В результаті чого, сумарний рівень акустичного тиску співвісного гвинтовентилятора зменшується на 0,15...0,6 дБ. При чому найбільша

ефективність ($\Delta L=0,6$ дБ) спостерігається при збільшенні потужності першого ряду на 10% в порівнянні з базовим варіантом.

В роботі представлено результати дослідження акустичної емісії співвісних гвинтовентиляторів при збільшенні кількості лопатей першого і другого ряду.

В базовому співвісному гвинтовентиляторі перший ряд має 8 лопатей, другий – 6. Проведено попередні теоретичні розрахунки щодо зміни параметрів співвісного гвинтовентилятора при збільшенні лопатей першого ряду з 8 до 12 і другого з 6 до 12 при умові $N_1=\text{const}$, $N_2=\text{const}$ і $N=\text{const}$.

Рівняння для визначення потужності кожного i -го ряду ($i = 1, 2$) гвинтовентилятора записується наступним чином:

$$N_i = \bar{\beta}_{iz_i} \rho_i n_i^3 D_i^5, \quad (1)$$

де $\bar{\beta}_{iz_i}$ – сумарний коефіцієнт потужності i -го ряду співвісного гвинтовентилятора, z_i – кількість лопатей i -го ряду гвинтовентилятора, ρ_i – густина повітря, n_i – частота обертання i -го ряду співвісного гвинтовентилятора, D_i – периферійний діаметр i -го ряду співвісного гвинтовентилятора.

Задаючи значення z_1 і z_2 при умові $N_1=\text{const}$, $N_2=\text{const}$ і $N=\text{const}$, були отримані 4 модифікованих варіанта співвісних гвинтовентиляторів. На рис. 4 показано 3D моделі розроблених модифікованих співвісних гвинтовентиляторів.

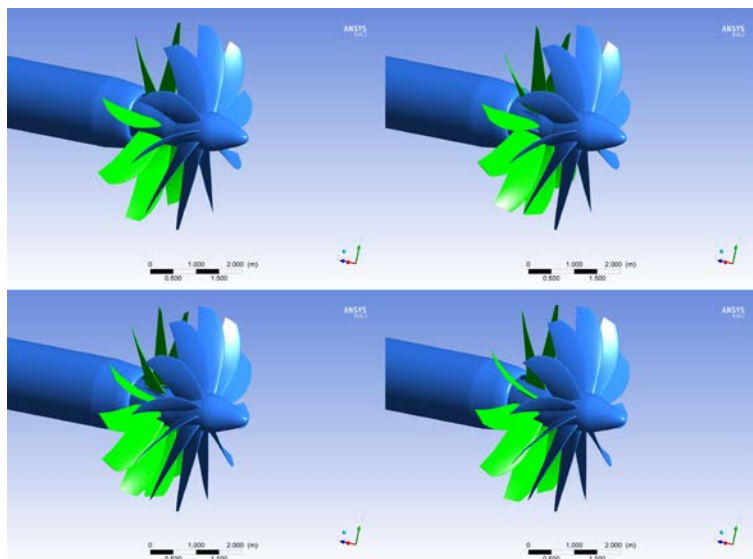


Рисунок 4 – 3D моделі розроблених модифікованих співвісних гвинтовентиляторів

За результатами газодинамічних розрахунків було отримано рівень акустичного тиску досліджуваних модифікованих співвісних гвинтовентиляторів.

На рис. 5 представлено зміну рівня акустичного тиску ΔL співвісних гвинтовентиляторів відносно базового варіанту для всіх досліджуваних модифікованих гвинтовентиляторів.

