

Р и с. 2. Коэффициент гидравлического сопротивления:
 1-4 соответственно $\alpha = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$ ($\Sigma F_+ = 0,83; d = 0,15$); 5-7 - $\alpha = 0,25; 0,4; 0,87$ ($\Sigma F_+ = 5,5\%, d = 0,4$); 8-II - $d = 0,1; 0,15; 0,2; 0,3$ ($\Sigma F_+ = 0,83\%, \alpha = 0,1$)

способствует снижению энергозатрат, связанных с потерей тепла в окружающую среду. Кроме того, вихревые камеры с хордальной подачей теплоносителя, в отличие от обычных циклонных камер, обладают низкими значениями коэффициента гидравлического сопротивления.

Л и т е р а т у р а

И. А бра м о в и ч Н.Г., Бухман М.А., Усти-
 м е н к о Б.П. Исследование влияния условий входа на
 структуру течения и сопротивление циклонных камер. - В
 сб.: Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. -
 Алма-Ата: Наука, КазССР, 1976, вып. II, с. 27-31.

УДК 621.928.8

Б.П.Устименко, В.Н.Змейков, В.Б.Иванов,
 Е.М.Иванов, Б.О.Ривин

АЭРОДИНАМИКА ВИХРЕВОГО ПОТОКА
 В КОЛЬЦЕВОЙ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

r - текущий радиус, (м); $d_1(r_1)$ - (радиус) диаметр условной
 окружности, вписанной в корпус, м; $d_2(r_2)$ - диаметр (радиус) ус-

ловной окружности, вписанной во вставку; $r-r_1/r_1-r_2$ - безразмерная радиальная координата; Z - расстояние от дна модели, м; L - высота модели, м; $\bar{Z} = Z/L$ - безразмерная вертикальная координата; V - скорость газового потока, м/с; V_φ, V_r, V_z - вращательная радиальная и осевая составляющие вектора скорости, м/с;

V_1, V_2, V_3 - скорости ввода первичного и вторичного воздуха и скорость на выходе соответственно, м/с; $\bar{V}_\varphi = \frac{V_\varphi}{V_2}$; $\bar{V}_r = \frac{V_r}{V_2}$; $\bar{V}_z = \frac{V_z}{V_2}$ - безразмерные составляющие скорости; V'_φ, V'_r, V'_z - пульсации составляющих скорости, м/с; $\varepsilon_i = \sqrt{V_i'^2}/\bar{W}$ - интенсивности пульсаций составляющих скорости; P - статическое давление, н/м²;

$\bar{P} = 2P/\rho V_2^2$ - безразмерное статическое давление; P_2/P_3 - статическое давление на срезе подводов и на выходе из модели соответственно, н/м²; α - угол установки подводов, град; ρ - плотность воздуха, кг/м³; $\xi = 2\Delta P/\rho V_2^2$ - коэффициент аэродинамического сопротивления модели; $\Delta P = (P_2 + \rho V_2^2/2) - (P_3 + \rho V_3^2/2)$.

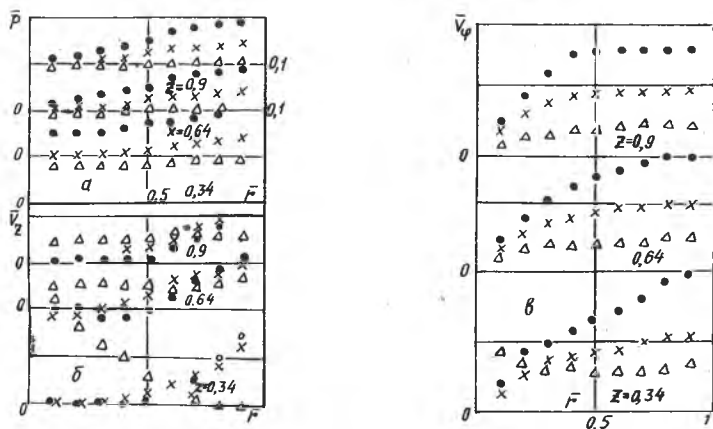
В данной работе приведены результаты экспериментального исследования аэродинамических характеристик вихревого потока на изотермической модели кольцевой топки высотой $L = 0,88$ м с диаметрами вписанных окружностей в многогранники корпуса и коаксиальной вставки $d_1 = 0,4$ м и $d_2 = 0,2$ м соответственно. Подводы воздуха располагались в центре каждой грани в нижней части модели, причем конструкция модели позволяла устанавливать оси горелки под углом $\alpha = 42, 62, 79^\circ$ к касательной, вписанной в окружность корпуса.

