

DOI: 10.18372/2310-5461.41.13542

УДК 629.735.03

В. Ю. Усенко

ДП «Антонов»

orcid.org/0000-0002-4794-9294

e-mail: usenko@antonov.com

ДІАГРАМА НАПРАВЛЕНОСТІ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ СПІВВІСНОГО ГВИНТОВЕНТИЛЯТОРА

Вступ

В умовах конкуренції на ринку авіаційної техніки однією з головних вимог до авіаційних двигунів є відповідність існуючим і перспективним вимогам до літальних апаратів, що сформульовані в додатку 16 до Конвенції міжнародної цивільної авіації [1, с. 91].

Однією з основних проблем, над вирішенням якої працюють провідні авіакомпанії світу, є проблема негативного впливу авіаційного шуму на людей, які проживають поблизу аеропортів, а також обслуговуючий персонал аеропортів. Спочатку проблема обмежувалася лише шумом від повітряних гвинтів. Збільшення вантажопідйомності літальних апаратів і швидкості їх польоту призвела до збільшення тяги силових установок, в результаті чого різко зросла звукова потужність, що генерується повітряними судами. З розвитком авіації, зростанням міжнародного авіапарку та інтенсивності польотів проблема тільки загострюється.

Враховуючи те, що проблема подальшого зниження шуму літаків на місцевості є одним із пріоритетних питань, перед виробниками авіаційної техніки ставляться завдання, вирішення яких дозволить знизити шум задля забезпечення цих вимог.

Постановка проблеми

Застосування турбогвинтових двигунів в силових установках літаків зумовлено їх високою економічністю на дозвукових швидкостях польоту. Співвісні гвинти, на відміну від однорядних, мають більш високі значення коефіцієнта корисної дії на всіх режимах роботи. Тому з метою підвищення економічності літальних апаратів в авіаційних двигунах можуть бути застосовані співвісні гвинти (гвинтовентилятори). Однак поряд з високою економічністю такі силові установки мають досить великий рівень шуму, основним джерелом якого виступає гвинт (гвинтовентилятор). Таким чином, проблема зменшення шуму гвинтовентиляторів є актуальною для цивільної авіації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У працях [2; 3] розглядається проблема зниження шуму літаків цивільної авіації. У праці [2] проаналізовано джерела акустичної емісії в дальньому і ближньому полі. Надано критичний аналіз методів прогнозування акустичного випромінювання в дальньому і ближньому акустичному полі. У праці [3] розглянуто джерела акустичного випромінювання для літаків з різними типами силових установок. Показано, що в турбогвинтовому двигуні основним джерелом акустичної емісії є повітряний гвинт. У праці [3] представлено діаграму направленості акустичного випромінювання повітряного гвинта.

Для вирішення проблеми зниження шуму гвинтів важливо мати надійні методи для прогнозування шуму. У праці [4] запропоновано метод чисельного розрахунку акустичного випромінювання. У праці [4] розглядаються акустичні характеристики базового і удосконаленого гвинта на трьох режимах роботи, розраховано діаграми направленості акустичного випромінювання. У праці [5] за допомогою чисельного моделювання розрахована діаграма направленості акустичного випромінювання з урахуванням інтерференції пілону, фюзеляжу літака і повітряного гвинта турбогвинтового двигуна. При прогнозуванні шуму важливим є урахування багатьох факторів, наприклад, вхідна турбулентність. Автори праці [6] представили результати впливу вхідної турбулентності на загальний рівень шуму гвинта з чотирма лопатями при швидкості обертання 3000 об/хв.

Показано, що при збільшенні вхідної турбулентності на 1 %, широкосмугова складова шуму збільшується на 2 дБ.

У праці [7] розглядається вплив пограничного шару фюзеляжу на шум гвинта в дальньому полі при різних кінематичних і геометричних параметрах гвинта. Показано, що наявність пограничного шару на фюзеляжі, що взаємодіє з шумом гвинта і призводить до модифікації його в дальньому акустичному полі.