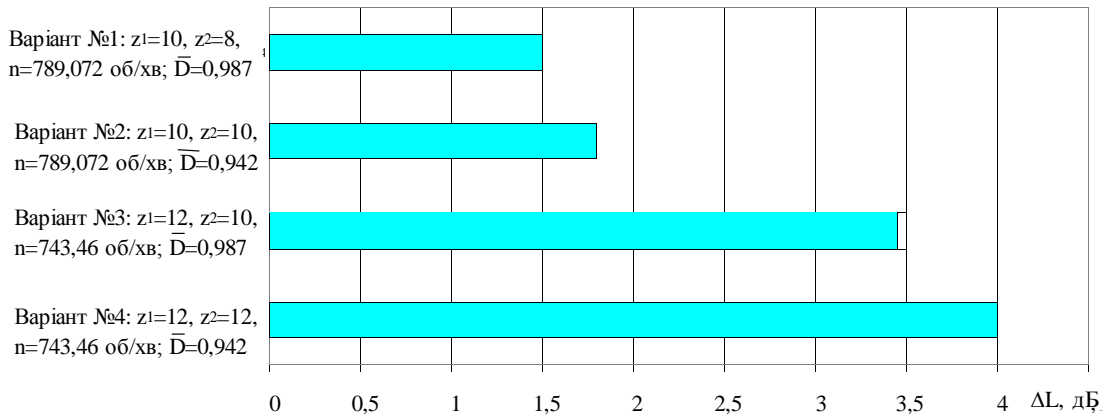
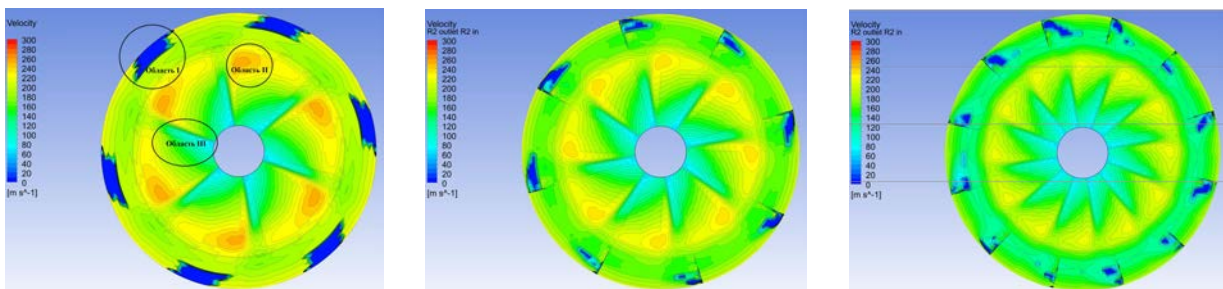


Рисунок 5 – Зміна рівня акустичного тиску ΔL співвісного гвинтовентилятора відносно базового варіанту для всіх досліджуваних модифікованих гвинтовентиляторів

Представлені результати показують, що збільшення лопатей першого ряду з 8 до 12 і збільшення лопатей другого ряду з 6 до 12, зменшення частоти обертання з 850 об/хв до 789,072... 743,76 об/хв., зменшення відношення діаметрів другого і першого рядів співвісного гвинтовентилятора $\bar{D} = 0,987...0,942$ приводить до зменшення рівня акустичного тиску на 1,5...4 дБ. Серед досліджуваних варіантів найбільш ефективним з точки зору зниження акустичної емісії в джерелі є варіант №4 (зменшення рівня акустичного тиску на 4 дБ), який має частоту обертання $n_1 = n_2 = 743,76$ об/хв., кількість лопатей першого ряду $z_1 = 12$, кількість лопатей другого ряду $z_2 = 12$, відношення діаметрів другого і першого рядів співвісного гвинтовентилятора $\bar{D} = 0,942$.

В роботі було поаналізовано, як якісно змінився рівень нерівномірності потоку за першим рядом вентилятора на вході у другий ряд гвинтовентилятора. На рис. 6 представлено розподілення поля швидкості на вході у другий ряд гвинтовентилятора для всіх досліджуваних модифікованих варіантів гвинтовентилятора.



а) $z_1 = 8$

б) $z_1 = 10$

в) $z_1 = 12$

Рисунок 6 – Розподілення поля швидкості на вході у другий ряд гвинтовентилятора в залежності від кількості лопатей ($z_1 = 8...12$)

Аналіз полів швидкості базового варіанту гвинтовентилятора з кількістю лопатей першого ряду $z_1 = 8$ (див. рис.6, а) показує, що на вході у другий ряд гвинто-

нтилятора для кожної лопаті присутні три характерні області нерівномірності потоку: область I – зона нульових швидкостей над лопаттю гвинтовентилятора, область II – зона підвищених швидкостей у периферійній частині лопаті, область III – зона понижених швидкостей у привтулковій частині лопаті. Збільшення кількості лопатей привело до перерозподілу поля швидкості на вході у другий ряд гвинтовентилятора. При збільшенні кількості лопатей першого ряду до $z_1=10$ область нульових швидкостей над лопаттю суттєво зменшується, в області підвищених частот швидкість зменшується до 230...240 м/с, область понижених швидкостей у привтулковій частині лопаті залишається майже незмінною.

При збільшенні кількості лопатей першого ряду до $z_1=12$ область нульових швидкостей над лопаттю зменшується в порівнянні з варіантом гвинтовентилятора з $z_1=10$. В області II відбувається вирівнювання швидкостей і швидкість зменшується від 250 м/с для $\bar{n} = 1$ до 210...200 м/с. Область III в якісному відношенні майже не змінюється.

Таким чином, збільшення кількості лопатей першого ряду з 8 до 12 приводить до зменшення рівня нерівномірності потоку на вході в другий ряд гвинтовентилятора, що позитивно впливає на аеродинамічні джерела утворення шуму.

