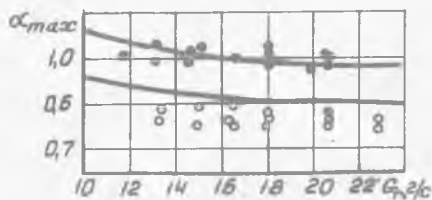


и топлива через горелку при перепаде давлений на ней, равном 2–8 кПа. Расчетные срывные характеристики в основном удовлетворительно согласуются с экспериментом.



Р и с. 4. Срывные характеристики вихревой горелки

Такой образом, предложенная методика расчета структуры течения и массообмена в циркуляционной зоне за вихревой горелкой позволила проанализировать влияние на устойчивость процесса горения основных конструктивных параметров горелки исследуемого типа и выявить целесообразные пределы их изменения.

Л и т е р а т у р а

1. Вахнеев С.Н., Кельшман Е.А., Онищик И.И., Христофоров И.Л. Исследование механизма стабилизации процесса горения в горелках вихревого типа. — В сб.: Горение в потоке. Казань: КАИ, 1982, с. 19–23.
2. Бортников М.Т. Стабилизация процесса горения в камерах сгорания / Труды ЦИАМ, 1974, № 613, с. 5–12.

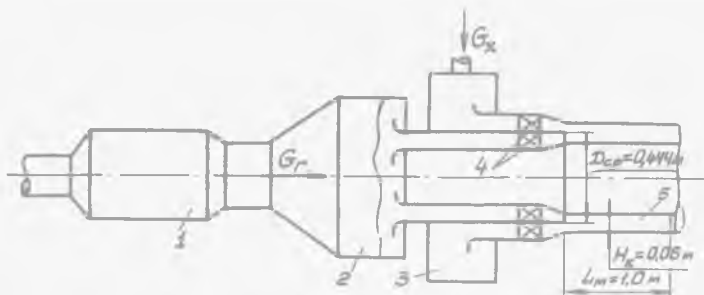
УДК 629.7.0263:621.43

С. П. П е т р о в

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕШЕНИЯ КОАКСИАЛЬНЫХ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ

В данной статье изложены результаты экспериментального исследования смешения противоположно закрученных потоков в кольцевом цилиндрическом канале при различных углах закрутки и различных степенях подогрева одного из потоков. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Воздух в рабочую часть установки подавался по двум независимым каналам, что позволяло изменять в процессе эксперимента соотношение расходов воздуха, подаваемого по наружному $G_{н}$ и внутреннему $G_{в}$ каналам.



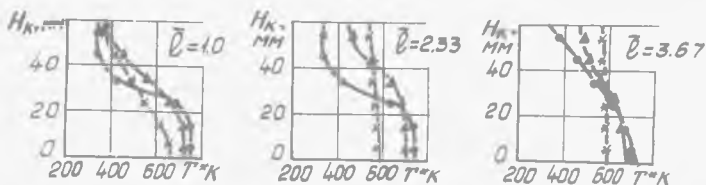
Р и с. 1. Схема установки

Воздух, поступающий по внутреннему каналу G_r , предварительно подогревался в подогревателе I. Воздух, поступающий в наружный канал G_x , имел постоянную температуру ~ 340 К. Перед поступлением в рабочую часть установки параметры обоих потоков выравнивались в ресиверах 2, 3. Закрытие потоков осуществлялась в противоположные стороны посредством сменных осевых лопаточных завихрителей 4. Рабочий участок установки 5 представлял собой цилиндрический кольцевой канал с размерами: $D_{ср} = 0,444$ м; $H_k = 0,06$ м; $L = 1,0$ м. По длине канала на расстояниях $\bar{l} = l/H_k = 0,33; 1,0; 1,33; 1,67; 2,0; 2,33; 3,67; 5,33$ располагались штуцера для ввода измерительных насадок. В процессе проведения экспериментов определялось радиальное распределение температур потоков (T^*) в различных сечениях по длине рабочего участка. Соотношение расходов воздуха $\bar{G} = G_x/G_r$ изменялось от 0,5 до 1,5, при этом расход горячего потока поддерживался постоянным. Степень подогрева внутреннего потока была ~ 2 . Угол закрутки потоков (угол установки лопаток в завихрителях) был равен $0; 45; 60^\circ$ в различных комбинациях. Эксперименты проводились при полном давлении воздуха в потоках $P^* \sim 1 \cdot 10^5$ Н/м².

