

Зроблено трьохвимірне моделювання можливих характеристик спрямованості акустичного випромінення вентилятора авіаційного двигуна. Результати моделювання зіставлені з результатами полумпіричного і аналітичного моделювання характеристик направленості акустичного випромінення вентилятора авіаційного двигуна. Виявлені особливості застосування перерахованих моделей

Ключові слова: акустика ГТД, вентилятор, лопаточки вінці, чисельне моделювання

Проведено трехмерное компьютерное моделирование возможных характеристик направленности акустического излучения вентилятора авиационного двигателя. Результаты моделирования сопоставлены с результатами полумпирического и аналитического моделирования характеристик направленности акустического излучения вентилятора авиационного двигателя. Выявлены особенности применения вышеизложенных моделей

Ключевые слова: акустика ГТД, вентилятор, лопаточные венцы численное моделирование

Three-dimensional computer design of possible descriptions of orientation of acoustic radiation of ventilator in aviation engine was done. Design results were confronted with results of semiempiric and analytical designs of descriptions of orientation of acoustic radiation of ventilator in aviation engine. Features of application of mentioned models were presented

Keywords: the gas turbine engine acoustics, ventilator, blade vanes, numerical design

ХАРАКТЕРИСТИКИ СПРЯМОВАНОСТІ АКУСТИЧНОГО ПОЛЯ, ЩО СТВОРЮЄ ВЕНТИЛЯТОР АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА

К. В. Дорошенко

Аспірант*

Контактний тел.: 068-351-30-39

E-mail: Kiki_ua@ukr.net

І. Ф. Кінащук

Кандидат технічних наук, доцент*

Л. Г. Марковська

Аспірант*

*Кафедра авіаційних двигунів

Аерокосмічний інститут Національного авіаційного університету

просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058

Контактний тел.: 097-755-30-20

E-mail: plohih_love@ukr.net

Вступ

В усіх країнах протягом останніх десятиліть проблема боротьби з акустичним забрудненням навколишнього середовища від авіаційного транспорту, особливо поблизу аеропортів, є дуже гострою. Тому, при конструюванні нових літаків, виборі режимів зльоту і посадки, а також при будівництві нових і реконструкції старих аеропортів, враховуються проблеми шуму, що можуть виникнути.

Шум, що створюється літальним апаратом має два джерела: авіаційні двигуни та корпус літального апарата, який при обтіканні теж створює значний шум. Проте основним джерелом шуму на зльоті та посадці є авіадвигуни.

Тенденції в двигунобудуванні спрямовані на створення двигунів з великим ступенем двоконтурності. Це значно зменшило шум, але авіаперевезення зросли, тому проблема шуму досі актуальна.

У двигунах з великим ступенем двоконтурності переважним джерелом шуму став вентилятор. Боротися з таким шумом дуже складно. Застосування звукопоглинаючих матеріалів дозволяє боротися з шумом, який поширюється в площині вентилятора, але значна частина звуку випромінюється уперед, де неможливо накласти звукопоглинаючі матеріали. Активні методи боротьби з шумом (застосування антишуму) знаходяться у стадії розробки та потребують вирішення складних фундаментальних та конструктивних задач. Тому переважна більшість фахівців звернула свій по-

гляд на конструктивні методи боротьби з шумом, тобто подальше удосконалення конструкції двигуна з метою покращення його акустичних характеристик. Цьому напрямку сприяють також розвиток комп'ютерного моделювання аероакустичних процесів.

В даній статті поставлена задача дослідити спрямованість шуму, який генерує вентилятор авіаційного двигуна у дальньому полі. Розраховано миттєве значення акустичного поля, що створюється вентилятором авіаційного двигуна на відстані 20м від джерела при нормальних атмосферних умовах.

Виклад основного матеріалу

Для подальших конструктивних розробок важливо розуміння природи генерації та поширення звуку від вентилятора авіаційного двигуна. Певне розуміння цієї природи може надати характеристика спрямованості джерела шуму – залежність інтенсивності випромінювання звуку від напрямку (кут від осі двигуна). Спрямованість від простих джерел, таких як пульсуюча куля чи пластина, що коливається, добре розраховуються аналітично за методом Гюенса. Спрямованість ж більш складних джерел аналітично розрахувати дуже складно, тому до появи сучасної комп'ютерної техніки, вважалось за краще вимірювати спрямованість за допомогою акустичних пристроїв. Дійсно методика вимірювання не дуже складна: на відстані 50м по колу навкруги двигуна розташовувались шумомери. Але це дуже дорого: щоб охопити коло радіусом 50м треба багато шумомірів!