Можна зробити висновок, що розроблений модифікований варіант співвісного гвинтовентилятора, який має 12 лопатей першого ряду та 12 лопатей другого ряду, частоту обертання $n_1 = n_2 = 743,76$ об/хв., відношення діаметрів другого і першого рядів співвісного гвинтовентилятора $\bar{D} = 0,942$ дозволяє покращити акустичні характеристики гвинтовентилятора в джерелі на 4дБ, що в свою чергу впливає на шум силової установки і літака. При цьому характеристики потужності гвинтовентилятора залишаються незмінними.

У четвертому розділі вирішені задачі розробки методики урахування акустичних втрат в енергетичному балансі силової установки з співвісним гвинтовентилятором і розробці рекомендацій щодо підвищення паливної економічності шляхом зменшення акустичного випромінювання співвісного гвинтовентилятора.

Для урахування втрат на акустичне випромінювання використовується коефіцієнт втрат енергії акустичного випромінювання $\xi_{ак}$, що показує долю потужності двигуна, що переходить в акустичне випромінювання: $\xi_{ак} = W_{ак} / N_e$, де $W_{ак}$ - акустична потужність гвинтовентилятора, N_e - потужність на валу двигуна.

Акустичний ККД, що враховує втрати енергії на акустичне випромінювання можна записати як $\eta_{ак} = 1 - \xi_{ак}$.

В роботі уточнено формулу для розрахунку питомої витрати палива з урахуванням втрат на акустичне випромінювання гвинтовентилятора. З урахуванням акустичних втрат питома витрата палива визначається наступним чином:

$$C_e = \frac{3600 \cdot \eta_{гв}}{\eta_r \cdot \eta_u \cdot \eta_p \cdot \eta_{ак}} \text{ або } C_e = \frac{G_{п.г.}}{N_{екв} \cdot \eta_{ак}}, \quad (2)$$

де $G_{п.г.}$ - витрата палива за годину, $N_{екв}$ - еквівалентна потужність двигуна.

В роботі вперше розроблено методику урахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки. Розроблена методика дає можливість оцінити внесок акустичних втрат в загальному енергетичному балансі, а також дає можливість оцінити зміну паливної економічності при проведенні заходів щодо зниження рівня шуму гвинтовентилятора. Алгоритм розробленої методики урахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки наведено на рис. 7.

