

ным из условий равномерного омывания экранных поверхностей и организации рабочего процесса в кольцевой топке является угол установки подводов $\alpha = 62^\circ$. В этом случае максимум вращательной скорости в поясе подводов располагается в середине кольцевого зазора, а интенсивность турбулентности, определяющей и интенсифицирующей процессы смесеобразования, горения и теплообмена в топке, максимальна.

УДК 532:527

К.Б.Джакупов, В.О.Кроль

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ВИХРЕВОЙ КОЛЬЦЕВОЙ КАМЕРЫ

В работе предлагается один из вариантов расчета гидродинамической картины течения в вихревой кольцевой камере на основе следующей физической модели: в камеру на некотором расстоянии от нижней торцевой стенки сквозь N_1 прямоугольных подводов воздуха, расположенных равномерно по периметру, вводятся струи под углом α к касательной внешней цилиндрической поверхности. Закрученный таким образом поток вытекает через верхнее сечение камеры.

Полагая, что в области вне подводов поле скоростей и давлений является осесимметричным, течение рассчитывалось на базе полных уравнений Навье-Стокса, записанных в цилиндрических координатах при условии осевой симметрии. При этом считалось, что коэффициент турбулентной вязкости был постоянным и равным некоторому эффективному значению ν_* . Система уравнений приводилась к функциям тока Ψ и вихря скорости ω и решалась методом минимальных невязок. Граничные значения на твердых стенках - общепринятые. В выходном сечении использовались "мягкие" граничные условия: $\frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = 0$, где z - осевая координата. Подвод воздуха в камеру считался равномерным по входному кольцевому сечению. Для расчета течения в области пояса подводов предполагалось, что радиальная компонента U и тангенциальная W зависят от координат r и φ , а осевая составляющая скорости U пропорциональна координате z : $U = \sigma z$. В этом случае используемая система уравнений имела вид

$$V \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{W}{r} \frac{\partial V}{\partial \varphi} - \frac{W^2}{r} = -\frac{\partial P}{\partial r} + \frac{1}{Re_*} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} - \frac{V}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V}{\partial \varphi} \right); \quad (1)$$

$$V \frac{\partial W}{\partial r} + \frac{W}{r} \frac{\partial W}{\partial \varphi} + \frac{VW}{r} = -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \varphi} + \frac{1}{Re_*} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r} - \frac{W}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial W}{\partial \varphi} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial r} + \frac{V}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial \varphi} + G = 0. \quad (3)$$

Здесь все компоненты скоростей отнесены к входной скорости V_0 , координаты - к радиусу внешней цилиндрической поверхности R_0 , а эффективное число Рейнольдса есть $Re_* = V_0 R_0 / \nu_*$. Исключая давление P из уравнений (1), (2) для вихря скорости

$$\omega = \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \varphi} - \frac{\partial W}{\partial r} - \frac{W}{r}, \quad (4)$$

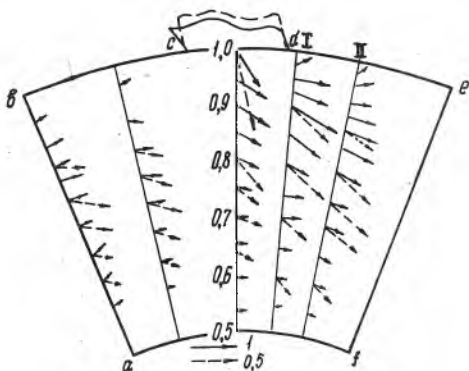
получали следующее выражение:

$$V \frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{W}{r} \frac{\partial \omega}{\partial \varphi} - G \omega = \frac{1}{Re_*} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \omega}{\partial r} \right). \quad (5)$$

Умножая (4) на r^2 и дифференцируя по r , находили уравнение для определения W :

$$\frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial W}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} (rW) + \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \omega) = 0. \quad (6)$$

Как было показано в работе [1], система (1, 2, 3) эквивалентна системе (4, 5, 6), поэтому расчет течения осуществлялся на базе преобразованных уравнений с помощью метода минимальных невязок. В силу периодичности течения по азимутальному углу φ [2] область интегрирования представляла собой кольцевой сектор $abcdef$ (рис. 1) с углом раствора $\pi/4$ (при $N_r = 8$). Область интегрирования разбивалась на неравномерную по r сетку:



Р и с. 1. Голограф скоростей

$$\bar{Q} = \left\{ \Gamma_i, i=2, \dots, N=16, h_{\Gamma_i} = \Gamma_{i+1} - \Gamma_i, \Gamma_2 = 0,5; \varphi_j, j=3, \dots, M+2, M=20, h_{\varphi_j} = \frac{\pi}{4(M-2)}, \varphi_2 = 0 \right\}$$

и использовались следующие граничные условия:

$$v_{2j} = v_{Nj} = w_{2j} = w_{Nj} = 0 \quad - \text{ на участках } af, bc, de;$$

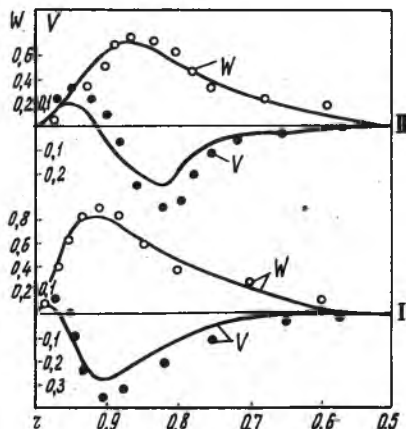
$$v_{Nj} = -\sin \alpha, w_{Nj} = \cos \alpha, \alpha = 62,79^\circ \quad - \text{ на участке входа } cd;$$

$$\omega_{2j} = -\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)_{2j} = -\frac{3w_{2j} - 4w_{3j} + w_{4j}}{2h_{2j}};$$

$$\omega_{Nj} = \frac{1}{2N} \left(\frac{v_{Nj+1} - v_{Nj-1}}{2h_{\varphi_j}} \right) - \frac{3w_{Nj} - 4w_{N-1j} + w_{N-2j}}{2h_{2N}} - \frac{w_{Nj}}{2N};$$

$$v_{i2} = v_{iM}, w_{i2} = w_{iM}, \omega_{i2} = \omega_{iM};$$

$$v_{iM+1} = v_{i3}, w_{iM+1} = w_{i3}, \omega_{iM+1} = \omega_{i3} \quad - \text{ условия периодичности.}$$



Р и с. 2. Профили тангенциальной и радиальной составляющих в сечениях I и II

На рис. I представлен расчетный годограф скоростей для значений $\alpha = 62,79^\circ$ (пунктирные линии) и $Re_* = 10^2$. Цифрами I и II обозначены сечения, в которых расчетные значения были сопоставлены с экспериментальными данными, полученными на модели восьмигранной кольцевой камеры для значения угла хордальности $\alpha = 62^\circ$ (рис. 2). Отмечается хорошее совпадение расчетных кривых с экспериментом.

Л и т е р а т у р а

- И. Д ж а к у п о в К.Б.
О методе решения неэволюционных задач механики вязкой жидкости с привлечением уравнения для вихря скорости и компонент скорости. - Изв.АН Каз.ССР.Сер.физ.-мат.наук, №5, 1978.
2. И в а н о в В.Б., И в а н о в Е.М. Исследование аэродинамики кольцевой топки на изотермической модели. - В сб.: Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. - М., 1979.