Температурные поля определялись при помощи гребенок хромель-алюмелевых термопар, показания которых фиксировались потенциометром Э ПП-09.

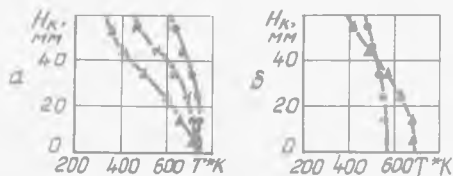
В качестве примера на рис. 2 приведено изменение профиля температуры по длине канала при следующих углах закрутки потоков: $0^\circ/0^\circ; 45^\circ/-45^\circ; 60^\circ/-60^\circ$.

Из данных, приведенных на рис. 2, видно, что неравномерность температурного поля уменьшается по длине канала. Определяющее влияние на процесс смешения оказывают углы закрутки потоков. Так, для углов $\varphi_H = -60^\circ; \varphi_{ВН} = -60^\circ$ поле температур становится, практически, равномерным на расстоянии $\bar{l} \sim 2,0$, а для углов закрутки $\varphi_H = 45^\circ; \varphi_{ВН} = -45^\circ$ — заметная неравномерность сохраняется до расстояния $\bar{l} \sim 3,7$. Еще более неравномерно поле температур при отсутствии закрутки.



Р и с. 2. Изменение профиля температурного поля по длине канала: $T_r^* = 780$ К; $T_k^* = 340$ К; $\bar{G} = 0,9$; $\alpha - \varphi_H = 0^\circ / \varphi_H = 0^\circ$; $\Delta \Gamma - 45^\circ / -45^\circ$; * * - $60^\circ / -60^\circ$

На рис. 3 приведены профили температурного поля при различных соотношениях расходов горячего и холодного потоков и при различных углах закрутки потоков.



Р и с. 3. Профили температурного поля при различных соотношениях расходов (а) и различных соотношениях углов закрутки (б): а) $\circ - \bar{G} = 0,5$; * - $0,9$; б) $\bar{G} = 1,0$; $\circ - \varphi_H = 45^\circ / \varphi_{BH} = -60^\circ$; $\Delta - \varphi_H = -60^\circ / \varphi_{BH} = -45^\circ$

Из рис. 3,а видно, что заметное влияние на процесс смешения оказывает изменение соотношения расходов воздуха. При увеличении доли горячего потока процесс смешения интенсифицируется (профиль температур становится более равномерным).

Изменение углов закрутки горячего и холодного потоков (см. рис. 3,б) не равнозначно для протека-

ния процессов смешения. Смешение интенсифицируется в большей степени при увеличении угла закрутки горячего (внутреннего) потока по сравнению с увеличением угла закрутки холодного потока.

О неравномерности температурного поля, т.е. о степени завершенности процессов смешения, можно судить по величине параметра

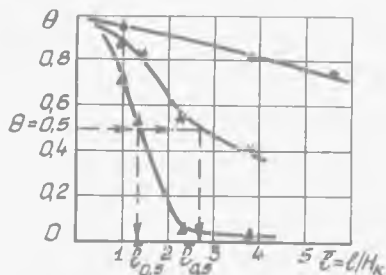
$$\theta = \frac{T_{r \max}^* - T_{r \min}^*}{T_r^* - T_k^*}$$

На рис. 4 приведены зависимости $\theta = f(\bar{v})$ для потоков с углами закрутки $45^\circ / -45^\circ$; $60^\circ / -60^\circ$ и при отсутствии закрутки.