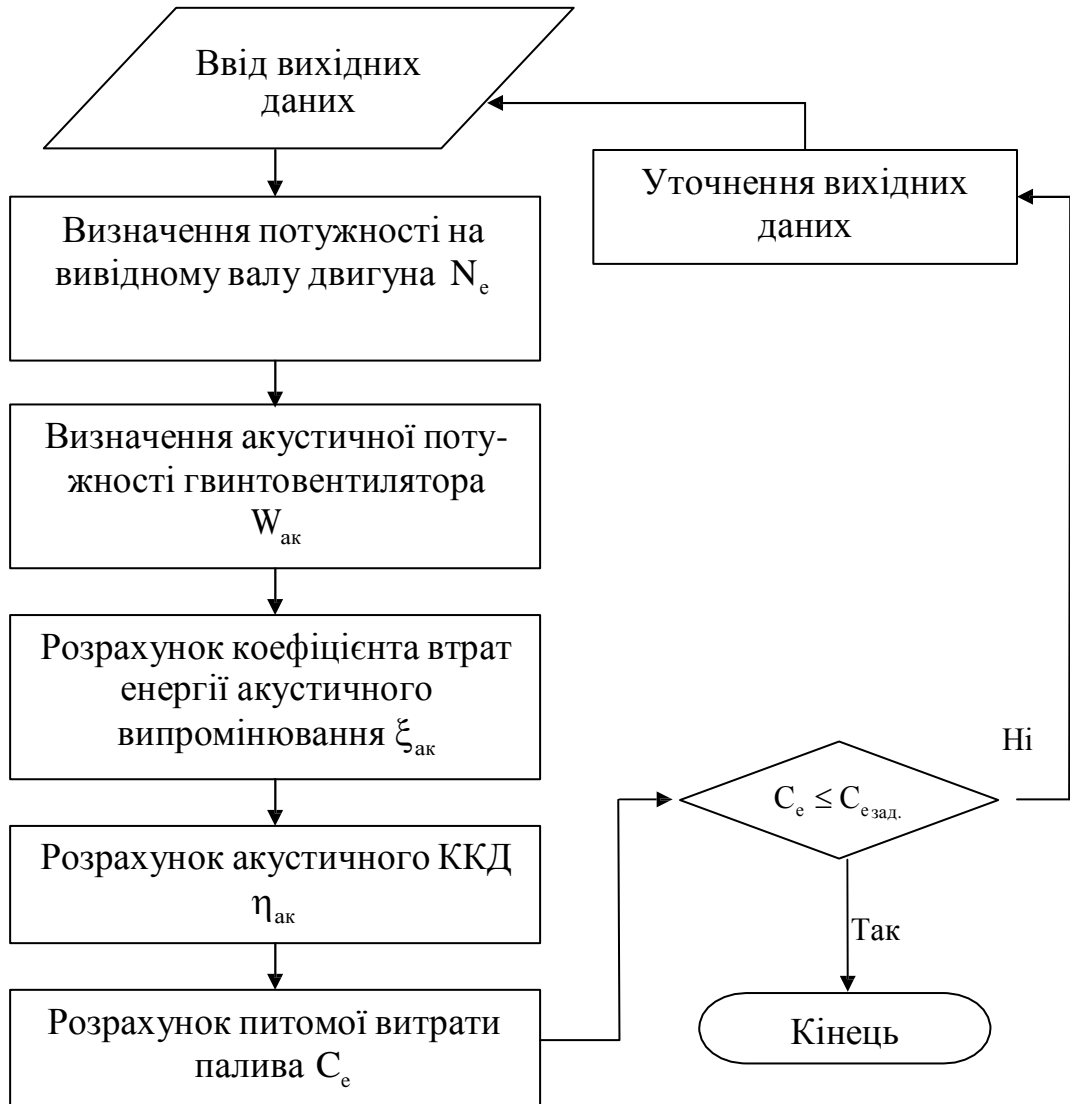


Рисунок 7 – Алгоритм методики урахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки

За допомогою розробленої методики проаналізовано вплив параметрів співвісного гвинтовентилятора на економічність турбогвинтовентиляторного двигуна.

В роботі було проаналізовано як реалізація запропонованих рекомендацій щодо зменшення акустичної емісії гвинтовентилятора може вплинути на покращення економічності турбогвинтовентиляторного двигуна.

За результатами стосовно зміни співвідношення діаметрів другого і першого рядів співвісного гвинтовентилятора $\bar{D} = D_2/D_1$, і використовуючи запропоновану методику урахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки, на рис. 8 представлено залежність співвідношення діаметрів другого і першого рядів співвісного гвинтовентилятора $\bar{D} = D_2/D_1$ від економії годинної витрати палива $\Delta G_{\text{п}}$, на яку можливо зменшити годинну витрату палива одного турбогвинтовентиляторного двигуна Д-27.

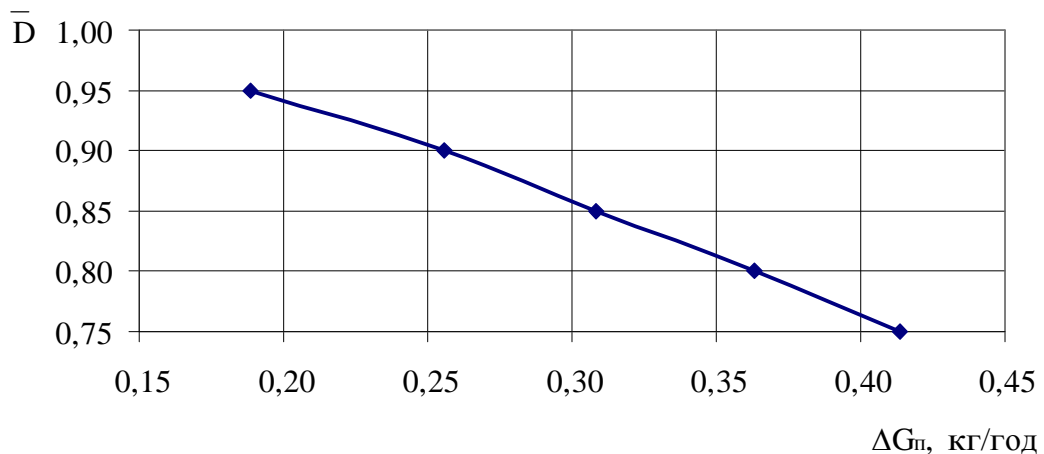


Рисунок 8 – Залежність співвідношення діаметру другого і першого рядів співвісного гвинтовентилятора \bar{D} від зміни годинної витрати палива $\Delta G_{\text{п}}$

Отримані результати показують, що застосувавши даний метод, можна підвищити економічність одного двигуна від 0,19 до 0,41 кг/год при зменшенні діаметру другого ряду співвісного гвинтовентилятора відповідно від 5% до 25% відповідно ($\bar{D} = 0,95 \dots 0,75$). Для літака з силовою установкою із 4 двигунів прогнозована економічність може складати від 1,824 тон до 3,936 тон на рік (при середньомісячній експлуатації 200 годин).

Рекомендації щодо відношення частоти обертання першого ряду і другого ряду співвісного гвинтовентилятора дають змогу оцінити за допомогою розробленої методики підвищення економічності при раціональному виборі співвідношення частот рядів співвісного гвинтовентилятора. На рис. 9 представлено залежність відношення частоти обертання першого ряду і другого ряду співвісного гвинтовентилятора ($\bar{n} = \frac{n_1}{n_2}$) від $\Delta G_{\text{п}}$, на яку можливо зменшити годинну витрату палива одного турбогвинтовентиляторного двигуна типу Д-27.