Таким чином, можна зробити висновок, що на шум літака з турбогвинтовими (турбогвинтовентиляторними) двигунами впливають багато факторів. Суттєвий вплив на направленість акустичного випромінювання мають параметри гвинта (діаметр, частота обертання, відстань між рядами гвинтів, стрілоподібність та ін.), а також інтерференція з пілоном і фюзеляжем. З метою покращення економічності двигуна можуть використовуватися співвісні гвинти. Однак досліджень щодо акустичних характеристик співвісних гвинтів на даний час не достатньо. Очевидно, що при застосуванні співвісних гвинтів діаграма направленості буде змінюватися. Крім того, при зміні геометричних параметрів гвинтів з метою зменшення акустичної потужності співвісних гвинтів діаграма направленості буде теж модифікуватися. Аналіз характеристик направленості дасть змогу визначити шляхи для подальшого акустичного вдосконалення співвісних гвинтів.

Таким чином, дослідження направленості акустичного випромінювання гвинтовентилятора при варіюванні осьовим зазором між рядами гвинтовентилятора та іншими його параметрами є актуальною задачею.

Мета статті

Метою роботи є оцінка впливу на інтенсивність і направленість акустичного випромінювання збільшення осьового зазору між рядами гвинтів співвісного гвинтовентилятора.

Виклад основного матеріалу

Застосування співвісної комбінації повітряних гвинтів, тобто розташування двох гвинтів, що встановлюються один за одним, визвано наступними властивостями.

1. Реактивний момент двигуна, що передається літаку, шляхом застосування співвісних гвинтів може бути зменшений до нуля.

2. При максимальній швидкості польоту коефіцієнт корисної дії співвісних гвинтів вище, ніж коефіцієнт корисної дії одиночного гвинта.

3. При досить великих потужностях двигунів зльотні характеристики співвісних гвинтів краще, ніж зльотні характеристики одиночних гвинтів.

Водночас з перевагами співвісні гвинти мають вищий рівень шуму, ніж одиночні. Однак при збільшенні кількості лопатей інтенсивність акустичного випромінювання зменшується [8]. Але цього не достатньо для забезпечення вимог для перспективних літаків.

У цій статті які об'єкт обрано двигун типу Д-27 з дворядним гвинтовентилятором співвісної схеми. Гвинтовентилятор представляє собою автоматичний гвинтовентилятор змінного шагу і складається з переднього і заднього гвинтовентиляторів, що обертаються в різні боки.

Діаметр гвинтовентилятора — 4,5 м. Число лопатей першого гвинта вісім, заднього — шість.

В базовій конфігурації осьовий зазор між переднім і заднім гвинтами складає 650 мм. Модифікований варіант має осьовий зазор 950 мм.

При випробуваннях літак і вимірювальні мікрофони знаходились на рівній бетонованій поверхні.

Мікрофони було розміщено за дугою кола радіусом 50 м в діапазоні кутів 10° — 150° . За результатами експериментальних випробувань були побудовані діаграми направленості акустичного випромінювання.

На рис. 1 представлена побудована за результатами експериментальних досліджень [9] діаграма направленості акустичного випромінювання.

Суцільною лінією позначено значення сумарної акустичної потужності L для модифікованого гвинтовентилятора, штриховою — для базового гвинтовентилятора.

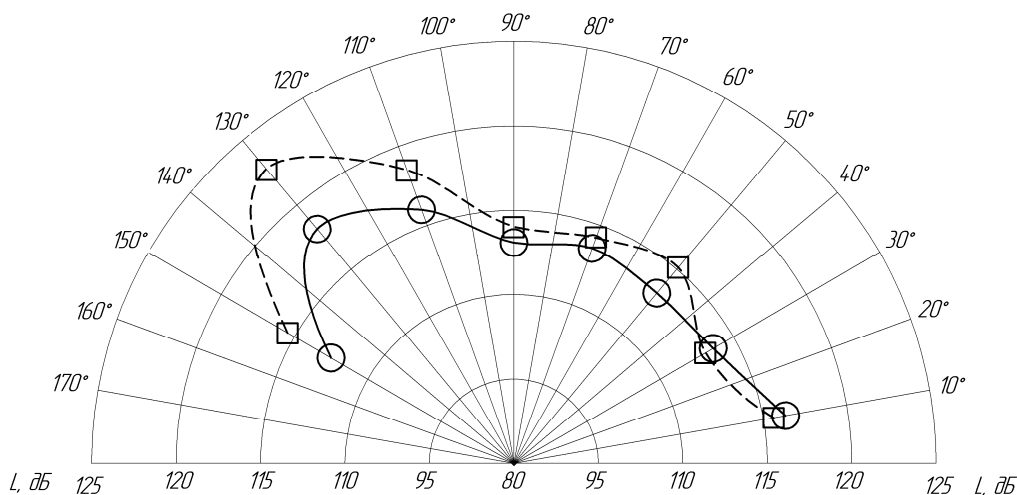


Рис. 1. Діаграми направленості акустичного випромінювання для базового і модифікованого гвинтовентиляторів