Получены данные о распределении составляющих вектора скорости $(\bar{V}_\varphi, \bar{V}_r, \bar{V}_z)$ и статического давления (\bar{P}) в объеме модели, а также распределение интенсивностей пульсаций осевой $(\varepsilon_z = \sqrt{V_z'^2}/\bar{W})$, вращательной $(\varepsilon_\varphi = \sqrt{V_\varphi'^2}/\bar{W})$ и радиальной $(\varepsilon_r = \sqrt{V_r'^2}/\bar{W})$ составляющих скорости, одноточечных корреляций $V'_\varphi V'_z/\bar{W}^2$, $V'_\varphi V'_r/\bar{W}^2$, отнесенных к локальному значению квадрата вектора скорости, кинетической энергии пульсационного движения $E = 0,5\rho[V_\varphi'^2 + V_z'^2 + V_r'^2]/0,5\rho V^2$, суммарной интенсивности пульсаций вектора скорости (без разделения на компоненты) в горизонтальном сечении пояса подводов и частотных спектров. Показано влияние угла установки горелки, формы и площади выхода на аэродинамическую картину течения в объеме модели. Измерения осредненных величин проводились с помощью шарового пятиканального зонда с диаметром головки 6 мм.

Турбулентные характеристики потока измерялись с помощью термоанемометра *DISA* с одноточечными насадками. Насадки вводились в камеру вертикально и горизонтально с помощью специальных координатных устройств.

Для определения составляющих пульсаций вектора скорости и корреляций между ними применяли методику трех поворотов насадка вокруг оси. Нить насадка, установленная в данной точке, ориентировалась перпендикулярно вектору вращательной скорости, и это положение соответствовало нулевому углу поворота ($\alpha = 0^\circ$). Два других угла ($\pm 45^\circ$) отсчитывали в обе стороны от нулевого. Суммарная ошибка измерений составляющих пульсаций вектора скорости не превышала 15%.

Показано, что при $\alpha = 42, 62^\circ$ воздушные струи, выходящие из подводов, отжимаются основным потоком к наружной стенке камеры, что приводит к организации в модели преимущественно вращательного движения. Из данных, приведенных на рис. 1, видно, что в этих случаях в объеме камеры выше пояса подводов вращательная скорость у наружной стенки камеры составляет $0,25-0,35 V_2$.



Р и с. 1. Влияние угла установки горелок на распределение статического давления (а) и составляющих вектора скорости (б, в) в сечениях по высоте модели ($V_2 = 40$ м/с): $\bullet - \alpha = 42^\circ$; $\times - \alpha = 62^\circ$; $\Delta - \alpha = 79^\circ$

Осевая скорость при этом у наружной стенки меньше вращательной в 3-4 раза и практически отсутствует вблизи вставки, а радиальная не превышает 2-3% от входной скорости.

Распределение статического давления согласуется с вращательной скоростью, оно уменьшается от наружной стенки модели к вставке.

При $\alpha = 79^\circ$ картина течения качественно изменяется вследствие того, что входные струи практически прямолинейно простреливают поток и бьют во внутреннюю вставку, у поверхности которой образуется зона вращательного течения. При этом в поясе подводов осевая скорость максимальна вблизи вставки и падает до нуля у наружной стенки, а в зоне выше подводов она распределяется равномерно по сечению и не превышает 5-6% от V_2 .