Як показали результати досліджень зміна співвідношення частот обертання рядів співвісного гвинтовентилятора від $\bar{n} = 2,1$ до 1,26 може привести до покращення паливної економічності від 0,066 до 0,123 кг/год. відповідно. Для літака з силовою установкою, який має чотири двигуни, прогнозована економічність може складати від 0,633 тон до 1,180 тон на рік (при середньомісячній експлуатації 200 годин).

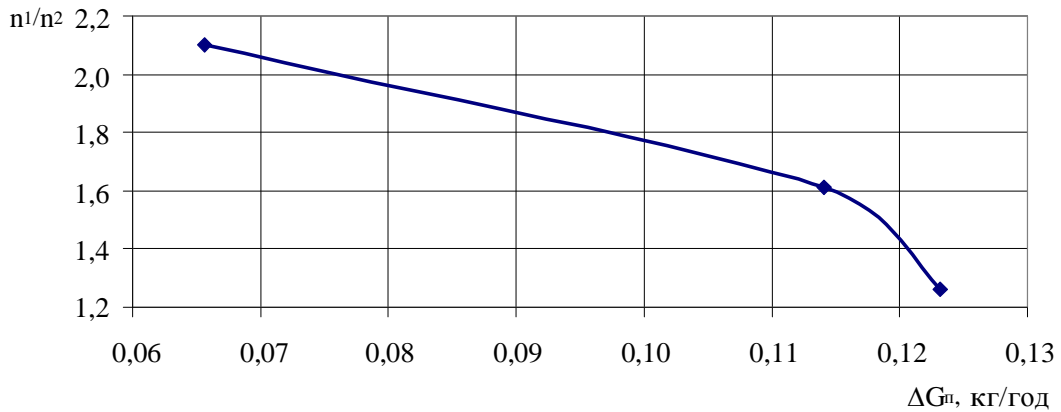


Рисунок 9 – Залежність відношення частоти обертання першого ряду і другого ряду співвісного гвинтовентилятора \bar{n} від ΔG_p

Рекомендації щодо кількості лопатей першого і другого рядів співвісного гвинтовентилятора розроблено з урахуванням отриманих рекомендацій щодо зміни периферійного діаметру другого ряду співвісного гвинтовентилятора і частоти обертання. Аналіз результатів показав, що співвідношення частот обертання рядів співвісного гвинтовентилятора повинно бути $\bar{n} = 1 \dots 1,2$ і частота обертання повинна бути зменшена відносно базової (850 об/хв.). Тому модифіковані варіанти мають співвідношення частот обертання рядів співвісного гвинтовентилятора $\bar{n} = 1$ і частота обертання зменшена на 7,17...12,5%. Кількість лопатей першого ряду збільшено до 10...12, кількість лопатей другого ряду збільшено до 8...12. За розробленою методикою було отримано залежність коефіцієнта акустичних втрат від ΔG_p для досліджуваних чотирьох модифікованих гвинтовентиляторів.

Результати досліджень показали, що при середньомісячній експлуатації 200 годин для випадку модифікації при кількості лопатей першого ряду гвинта $z_1=10$ і кількості лопатей другого ряду $z_2=8$ економія палива для силової установки із 4 двигунів може становити більше 2,34 т палива за рік; при кількості лопатей першого ряду гвинта $z_1=10$ і кількості лопатей другого ряду $z_2=10$ економія палива може становити більше, ніж 2,38 т палива за рік; при кількості лопатей першого ряду гвинта $z_1=12$ і кількості лопатей другого ряду $z_2=10$ економія палива може становити більше, ніж 3,58 т палива за рік; при кількості лопатей першого ряду гвинта $z_1=12$ і кількості лопатей другого ряду $z_2=12$ для силової установки економія палива може становити близько 3,9 т за рік.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз перспектив розвитку і вдосконалення авіаційних ГТД, а також результатів теоретичних та експериментальних досліджень показав, що актуальними проблемами є підвищення паливної економічності і зменшення акустичної емісії авіаційних двигунів. Турбогвинтовентиляторні двигуни мають достатньо високу па-

ливну економічність і високий рівень шуму. Акустична емісія співвісного гвинтового вентилятора - це втрати енергії в енергетичному балансі турбогвинтовентиляторного двигуна. Зменшення цих втрат дозволить покращити акустичні та економічні параметри турбогвинтовентиляторних двигунів.

2. Вперше розроблено методику урахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки, що дає можливість оцінити внесок акустичних втрат в загальному енергетичному балансі, а також дає можливість оцінити підвищення паливної економічності при проведенні заходів щодо зниження рівня шуму гвинтовентилятора.