Діаграма направленості акустичного випромінювання ілюструє зміну акустичної потужності при збільшенні відстані між рядами гвинтовентилятора.

Максимуми характеристики направленості сумарного випромінювання мають місце в задній полусфері в напрямку 110° – 150° , що зумовлено випроміненням гвинтовентилятора на гармоніках частоти слідування лопаток і взаємодією акустичного випромінювання з пілоном та фюзеляжем.

Умови роботи лопатей співвісного гвинта відрізняються від умов роботи лопатей одиночного гвинта.

Внаслідок додавання полів швидкостей, що створюються кожним гвинтом окремо, величина і направленість швидкості потоку, що обтікає лопаті співвісних гвинтів, відрізняються від ве-

личини і направленості швидкості потоку, що обтікає лопаті одиночного гвинта.

Дослідження в праці [1] показали, що суттєвий вплив на широкосмугову складову загального шуму чинить вхідна турбулентність. Специфічна конструкція дворядного гвинтовентилятора підсилює рівень нерівномірності потоку на вході в другий ряд гвинтовентилятора. Цей фактор значно впливає на рівень шуму в задній полусфері. Як видно з діаграми направленості, при осьовому зазорі між рядами гвинта 650 мм на 130° сумарна акустична потужність більше, ніж 122 дБ. Чисельне моделювання течії гвинтовентилятора дає змогу оцінити рівень нерівномірності потоку перед другим гвинтом.

На рис. 2 представлено поле числа Маха на вході в другий ряд гвинта.

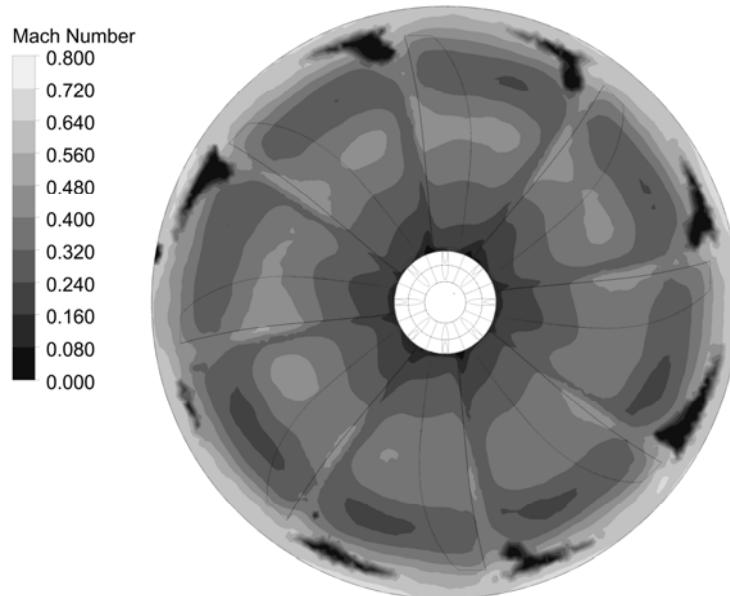


Рис. 2. Поле числа Маха на вході в другий ряд гвинта

Із рис. 2 видно, що на вході у другий ряд гвинтовентилятора мають місце зони понижених швидкостей у периферійній і у втулковій зонах. Збільшення осьового зазору між рядами гвинтів призводить до зменшення рівня вхідної нерівномірності на вході в другий ряд гвинтовентилятора, що сприяє зменшенню рівня акустичної потужності в задній полусфері.

Як видно з діаграми направленості, при осьовому зазорі між рядами гвинта 950 мм на 130° сумарна акустична потужність становить близько 118 дБ.

В передній полусфері рівень акустичної потужності практично не змінився.

