

# ПЕРСПЕКТИВНОЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.436.038.001

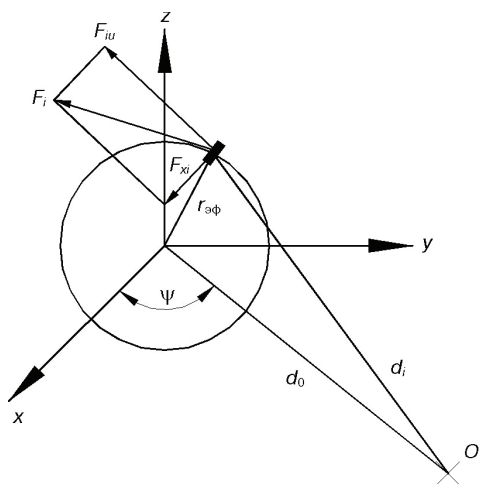
## ОЦЕНКА ШУМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРАХ И ВЕНТИЛЯТОРАХ

А.П. Алексеев

Кафедра теплотехники и турбомашин  
Российского университета дружбы народов  
Ул. Миклухо-Макля, 6, Москва, Россия, 117198

Получены уравнения для оценки шума взаимодействия в осевых компрессорах и вентиляторах в зависимости от ряда геометрических и режимных параметров.

**Ключевые слова:** осевой компрессор, осевой вентилятор, хорда лопатки, высота лопатки, акустический шум.



**Рис. 1.** Система координат

стояние от центра окружности до точки наблюдения  $O$ ;  $d_i$  — расстояние от точки приложения  $F_i$  до точки наблюдения  $O$ ;  $\psi$  — угол между осью  $x$  и прямой  $d_0$ ;  $t$  — время.

Пульсационная составляющая сил взаимодействия:

$$F_1(t) = \iint_{B l} P_b(t) dB dl, \quad (2)$$

где  $P_b$  — пульсационное давление на хорде лопатки;  $B$  — хорда лопатки;  $l$  — высота лопатки.

Уравнение Лайтхилла излучателей дипольного типа в решении Лоусона [1; 2] для определения акустического давления, если число Маха в направлении вектора  $d$  (рис. 1) равно нулю, для  $i$ -го источника излучения имеет вид:

$$P_i(d_i, \psi, t) = \frac{x_i - y_i}{4\pi d_i^2 C_0} \frac{\partial F_i}{\partial t},$$

где  $F_i$  — переменная сосредоточенная аэродинамическая сила  $i$ -го источника в момент времени  $t$ ;  $F_{ix}$ ,  $F_{iy}$  — осевая и окружная составляющие силы  $F_i$ ;  $x_i$ ,  $y_i$  — координаты точки приложения силы  $F_i$  и точки измерения  $O$ ;  $d_0$  — расстояние от центра окружности до точки наблюдения  $O$ ;  $d_i$  — расстояние от точки приложения  $F_i$  до точки наблюдения  $O$ ;  $\psi$  — угол между осью  $x$  и прямой  $d_0$ ;  $t$  — время.

При наклоне лопатки на угол  $\theta$  и смещении входной кромки от радиально-го направления за счет закрутки профиля на угол  $\pm\theta$   $P_b$  будет определяться так:

$$P_b = a_0 + \sum_{k=1}^{k=\infty} c_k \cos \left\{ \frac{2\pi k}{t_p} \left[ t_c (v_c - 1) + B \frac{1+M_c}{M_u} + B \cdot \text{tg}(\theta + \Delta\theta) \frac{1+M_c}{M_u} - t_u \right] - \text{arctg} \frac{b_k}{a_k} \right\}, \quad (3)$$

где  $t_p, t_c$  — шаг рабочей и сопловой решеток;  $v_c$  — порядковый номер сопловой лопатки начиная с 1-го номера и до  $v_c = z_c$ ;  $z_c$  — число сопловых лопаток;  $M_c$  — число Маха скорости потока в канале решетки;  $M_u$  — число Маха окружной скорости колеса на  $R_{\text{эф}}$ ;  $R_{\text{эф}}$  — эффективный радиус приложения силы;  $a_0, a_k, b_k, c_k$  — коэффициенты разложения Фурье;  $u$  — окружная скорость.

