

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА И ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В БЕЗЛОПАТОЧНОМ ДИФФУЗОРЕ

А.А. Макаров

При определении потерь энергии в безлопаточном диффузоре будем исходить из модели сомкнувшихся пограничных слоёв и допущений осевой и окружной симметрии потока. Рассмотренные выше результаты экспериментальных исследований часто не согласуются с принятыми допущениями (на выходе из колеса не наблюдается окружной симметрии, осевая симметрия чаще бывает исключением, чем правилом), однако введённые допущения позволяют значительно упростить математические преобразования и получить простые расчётные зависимости, пригодные для технических расчётов.

Уравнения осесимметричного движения в безлопаточном диффузоре можно представить в виде:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(p / \rho + 0,5C_\varphi^2 + 0,5C_r^2 \right) - C_\varphi \frac{\partial C_\varphi}{\partial r} - \frac{C_\varphi}{r} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_r}{\partial z}, \quad (1)$$

где τ - касательное напряжение;

r и φ - радиальное и окружное направление;

ρ - плотность потока.

Для течений, где $Cr \neq 0$ уравнения, записанные выше, приобретут вид:

$$\frac{\partial p^*}{\partial r} = \frac{\partial \tau_1}{\partial z} + \frac{C_\varphi}{C_r} \frac{\partial \tau_\varphi}{\partial z},$$

(2)

где $P^* = P + 0,5\rho(C_\varphi^2 + C_r^2)$ - полное давление потока в безлопаточном диффузоре при плоской схеме течения ($C_z = 0$). Для аппроксимации распределения касательных напряжений используем зависимости:

$$\begin{aligned} \tau_\varphi &= \tau_{\varphi f} (1 - \eta), \\ \tau_r &= \tau_{rff} \left[(1 - \eta) + 0,5A(1 - 4\eta + 3\eta^2) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

где $\tau_{\varphi f} = 0,5\rho C_{\varphi f} C_{\varphi c}^2$ - окружная составляющая касательного напряжения на стенке;

$\tau_{rff} = 0,5\rho C_{rff} C_{rc}^2$ - радиальная составляющая касательного напряжения на стенке;

$C_{\varphi f}$, C_{rff} - коэффициенты поверхностного трения в окружном и радиальном направлениях соответственно (для радиального направления условный коэффициент).

Используя граничные условия для радиальной составляющей касательного напряжения и уравнение (1), можно получить формулу для определения параметра A :

$$A = -\frac{2}{3} \cdot \frac{b}{2r_0} \cdot \frac{r_0}{r} \cdot \frac{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha_e}{C_{rff}}. \quad (4)$$

Используя зависимости (1) ÷ (4), а также зависимости для определения изменения C_r и C_ϕ по радиусу ($C_{re} = C_{roe} r_0 / r$, $C_{\phi e} = C_{\phi oe} r_0 / r$), после выполнения операций интегрирования по z и r можно получить формулу для определения потерь энергии в безлопаточном диффузоре

$$\xi_{BD} = \frac{1 - r_0 / r}{\bar{b}_2 (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha_e) K_c} \left[C_{rff} \left(1 + \frac{27A + 5,6A^2}{71 + 7A} \right) + C_{\phi f} \frac{67,7 \operatorname{ctg}^3 \alpha_e}{71 + 7A} \right], \quad (5)$$

где $\bar{b}_2 = b / 2r_0$ - относительная высота безлопаточного диффузора, которая принята постоянной по радиусу;

K_c - коэффициент Кориолиса который может определяться по формуле

$$K_c = C_e^{-2} C_{re}^{-1} \int_0^1 C^2 C_r d\eta = 6(1 + m)^{-1} + 75(2 + m^{-1}) + \\ + 75(3 + m)^{-1} + 5(4 + m)^{-1} - 61(3 + 2m)^{-1} - 200(5 + 2m)^{-1} - \\ - 60(7 + 2m)^{-1} + A \left[(2 + 2m)^{-1} - 2(3 + 2m)^{-1} - (4 + 2m)^{-1} \right] \quad (6)$$

Если учесть зависимость (4), то формула (5) может быть записана в виде

$$\xi_{BD} = -(3AK_c)^{-1} \left(1 - r_0^2 / r^2 \right) \left(1 - \frac{27A + 5,6A^2}{71 + 7A} + \frac{\lambda_f}{K_{T1}} \cdot \frac{67,7 \operatorname{ctg}^3 \alpha_e}{71 + 7A} \right), \quad (7)$$

где $\lambda_f = C_{\phi f} / C_{rff}$ - отношение коэффициентов трения в окружном и радиальном направлениях.

Если исходить из линейного закона изменения касательных напряжений по высоте безлопаточного диффузора (такое допущение в данной работе принято только для окружной составляющей напряжения, то из формулы (5) можно определить условный местный коэффициент поверхностного трения:

$$C_f = -(3A)^{-1} (1 + r_0 / r) \frac{r_0}{r} \cdot \frac{b}{2r_0} \left[1 + \frac{27A + 5,6A^2}{71 + 7A} + \frac{\lambda_f}{K_{T1}} \cdot \frac{67,7 \operatorname{ctg}^3 \alpha_e}{71 + 7A} \right] \quad (8)$$