Таким чином, експериментальні дослідження показують, що збільшення осьового зазору між рядами гвинтовентилятора дозволили зменшити

сумарну акустичну потужність в задній полусфері на 2,5–4,5 дБ.

Висновки

За результатами чисельного моделювання течії в базовому гвинтовентиляторі показано, що на вході в другий ряд гвинтовентилятора має місце високий рівень нерівномірності потоку.

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 полусферу. При збільшенні осьового зазору між рядами гвинтовентилятора на 300 мм у задній полусфері сумарна акустична потужність зменшується на 2,5–4,6 дБ.

Перспективи подальших досліджень

У подальшому планується провести оцінку акустичних характеристик гвинтовентилятора при зміні геометричних характеристик другого ряду гвинта.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Приложение 16.** Охрана окружающей среды. Том I. Авиационный шум. Монреаль, издание восьмое, 2017. 264 с.

2. **Zhang X.** Aircraft noise and its nearfield propagation computations. *Acta Mechanica Sinica*. 2012, V. 28, Issue 4. P. 960–977. DOI: 10.1007/s10409-012-0136-1.

3. **Detandt Y.** Aeroacoustics research in Europe: The CEAS-ASC report on 2014 highlights. *Journal of Sound and Vibration*. 2015. V. 357. P. 107–127. DOI: 10.1016/j.jsv.2015.07.005.

4. **Carley M.** Sound radiation from propellers in forward flight. *Journal of Sound and Vibration*. 1999. V. 225, Issue 2. P. 353–374. DOI: 10.1006/jsvi.1999.2284.

5. **Titarev V. A., Faranosov G. A., Chernyshev S. A., Batrakov A. S.** Numerical Modeling of the Influence of the Relative Positions of a Propeller and Pylon on Turboprop Aircraft Noise. *Acoustical Physics*. 2018. V. 64, Issue 6. P. 760–773. DOI: 10.1134/S1063771018060118.

6. **Scharpf D. F., Mueller T. J.** An experimental investigation of the sources of propeller noise due to the ingestion of turbulence at low speeds. *Experiments in Fluids*, 1995. V. 18, Issue 4. P. 277–287. DOI: 10.1007/BF0019509.

7. **Belyaev I. V.** The effect of an aircraft's boundary layer on propeller noise. *Acoustical Physics*. 2012. V. 58, Issue 4. P. 387–395. DOI: 10.1134/S1063771012040045.

8. **Мушин А. Г., Квитка В.Е.** Авиационная акустика. Москва, 1973. 448с.

9. **Приложение** к техническому отчёту №70.00.252.837. Д15-2002. Самолет Ан-70. Наземные испытания по исследованию акустических характеристик винтовентилятора СВ-27 в самолётной компоновке Ан-70 при изменении зазора между плоскостями переднего и заднего винтов. К., 2002. 96 с.

Усенко В. Ю.

ДІАГРАМА НАПРАВЛЕНОСТІ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ СПІВВІСНОГО ГВИНТОВЕНТИЛЯТОРА

Проблема подальшого зниження шуму літаків на місцевості є одним із пріоритетних питань цивільної авіації. З метою покращення економічності двигуна можуть використовуватися співвісні гвинти (гвинтовентилятори). Аналіз літературних джерел показав, що параметри гвинтовентилятора впливають на направленість акустичного випромінювання гвинтовентилятора. Метою роботи є оцінка впливу на інтенсивність і направленість акустичного випромінювання збільшення осьового зазору між рядами гвинтів співвісного гвинтовентилятора. В якості об'єкта обрано двигун з дворядним гвинтовентилятором співвісної схеми. Діаметр гвинтовентилятора — 4,5 м. В роботі розглядається базовий і модифікований гвинтовентилятор. В роботі представлені побудовані за результатами експериментальних досліджень діаграми направленості акустичного випромінювання для базового і модифікованого гвинтовентилятора. Діаграма направленості акустичного випромінювання ілюструє зміну акустичної потужності при збільшенні відстані між рядами гвинтовентилятора. Максимуми характеристики направленості сумарного випромінювання мають місце в задній півкулі в напрямку 110°–150°. За результатами чисельного моделювання течії в базовому гвинтовентиляторі показано, що на вході у другий ряд гвинтовентилятора має місце високий рівень нерівномірності потоку. Результати дослідження інтенсивності і направленості акустичного випромінювання співвісного гвинтовентилятора показали, що нерівномірність потоку на вході у другий ряд гвинтовентилятора є додатковим джерелом акустичного випромінювання у задню півкулі. При збільшенні осьового зазору між рядами гвинтовентилятора на 300 мм у задній півкулі сумарна акустична потужність зменшується на 2,5–4,6 дБ. В подальшому планується провести оцінку акустичних характеристик гвинтовентилятора при зміні геометричних характеристик другого ряду гвинта.