Для загальних висновків щодо характеристик спрямованості вентилятора авіаційного двигуна можна використати наближену формулу для розрахунку інтенсивності nB - й гармоніки (за теорією Гутіна) [1]:

$$\bar{I}_{nB} \approx \frac{B^2 k_{nB}^2 (k_{nB} r_t \sin \theta)^{2nB} (\cos \theta - a_n / M_t)^2}{\pi^2 \rho_0 c_0 x^2 2^{2nB+4} [(nB)!]^2} \left| \int_{A_0} \left(\frac{r'}{r_t} \right)^{nB} f_t^0 d\zeta_1 d\zeta_2 \right|^2$$

де B - кількість лопаток вентилятора, n - номер гармоніки, k_{nB} - хвильове число nB - й гармоніки, r_t - розмах лопаток, r' - радіальна координата джерела в циліндричній системі координат, θ - полярна координата джерела в циліндричній системі координат, a_n - прибісне відношення опору до тяги, M_t - число Маха на кінцівках лопаток, ρ_0 - щільність стаціонарного потоку, c_0 - швидкість звука в стаціонарнім потоці, x - відстань від джерела до спостерігача, A_0 - площа поперечного перетину лопатки, f_t^0 - розподілення сили тяги по поверхні лопатки, система координат ζ жорстко зв'язана з лопатками, початок координат розташовано на втулці та ось ζ_3 перпендикулярна площині обертання.

З цієї формули випливає, що інтенсивність звуку вздовж осі вентилятора ($\theta=0$ и $\theta=\pi$) завжди дорівнює нулю, і так як величина a_n/M_t звичайно не набагато менше від одиниці, то вона має виражений максимум трохи позаду площини обертання вентилятора. При збільшенні кількості лопаток цей максимум швидко звужується. При кутах $\theta = \arccos(a_n/M_t)$ інтенсивність також дорівнює нулю. Таким чином, характеристика спрямованості за цим наближенням має форму, показану на рис. 1.

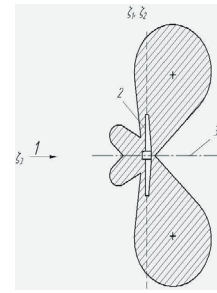


Рис. 1. Характеристика спрямованості випромінювання у полярній системі координат: 1 – напрямок потоку; 2 – гвинт; 3 – ось обертання

За постійної кінцевої швидкості основна частота $c_0 k_B = \Omega B$ зростає при збільшенні кількості лопаток завдяки фазовому скороченню більш низьких гармонік частот обертання Ω . Збільшення кількості лопаток також призводить до швидкого зменшення до нуля інтенсивність звуку. Це пов'язано з тим, що функції Бесселя високого порядку стають значно близькими до нуля, якщо їх аргумент менший порядку функції, що завжди має місце у випадку дозвукових кінцевих швидкостей.

Полумпіричні формули, запропоновані А.Г. Мунінім, дають змогу дослідити залежність дискретних складових шуму від співвідношення номера моди q та безрозмірним хвильовим числом nBM. Так звуковий тиск:

$$P_n(\theta) \approx C J_q(nBM \cos \theta)$$

де C - деяка постійна складова. Умова екстремуму функції Бесселя запишеться у вигляді:

$$\frac{dJ_q}{d(nBM \cos \theta)} = 0$$

Цю умову задовольняє ряд значень аргументу, які дорівнюють номерам моди q. Тобто відповідна цим значенням функції $\cos \theta$ має вигляд:

$$\cos \theta_{\max} \approx \frac{q}{nBM}$$

де θ_{\max} - полярний кут, визначаючий напрямок максимуму випромінювання (за $\frac{q}{nBM} \leq 0,83$). При усіх $q < nBM$ кут θ_{\max} є більшим, тобто найбільш інтенсивне випромінювання звуку вентилятора спрямовано під малим кутом до осі двигуна. Типова характеристика спрямованості дискретної складової шуму вентилятора наведена на рис. 2.