3. Досліджено механізм генерування акустичного випромінювання співвісного гвинтовентилятора. Показано, що рівень звукового тиску, який генерує другий ряд гвинта співвісного гвинтовентилятора вище, ніж рівень звукового тиску, який генерує перший ряд гвинта більше, ніж на 3 дБ. Одна з причин цього явища є колова та радіальна нерівномірність на вході у другий ряд гвинта, яку створює аеродинамічний слід за першим рядом гвинта.

4. Розроблено рекомендації щодо раціонального співвідношення діаметрів другого і першого рядів співвісного гвинтовентилятора \bar{D} з метою зниження акустичної емісії гвинтовентилятора.

Встановлено, що зменшення діаметру другого ряду гвинтовентилятора впливає на інтенсивність акустичного випромінювання першого і другого рядів гвинтовентилятора. Зменшення периферійного діаметру другого ряду гвинтовентилятора від 5% до 25% ($\bar{D} = 0,95 \dots 0,75$) для першої роторної гармоніки приводить до зменшення рівня акустичного тиску від 2,7 до 4,33 дБ першого ряду і від 0,63 до 4,3 дБ другого ряду гвинта. Сумарний рівень акустичного тиску зменшується від 1,2 до 4,15 дБ.

5. Розроблено рекомендації щодо визначення співвідношення частот обертання першого і другого рядів співвісного гвинтовентилятора \bar{n} з метою зниження акустичної емісії.

Встановлено, що збільшення частоти обертання другого ряду гвинтовентилятора $\bar{n} > 1$ призводить до збільшення сумарного рівня акустичного тиску. При зменшенні частоти обертання другого ряду гвинтовентилятора досягнутий ефект покращення акустичної емісії другого ряду гвинтовентилятора (від 1,9...6,6 дБ) практично повністю уходить на компенсацію збільшення акустичної емісії першого ряду гвинтовентилятора, де відбувається збільшення рівня акустичного тиску на 2,1...5,4 дБ. В результаті чого, сумарний рівень акустичного тиску співвісного гвинтовентилятора зменшується на 0,2...0,6 дБ. Найбільша ефективність ($\Delta L = 0,6$ дБ) спостерігається при збільшенні потужності першого ряду на 10% в порівнянні з базовим варіантом.

З метою зменшення акустичного випромінювання співвісним гвинтовентилятором доцільно зменшувати одночасно частоту обертання першого і другого рядів гвинтовентилятора.

6. Розроблено рекомендації щодо раціональної кількості лопатей першого і другого рядів співвісного гвинтовентилятора з метою зниження акустичної емісії.

Показано, що є тенденція зменшення акустичної емісії при збільшенні кількості лопатей першого і другого рядів співвісного гвинтовентилятора. Отримані ре-

зультати свідчать, що при збереженні характеристик потужності гвинтовентилятора і збільшенні кількості лопатей першого і другого рядів до 12, зменшення частоти обертання до $n_1 = n_2 = 743,76$ об/хв., зменшення відношення діаметрів другого і першого рядів співвісного гвинтовентилятора до $\bar{D} = 0,942$ дозволяє покращити акустичні характеристики гвинтовентилятора на 4дБ.

7. Розроблено рекомендації щодо підвищення паливної економічності турбогвинтовентиляторного двигуна за рахунок зниження акустичної емісії співвісного гвинтовентилятора.

Отримані результати показали, що при збереженні характеристик потужності можна підвищити економічність турбогвинтовентиляторного двигуна шляхом модифікації гвинтовентилятора. Виявлено, що при збільшенні кількості лопатей співвісного гвинтовентилятора першого ряду до 10...12 і другого ряду до 8...12, зменшенні частоти обертання на 7,17...12,5%, зменшенні відношення діаметрів другого і першого рядів співвісного гвинтовентилятора до $\bar{D} = 0,987...0,942$ для силової установки із чотирьох турбогвинтовентиляторних двигунів при середньомісячній експлуатації 200 годин економія палива може становити близько 2,34...3,9 тон за рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації

1. Усенко В. Ю. Чисельне моделювання шуму гвинтовентилятора / В.Ю. Усенко // Вісник інженерної академії України. – 2018. - №3. - с.45-48.

2. Усенко В. Ю. Оцінка акустичної емісії гвинтовентилятора при зменшенні діаметру другого ряду гвинтовентилятора / В.Ю. Усенко, К.В. Дорошенко // Вісник інженерної академії України. – 2018. - №4. - с.17-20.

3. Усенко В. Ю. Вибір моделі турбулентної в'язкості для моделювання шуму гвинтовентилятора / В.Ю. Усенко, М.М. Мітрахович, К.В. Дорошенко // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія Технічні науки. – 2019. - Т.30(69), №1. - С. 6-11. [входить до бази Index Copernicus International].

4. Усенко В. Ю. Методика урахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки / В.Ю. Усенко // Екологічні науки. -2019. -№24. - С. 164-168. [входить до бази Index Copernicus International].