Ключові слова: діаграма направленості; акустичне випромінювання; гвинтовентилятор; акустична потужність; нерівномірність потоку.

Usenko V. Yu.

ACOUSTIC EMISSION DIRECTIVITY PATTERN OF THE COAXIAL PROPELLER FAN

The problem of further aircraft noise abatement is one of the priority issues in civil aviation. In order to improve engine efficiency, the coaxial propellers (propeller fans) may be used. The review of literature sources shows that parameters of the propeller fan have an effect on directivity of acoustic emission of the propeller fan. The objective of this work is the assessment of increased clearance effect between rows of propellers of the coaxial propeller fans on intensity and directivity of acoustic emission of the propeller fan. The engine with two row coaxial propeller fan has been selected as the object. Diameter of the propeller fan is 4.5 m. There is base and modified propeller fan addressed in the

work. The work includes acoustic emission patterns for base and modified propeller fan made by research results. The acoustic emission pattern illustrates change of acoustic power when increasing a distance between rows of propeller fan. The peaks of directivity characteristic of total emission exist in backward semi-sphere in the direction of 110° - 150° . Based on the results of numerical simulation of the air flow in base propeller fan it is demonstrated that in the inlet of second row of propeller fan there is high level of air distortion. The research results of intensity and directivity of acoustic emission of the coaxial propeller fan shows that the air distortion in the inlet of second row of propeller fan is an additional source of acoustic emission into the backward semi-sphere. When increasing axial clearance between rows of propeller fan by 300 mm, the total acoustic power is reduced by 2.5 — 4.6 dB in the backward semi-sphere. In future it is planned to assess acoustic characteristics of the propeller fan when changing geometry of the second row of the propeller.

Keywords: directivity pattern; acoustic emission; propeller fan; acoustic power; air distortion.

Усенко В. Ю.

ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СООСНОГО ВИНТОВЕНТИЛЯТОРА

Проблема дальнейшего снижения шума самолетов на местности является одним из приоритетных вопросов гражданской авиации. С целью улучшения экономичности двигателя могут использоваться соосные винты (винтовентиляторы). Анализ литературных источников показал, что параметры винтовентилятора влияют на направленность акустического излучения винтовентилятора. Целью работы является оценка влияния на интенсивность и направленность акустического излучения увеличение осевого зазора между рядами винтов соосного винтовентилятора. В качестве объекта выбран двигатель с двухрядным винтовентилятором соосной схемы. Диаметр винтовентилятора - 4,5 м. В работе рассматривается базовый и модифицированный винтовентилятор. В работе представлены построенные по результатам экспериментальных исследований диаграммы направленности акустического излучения для базового и модифицированного винтовентилятора. Диаграмма направленности акустического излучения иллюстрирует изменение акустической мощности при увеличении расстояния между рядами винтовентилятора. Максимумы характеристики направленности суммарного излучения имеют место в задней полусфере в направлении 110° - 150° . По результатам численного моделирования течения в базовом винтовентиляторе показано, что на входе во второй ряд винтовентилятора имеет место высокий уровень неравномерности потока. Результаты исследования интенсивности и направленности акустического излучения соосного винтовентилятора показали, что неравномерность потока на входе во второй ряд винтовентилятора является дополнительным источником акустического излучения в заднюю полусферу. При увеличении осевого зазора между рядами винтовентилятора на 300мм в задней полусфере суммарная акустическая мощность уменьшается на 2,5-4,6 дБ. В дальнейшем планируется провести оценку акустических характеристик винтовентилятора при изменении геометрических характеристик второго ряда винта.

Ключевые слова: диаграмма направленности; акустическое излучение; винтовентилятор; акустическая мощность; неравномерность потока.

Стаття надійшла до редакції 27.01.2019 р.
Прийнято до друку 07.03.2019 р.