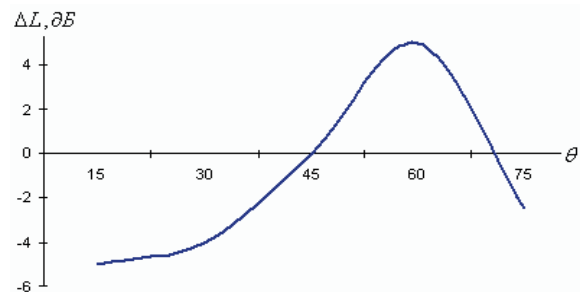


Рис. 2. Типова характеристика спрямованості дискретної складової шуму вентилятора

Для більш детального дослідження цього питання у роботі ми пропонуємо увазі читачів розрахунків звукового поля, що створюється вентилятором прототипу авіаційного двигуна Д-36 при частоті обертання 3000 об/хв. та нормальних атмосферних умовах. Для цього розрахунку був використаний програмний комплекс FlowVision. Для моделювання звукового поля був взятий сектор півкулі радіусом 20м, що розташовувалась попереду вентилятора рис. 3. Форма півкулі дає змогу дослідити спрямованість звуку та його просторову орієнтацію. Цей сектор півкулі був розбитий прямокутною розрахунковою сіткою в 69166 комірок.

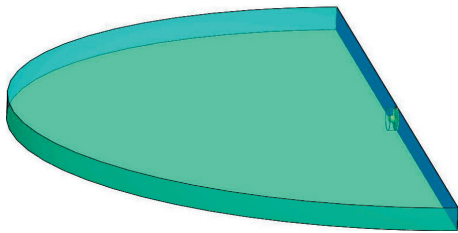


Рис. 3. Геометрична модель сектора півкулі для дослідження звукового поля, що створюється вентилятором прототипу двигуна Д-36

На рис. 4 зображено результат розрахунку миттєвого значення звукового поля попереду вентилятора на відстані 20 м. Як бачимо по один бік від вісі двигуна максимум звукової хвилі розташований під кутом близько 60° від осі, а по другий бік маємо більш складну картину: два максимуми під кутами близько 20° та 30° відповідно.

При експериментальних, спрощених аналітичних та полуміричних дослідженнях характеристик спрямованості шуму авіаційних двигунів для зменшення об'єму розрахунків брали півплощину (вважаючи акустичне поле дзеркально симетричне) рис. 5 [1]. Акустичне поле від вентилятора дійсно повинне бути симетричне, що видно з аналітичних формул Фокс Вільямса і з самого об'єкту випромінювання – вентилятора, який має центрову, але не дзеркальну симетрію. Отже акустичне поле, що випромінюється вентилятором авіаційного двигуна, повинне мати просторову симетрію, і в площині ми можемо отримати несиметричну картину. Це може пояснити отриману в наших розрахунках явно несиметричну картину звукового поля.

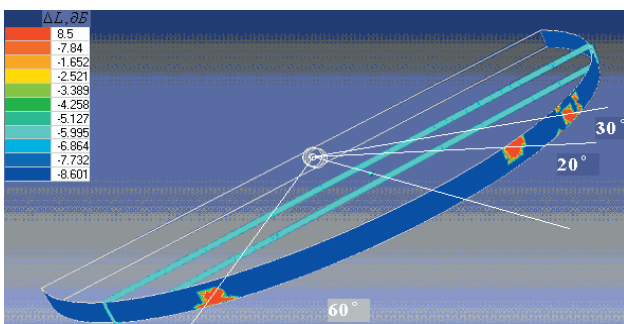


Рис. 4. Миттєве значення звукового поля попереду вентилятора на відстані 20 м

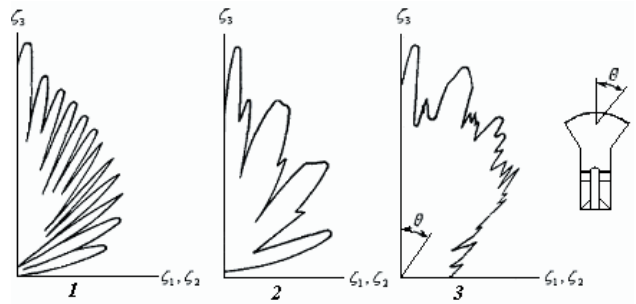


Рис 5. Характеристики спрямованості для дослідного компресора: 1 – теорія для вільного поля; 2 – теорія для круглої труби; 3 – експеримент $\theta = 60^\circ$

Якщо попередньо уявити центральну симетрію звукового поля, то можна зробити припущення, що воно має закрутку рис. 6. Для підтвердження цього припущення та подальшого дослідження звукового поля, що створює вентилятор авіаційного двигуна, треба зробити розрахунок для всієї півкулі рис. 7. Це в свою чергу потребує значних комп'ютерних ресурсів.