Направленность сил  $F_1(t)$  по лучам  $d_i$  в точку наблюдения  $O$  будет

$$Fd_i(t) = F_i(t) \frac{d_o}{d_i} \left[ \cos \psi \cos \alpha_1 - \sin \psi \sin \alpha_1 \cos \frac{2\pi}{z_c} (v_c - 1) \right], \quad (4)$$

где  $\alpha_1$  — угол входа сопловых лопаток;  $\psi$  — угол направленности.

Далее подставляем выражение (3) в (2), проводим операцию интегрирования, а затем берем дифференциал  $\frac{\partial Fd_i(t)}{\partial t}$  с учетом выражения (4) и получаем зависимость звукового давления в точке  $O$  для  $i$ -го источника:

$$P_i(v) = \sum_{k=1}^{k=\infty} c_k A_k \frac{\left[ \cos \psi \cos \alpha_1 - \sin \psi \sin \alpha_1 \cos \frac{2\pi}{z_c} (v_c - 1) \right]}{1 - \frac{R_{\text{эф}}}{d_o} \sin \psi \sin \frac{2\pi}{z_c} (v_c - 1)} \cdot \sin \left[ S_k + 2\pi k \frac{z_p}{z_c} (v_c - 1) - kz_p M_u \sin \psi + \sin \frac{2\pi}{z_c} (v_c - 1) \right], \quad (5)$$

где  $A_k = \frac{B_0 l_0 M_u k z_p}{4 p R_{\text{эф}} d_o} \frac{\sin \frac{1}{2} p k z_p \frac{B_0}{R_{\text{эф}}} \frac{M_u}{1+M_c} \sin \frac{1}{2} p k z_p \frac{l_0}{R_{\text{эф}}} \text{tg}(i \pm \Delta i)}{\frac{1}{2} p k z_p \frac{B_0}{R_{\text{эф}}} \frac{M_u}{1+M_c} \frac{1}{2} p k z_p \frac{l_0}{R_{\text{эф}}} \text{tg}(i \pm \Delta i)}$ ;

$$S_k = \left[ \frac{1}{2} k z_p \frac{B_0}{R_{\text{эф}}} \frac{M_u}{1+M_c} + \frac{1}{2} k z_p \frac{l_0 \text{tg}(i \pm \Delta i)}{R_{\text{эф}}} + k z_p M_u \frac{d_0}{R_{\text{эф}}} - k z_p \frac{t_u}{R_{\text{эф}}} - \text{arctg} \frac{b_k}{a_k} \right]. \quad (6)$$

Суммируя излучения каждого источника в точке  $O$  от  $v_c = 1$  до  $v_c = z_c$  для  $k$ -той формы волны, получим уравнение