5. Усенко В.Ю. Діаграма направленості акустичного випромінювання співвісного гвинтовентилятора / В. Ю. Усенко // Наукоємні технології. – 2019. - Т.41, №1. - С. 152-156. [входить до баз: Index Copernicus International, WorldCat, DOAL, BASE та ін.].

Матеріали конференцій:

6. Усенко В. Ю. Шум повітряних гвинтів / В.Ю. Усенко // Матеріали XXVI Всеукраїнської практично-пізнавальної конференції "Наукова думка сучасності і майбутнього" (28-29 січня, м. Дніпро, Україна, 2019 р.), с. 3-5.

7. Усенко В. Ю. Проблема зниження шуму літаків / В.Ю. Усенко // Матеріали ХІХ Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки», 1-5 квітня, Київ, 2019р.

8. Usenko V. Y. Effect of reduced diameter of the propeller fan second row on acoustic emission/ V. U. Usenko, K.V. Doroshenko // Proceeding of The Fourteenth International Scientific Conference "AVIA-2019", April 23-25, 2019, Kyiv, P. 20.12-20.14

9. Усенко В. Ю. Урахування акустичних втрат гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки / В.Ю. Усенко, К.В. Дорошенко // Матеріали Всеукраїнської конференції «Авіація та космонавтика: стан, досягнення і перспективи», 16 квітня, м. Кропивницький, Україна.

10. Usenko V.Y. Effect of RPM on acoustic emission of the gas turbine engine coaxial propfan / V.Y. Usenko, K. V. Doroshenko // Материалы Международной научно-технической конференции "Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосредствии», 16-18 мая, Одесса, Украина, 2019, С.180.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

11. Проектирование систем защиты воздухозаборников силовых установок самолетов от попадания посторонних предметов [Текст] монография / В.М. Смирнов, Е.Т. Василевский, А.Г. Гребенников, А. М. Гуменный, В. Ю Усенко. – Х.: ФЛП Лысенко И.Б., 2017. – 148с.

12. Терещенко Ю.М. Урахування режимів запирання течії в останніх ступенях при розрахунках газодинамічної стійкості багатоступеневого компресора /Ю.М. Терещенко, Ю.Ю. Терещенко, К.В. Дорошенко, В.Ю. Усенко // Вісник інженерної академії України. – 2018. - №2. - с.234-238.

13. Терещенко Ю.Ю. Профільний опір мотогондоли газотурбінного двигуна з турбовентиляторною приставкою / Ю.Ю. Терещенко, Ю.М. Терещенко, К.В. Дорошенко, В.Ю. Усенко // Проблеми тертя та зношування. – 2018. - №4(81). – С. 64-73. [входить до баз: Index Copernicus International, РІНЦ, EBSCO, WorldCat та ін.]

14. Терещенко Ю. М. Комплексне газодинамічне управління течією в ступені осьового компресора газотурбінного двигуна / Ю.М. Терещенко, Ю.Ю. Терещенко, К.В. Дорошенко, В. Ю. Усенко // Збірник наукових праць ДНДІ авіації. – 2018. – Вип.14 (21). – С.77-81.

АНОТАЦІЯ

Усенко В.Ю. Методика врахування акустичних втрат співвісного гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки. – ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» ім. академіка О.Г. Івченка», Запоріжжя, 2019.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання підвищення економічності турбогвинтовентиляторних авіаційних двигунів шляхом зменшення акустичних втрат гвинтовентилятора.

Вперше розроблено методику урахування акустичних втрат співвісного гвинтовентилятора в енергетичному балансі авіаційної силової установки, що дає можливість оцінити внесок акустичних втрат в загальному енергетичному балансі, а також дає можливість оцінити підвищення паливної економічності при проведенні заходів щодо зниження рівня шуму гвинтовентилятора.

Розроблено рекомендації щодо визначення раціонального співвідношення діаметрів другого і першого рядів, співвідношення частот обертання першого і другого рядів, раціональної кількості лопатей першого і другого рядів співвісного гвинтовентилятора з метою зниження акустичної емісії гвинтовентилятора.

Розроблено рекомендації щодо підвищення паливної економічності турбогвинтовентиляторного двигуна за рахунок зниження акустичної емісії співвісного гвинтовентилятора.

Ключові слова: економічність, акустична емісія, співвісний гвинтовентилятор, турбогвинтовентиляторний двигун, енергетичний баланс, методика, втрати, акустичний коефіцієнт корисної дії, чисельний експеримент.

АННОТАЦИЯ

Усенко В.Ю. Методика учета акустических потерь соосного винтовентилятора в энергетическом балансе авиационной силовой установки. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки. – ГП «Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» им. академика А.Г. Ивченко», Запорожье, 2019.