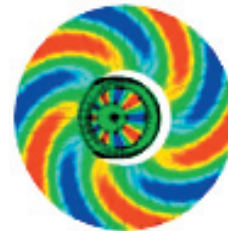


Рис. 6. Попередня модель закрутки звукового поля, що створюється вентилятором прототипу двигуна Д-36

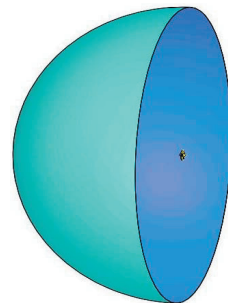


Рис. 7. Геометрична модель для дослідження звукового поля, що створюється вентилятором прототипу двигуна Д-36

Висновок

Проведено детальне дослідження моделі сектора фронту акустичної хвилі на предмет спрямованості випромінювання акустичної енергії. Результати представлені багатоколірним тривимірним зображенням, що робить їх особливо наочними. Враховуючи спрощеності використовуваної постановки, даний варіант планується досліджувати по всій півсфері і при густішій обчислювальній сітці. Можна відзначити наступні спрощення: проводилося дослідження вентилятора без повітрязбірника, при цьому відбувається частко-

ва втрата інформації; відсутній аналіз поширення вторинних акустичних мод, їх різного загасання залежно від окружного хвилевого числа, дія на них статора.

Слід також виділити переваги використовуваного підходу: відкритість архітектури акустичної моделі (можливість у міру нарощування комп'ютерних ресурсів розширювати модель); залежність отриманого результату лише від одного вирішувача; на основі літературних даних можна говорити про те, що отримувані результати якісно, добре узгоджуються з експериментальними даними.

Запропонований підхід до вирішення конфліктних ситуацій між експедитором і вантажовласником. Проведений аналіз впливу параметрів потоку заявок на вибір експедитором стратегій поведінки на ринку

Ключові слова: експедиційне обслуговування, стратегія

Предложен подход к решению конфликтных ситуаций между экспедитором и грузоподателем. Проведен анализ влияния параметров потока заявок на выбор экспедитором стратегий поведения на рынке

Ключевые слова: экспедиционное обслуживание, стратегия

The method of solving of conflict situations between freight forwarder and freight owner has been proposed. The influence of demand parameters on choosing of optimal strategies by freight forwarder has been analyzed

Key words: freight forwarding, strategy

1. Введение

Деятельность современных транспортно-экспедиционных предприятий (ТЭП) является в большей части деятельностью посреднической, и поэтому характеризуется наличием конфликтных ситуаций, возникающих вследствие необходимости согласования интересов различных сторон. Исходя из содержания и особенностей процесса транспортно-экспедиционного обслуживания, можно сделать вывод о целесообразности использования аппарата теории игр для выбора оптимальных стратегий ТЭП на рынке транспортных услуг.

2. Анализ публикаций

В [1] выделены основные типы конфликтных ситуаций, возникающих в процессе функционирования

Література

1. Е. Голдстейн Аэроакустика, М, «Машиностроение», 1981.- 295с.
2. А.Г. Мунин Авиационная акустика, ч.2, М, «Машиностроение», 1986.- 264с.
3. А.Г. Мунин, В.Е. Квитка Авиационная акустика, М, «Машиностроение», 1973.- 448с.
4. В.И. Токарев и др. Снижение шума при эксплуатации пассажирских самолетов, - К., «Техника», 1990.- 127с.

УДК 656.96

ВЫБОР СТРАТЕГИЙ ЭКСПЕДИТОРА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ЗАКАЗЧИКОВ- ГРУЗОВЛАДЕЛЬЦЕВ

В.С. Наумов

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра транспортных технологий*
Контактный тел.: (057) 707-37-20
E-mail: naumov-vs@mail.ru

П.С. Борисенко*

Контактный тел.: 063-066-75-00

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002

ТЭП на рынке транспортных услуг: конфликт между ТЭП и перевозчиком при установлении платы за перевозку и конфликт между ТЭП и заказчиком при установлении платы за услугу. В соответствии с [2] игра формализуется следующим образом:

$$\Gamma = \langle I, \{r_i\}_{i \in I}, \{H_i\}_{i \in I} \rangle, \tag{1}$$

где I – множество игроков; r_i – множество стратегий игрока i; H_i – функция выигрыша i-го игрока.

В первом случае множество I состоит из двух элементов: I₁ = {Э; П}, где Э – транспортно-экспедиционное предприятие, П – перевозчик. Для случая, когда рассматривается конфликт между ТЭП и клиентом I₂ = {Э; К}, где К – заказчик транспортно-экспедиционной услуги (грузовладелец). Кроме того, можно рассмотреть конфликт для трёх указанных игроков, тогда I₃ = {Э; П; К}.