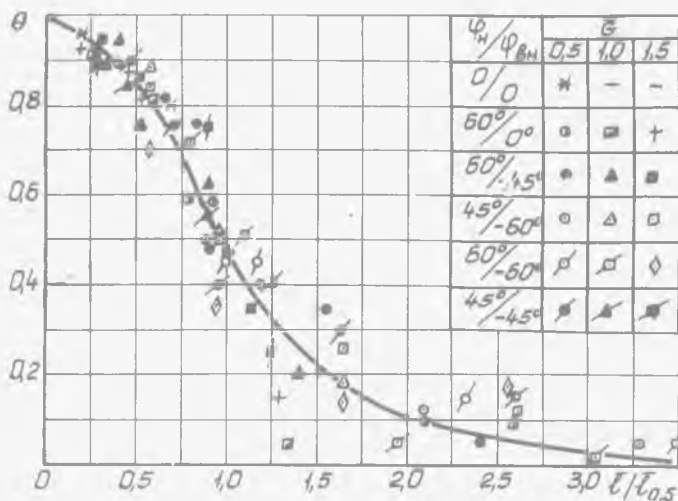
Как видно, значение параметра θ убывает по длине канала, причем увеличение закрутки потоков существенно интенсифицирует процесс смешения.

Обработка экспериментальных данных показала, что изменение параметра неравномерности температурного поля θ по длине канала для различных параметров потоков может быть приближенно описано одной зависимостью (рис. 5), если в качестве характерного продольного размера использовать относительную длину участка смешения, при котором значение $\theta = 0,5$ ($\ell_{0,5}$) (см. рис. 4).

В методиках расчета используется зависимость параметра $\ell_{0,5}$ от исходных параметров смешивающихся потоков. В частности, в работе [1] с этой целью применяется параметр $\Delta \bar{U} = K \frac{|U_1 - U_2|}{2W_0}$ (I)



Р и с. 4. Изменение параметра θ по длине канала: $\phi = 0, 1$; $0 - \varphi_H = 0^\circ / \varphi_{BH} = 0^\circ$; * - $45^\circ / -45^\circ$; Δ - $60^\circ / -60^\circ$



Р и с. 5. Изменение параметра неравномерности температурного поля (θ) в зависимости от значения комплекса $\ell / \ell_{0,5}$

где U_1, U_2 - окружные составляющие скорости потоков;
 W_0 - среднемассовая скорость потока.

При применении этого параметра в таком виде удовлетворительного обобщения получить не удалось. Тогда было предложено вместо модуля разности окружных составляющих скоростей потоков использовать модуль разности абсолютных скоростей потоков:

$$\Delta \bar{C} = \kappa \frac{|C_{11} - C_{21}|}{W_0} \quad (2)$$

После несложных алгебраических преобразований можно зависимость (2) привести к виду

$$\Delta \bar{C} = \sqrt{\left(\frac{\bar{G} \varphi_H \bar{T}_x^*}{\bar{F}_H} + \frac{\varphi_{0H} \bar{T}_r^*}{\bar{F}_{0H}} \right)^2 + \left(\frac{\bar{G} \bar{T}_x^*}{\bar{F}_H} - \frac{\bar{T}_r^*}{\bar{F}_{0H}} \right)^2},$$