$$P_k = c_k A_k \cos \psi \cos \alpha_1 \left\{ J_0 x \frac{1}{2} \frac{\sin 2\pi k z_p}{\text{tg} \frac{\pi k z_p}{z_c}} + \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m} x \frac{1}{4} \frac{\sin 2\pi (k z_p + 2m)}{\text{tg} \pi \left( \frac{k z_p + 2m}{z_c} \right)} + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m} x \frac{1}{4} \frac{\sin 2\pi(kz_p - 2m)}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{kz_p - 2m}{z_c} \right)} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{(2m-1)} x \frac{1}{4} \frac{\sin 2\pi(kz_p - (2m-1))}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{kz_p - (2m-1)}{z_c} \right)} - \\
 & - 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{(2m-1)} x \frac{1}{4} \frac{\sin 2\pi(kz_p + (2m-1))}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{kz_p + (2m-1)}{z_c} \right)} \left\{ -c_k A_k \sin \varphi \sin \alpha_1 \left[ J_0 x \frac{1}{4} \frac{\sin 2\pi(kz_p + 1)}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{kz_p + 1}{z_c} \right)} + \right. \right. \\
 & + J_0 x \frac{1}{4} \frac{\sin 2\pi(kz_p - 1)}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{kz_p - 1}{z_c} \right)} + \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m} x \frac{1}{8} \frac{\sin 2\pi \left[ (kz_p - 1) + 2m \right]}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{(kz_p - 1) + 2m}{z_c} \right)} + \\
 & + \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m} x \frac{1}{8} \frac{\sin 2\pi \left[ (kz_p - 1) - 2m \right]}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{(kz_p - 1) - 2m}{z_c} \right)} + \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m} x \frac{1}{8} \frac{\sin 2\pi \left[ (kz_p + 1) - 2m \right]}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{(kz_p + 1) - 2m}{z_c} \right)} + \\
 & + \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m} x \frac{1}{8} \frac{\sin 2\pi \left[ (kz_p + 1) + 2m \right]}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{(kz_p + 1) + 2m}{z_c} \right)} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{(2m-1)} x \frac{1}{8} \frac{\sin 2\pi \left[ (kz_p - 1) - 2m \right]}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{(kz_p - 1) - 2m}{z_c} \right)} + \\
 & + 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{(2m-1)} x \frac{1}{8} \frac{\sin 2\pi \left[ (kz_p + 1) - (2m-1) \right]}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{(kz_p + 1) - (2m-1)}{z_c} \right)} - \\
 & - 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{(2m-1)} x \frac{1}{8} \frac{\sin 2\pi \left[ (kz_p - 1) + (2m-1) \right]}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{(kz_p - 1) + (2m-1)}{z_c} \right)} - \\
 & \left. - 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{(2m-1)} x \frac{1}{8} \frac{\sin 2\pi \left[ (kz_p + 1) + (2m-1) \right]}{\operatorname{tg} \pi \left( \frac{(kz_p + 1) + (2m-1)}{z_c} \right)} \right\} \quad (7)
 \end{aligned}$$

где  $J_0, J_{2m}, J_{(2m-1)}$  — функции Бесселя первого рода с целыми индексами;  $x = kz_p M_u \sin \psi$ ;  $m = 1, 2, 3, \dots, \infty$  — целые положительные числа.

Уравнение (7) включает в себя выражения  $A_k$  и  $c_k$ , которые учитывают влияние достаточно большого количества факторов конструктивного и режимного характера лопаточных машин.

Каждое из остальных слагаемых в (7) имеет два решения:

— 0, если в знаменателе сомножитель  $\operatorname{tg} \pi q$ , где  $q \neq (1, 2, 3, \dots)$  не является целым числом;

—  $2\pi z_c$ , если в выражении знаменателя  $q = (1, 2, 3, \dots)$  является целым числом.

Все слагаемые в уравнении (7) определяют влияние отношения  $\frac{z_p}{z_c}$  на аку-

стическое излучение круговых точечных источников шума.

Дальнейшее решение полученного выражения (7) требует оптимизации по ряду параметров для получения решения по данному конкретному варианту.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Lowson M.V.* Proceedings of the Royal Society. — 1965. — Vol. 286. Series A. — P. 559—572.
- [2] *Lowson M.V.* Theoretical Analysis of Compressor Noise // The Journal of the Acoustical Society of America. — 1970. — Vol. 47. — N 1. — P. 371—385.

## DISCRETE NOISE APPROXIMATION OF AXIAL COMPRESSOR AND CENTRIFUGAL FANS

**A.P. Alekseev**

Department of heat engineering and turbo machinery  
Russian People's Friendship University  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Equations for discrete noise approximation of axial compressor and centrifugal fans depending upon number of geometrical and operating parameters are obtained.

**Key words:** the axial compressor, the axial fan, a chord, height, acoustic noise.