Показано, что при изменении формы выхода (одно-, двух- и четырехсторонний) газового потока из камеры, если площади выхода равны, составляющие вектора скорости практически не изменяются в основном объеме модели. Их распределение и величина изменяются в верхних сечениях только в зависимости от площади выхода.

Коэффициент аэродинамического сопротивления модели практически не зависит от числа Рейнольдса.

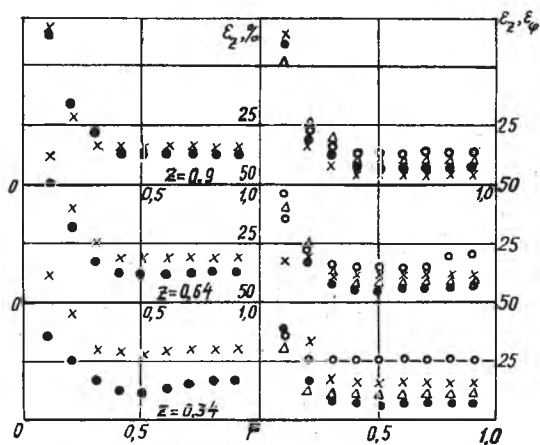
Опыты показали, что в исследуемом интервале $V_2 = 20-60$ м/с наблюдается автомодельность аэродинамических характеристик течения относительно критерия Рейнольдса.

Сопоставление интенсивностей пульсаций ϵ_φ , ϵ_z , ϵ_r при разных углах установки подводов показало, что они имеют качественно одинаковый вид, но отличаются количественно. Так, при угле $\alpha = 42^\circ$ в области квазипотенциального движения (у наружной стенки)

$\epsilon_\varphi = 6-8\%$, $\epsilon_z = 12-15\%$, $\epsilon_r = 10-15\%$ и интенсивности пульсаций слабо меняются по высоте модели, а при $\alpha = 62^\circ$, $\epsilon_\varphi = 15\%$, $\epsilon_z = 30\%$, $\epsilon_r = 25\%$ - падают практически в два раза в районе выходного сечения (рис. 2).

В области квазитвердого движения (у внутренней вставки) интенсивность возрастает до 50-70% при обоих углах установки подводов.

Кинетическая энергия турбулентности E при $\alpha = 42^\circ$ составляет в среднем 0,2-0,5% в основном объеме камеры выше пояса горелок, а при $\alpha = 62^\circ$ энергия достигает 2% у наружной стенки ка-



Р и с. 2. Распределение интенсивности пульсаций составляющих вектора скорости (ε_φ , ε_z , ε_r): для ε_z , ε_φ - \circ - \times - соответственно $\alpha = 42^\circ$; 62° ; для ε_r - Δ - \circ - соответственно $\alpha = 42^\circ$; 62° .

меры, а затем постепенно падает и равна в среднем 0,3-0,5%, что подтверждается распределением интенсивности пульсаций вектора скорости.

Исследование суммарной интенсивности пульсаций вектора скорости ε в горизонтальном сечении пояса горелок показало, что при $\alpha = 62^\circ$ она примерно в 1,5 раза выше, чем при $\alpha = 42^\circ$.

Исследование частотных спектров при $\alpha = 42, 62^\circ$ показало, что основная часть турбулентной энергии распределяется в области низких частот порядка 20 Гц, т.е. преобладает крупномасштабная турбулентность, что очень важно для точной техники.

В работе показана приблизительная автомодельность турбулентных характеристик течения в модели кольцевой толки от числа Рейнольдса.

Из приведенных выше результатов видно, что при изменении угла хордальности α от 42 до 62° уровень турбулентности в камере в основном объеме камеры повышается в среднем в 1,5 раза.

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что оптималь-

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