Диссертационная работа посвящена решению актуального научно-прикладного задания повышения экономичности турбовинтовентиляторных авиационных двигателей путем уменьшения акустических потерь винтовентилятора.

Впервые разработана методика учета акустических потерь винтовентилятора в энергетическом балансе авиационной силовой установки, которая дает возможность оценить вклад акустических потерь в общем энергетическом балансе, а также дает возможность оценить повышение топливной экономичности при проведении мероприятий по снижению уровня шума винтовентилятора. Учет потерь на акустическое излучение осуществляется с помощью коэффициента потерь энергии акустического излучения, который показывает долю мощности на выводном валу винта, которое переходит в акустическое излучение.

В работе проведено уточнение формулы для расчета удельного расхода топлива с учетом потерь на акустическое излучение винтовентилятора.

Исследован механизм генерирования акустического излучения соосного винтовентилятора. Показано, что уровень звукового давления, который генерирует второй ряд соосного гвинтовентилятора выше, чем уровень звукового давления, который генерирует первый ряд. Одна из причин этого явления является круговая и радиальная неравномерность на входе во второй ряд, которую создает аэродинамический след за первым рядом винтовентилятора.

Получили дальнейшее развитие расчетно-экспериментальные исследования аэроакустических характеристик соосных винтовентиляторов, позволяющие определить направления совершенствования силовых установок с турбовинтовентиляторными двигателями.

Разработаны рекомендации по рациональному соотношению диаметров второго и первого рядов соосного винтовентилятора \bar{D} с целью снижения акустической эмиссии винтовентилятора.

Установлено, что уменьшение диаметра второго ряда гвинтовентилятора влияет на интенсивность акустического излучения первого и второго рядов гвинтовентилятора. Уменьшение периферийного диаметра второго ряда гвинтовентилятора от 5% до 25% ($\bar{D} = 0,95 \dots 0,75$) для первой роторной гармоники приводит к уменьшению уровня акустического давления от 2,7 до 4,33 дБ первого ряда и от 0,63 до 4,3 дБ второго ряда винтовентилятора. Суммарный уровень акустического давления уменьшается от 1,2 до 4,15 дБ.

Разработаны рекомендации по определению соотношения частот вращения первого и второго рядов соосного винтовентилятора с целью снижения акустической эмиссии.

Разработаны рекомендации по рациональному количеству лопастей первого и второго рядов соосного винтовентилятора с целью снижения акустической эмиссии.

Разработаны рекомендации по повышению топливной экономичности турбовинтовентиляторного двигателя за счет снижения акустической эмиссии соосного винтовентилятора.

Полученные результаты показали, что при сохранении мощностных характеристик можно повысить экономичность турбовинтовентиляторного двигателя путем модификации винтовентилятора. Выявлено, что при увеличении лопастей соосного винтовентилятора первого ряда до 10...12 и второго ряда до 8...12, уменьшении частоты вращения на 7,17...12,5%, уменьшении отношения диаметров второго и первого рядов соосного винтовентилятора до $\bar{D} = 0,987 \dots 0,942$ для силовой установки с четырьмя турбовинтовентиляторными двигателями при среднемесячной эксплуатации 200 часов экономия топлива может составить около 2,34 ... 3,9 тонн в год.

Ключевые слова: экономичность, акустическая эмиссия, соосный винтовентилятор, турбовинтовентиляторный двигатель, энергетический баланс, методика, потери, акустический коэффициент полезного действия, численный эксперимент.

SUMMARY

Usenko V.Y. Method for calculating acoustic loss of the coaxial propeller fan in the energy balance of the power plant. – Manuscript.

Thesis for Degree of Candidate of Engineering Science, specialty 05.05.03 – Engines and Energy Installations. – Zaporizhzhia machine-building design bureau Progress state enterprise named after academician A.G. Ivchenko, Zaporizhzhia, 2019.

The thesis work is dedicated to the scientific-applied solution of a pressing issue of increasing turbopropfan engines effectiveness due to reducing acoustic loss of the propeller fan.

Method for calculating acoustic loss of the coaxial propeller fan in the energy balance of the aircraft power plant has been developed for the first time. The developed method makes it possible to estimate the contribution of acoustic loss in the overall energy balance, and also makes it possible to estimate the change in fuel economy when carrying out measures to reduce the noise level of the propfan.

The recommendations have been provided for determining appropriate ratio of the diameters of the first and the second rows of the coaxial propeller fan, rotational speed ratio of the first and the second rows of the coaxial propeller fan, appropriate number of blades of the first and the second rows of the coaxial propeller fan in order to reduce acoustic emission of the propeller fan.

The recommendations have been provided for increasing fuel efficiency of the turbopropfan engine due to reducing acoustic emission of the coaxial propeller fan.

Key words: effectiveness, acoustic emission, coaxial propeller fan, turbopropfan engine, energy balance, method, loss, acoustic efficiency, numerical experiment.