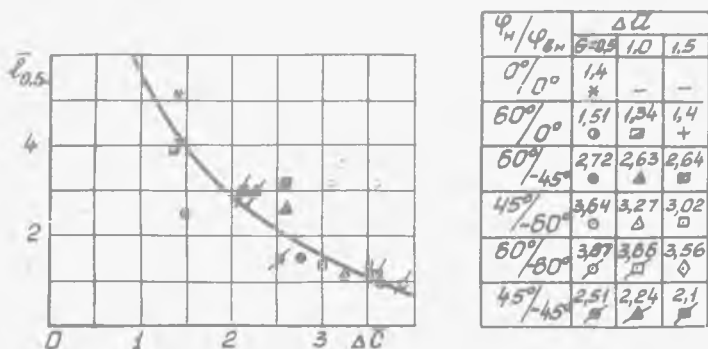
где φ_H, φ_{0H} - углы поворота потоков;

$\bar{F} = \frac{F}{F_2}; \bar{F}_H, \bar{F}_{0H}$ - относительные проходные площади наружного и внутреннего каналов;

$\bar{T}^* = \frac{T^*}{T_{cp}^*}; \bar{T}_x^*, \bar{T}_r^*$ - относительные температуры холодного и горячего потоков;

$T_{cp}^* = \frac{\bar{G} T_x^* + T_r^*}{1 + \bar{G}}$ - среднемассовая температура потока.

При использовании параметра $\Delta \bar{C}$ удалось получить зависимость $\bar{E}_{0.5} = f(\Delta \bar{C})$, которая приблизительно может быть описана одной кривой (рис. 6).



Р и с. 6. Изменение значений параметра $\bar{E}_{0.5}$ в зависимости от значений комплекса $\Delta \bar{C}$.

Таким образом, зная начальные параметры потоков ($\bar{G}; \bar{T}_x^*, \bar{T}_r^*; \varphi_H; \varphi_{0H}; \bar{F}_H; \bar{F}_{0H}$) можно, используя зависимости $\bar{E}_{0.5} = f(\Delta \bar{C})$ и $\theta = f(\bar{E}/\bar{E}_{0.5})$ (см. рис. 5, 6), оценить неравномерность профиля температур при различных величинах участка смешения.

Л и т е р а т у р а

Г. Свириденков А.А., Третьяков В.В. Экспериментальное исследование смещения турбулентных, противоположно закрученных струй на начальном участке в кольцевом канале. - ИФЖ, 1983, т.44, № 2, с. 205-210.

УДК 532.517.4

В.В.Третьяков, В.И.Ягодкин

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ОГРАНИЧЕННЫХ ЗАКРУЧЕННЫХ ТЕЧЕНИЙ

В связи со сложностью и многообразием закрученных течений особую роль в их исследовании приобретают численные методы, в частности методы, основанные на использовании двухпараметрических моделей турбулентности. В настоящей работе рассматривается применение одной из таких моделей, $k-W$, для расчетов ограниченных закрученных течений. Опыт расчетов по другим двухпараметрическим моделям показывает, что все они практически одинаково описывают закрученные потоки.

Будем считать, что течение является стационарным и осесимметричным, а рабочая среда - несжимаемой жидкостью. Для такого течения система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \bar{V} &= 0, \operatorname{div}(\rho \bar{V} - D_p \operatorname{grad} p) = 0, \\ \operatorname{div} \left[\frac{1}{2} (\rho \bar{V} - D_p \operatorname{grad} p - D_p \frac{\partial p}{\partial z} \bar{V}) \right] &= - \frac{\partial p}{\partial z} + S_z, \\ \operatorname{div} \left[v_r (\rho \bar{V} - D_p \operatorname{grad} p - D_p \frac{\partial p}{\partial r} \bar{V}) \right] &= \frac{\partial p}{\partial r} - \frac{\rho v_r^2}{r} + S_r, \end{aligned}$$

$$\operatorname{div} [r v_\varphi (\rho \bar{V} - D_p \operatorname{grad} p)] = -S_\varphi,$$

$$v_r = k W^{0.5},$$

$$\operatorname{div} (\rho k \bar{V} - D_k \operatorname{grad} k) = \rho S_k,$$

$$\operatorname{div} (\rho W \bar{V} - D_w \operatorname{grad} W) = \rho S_w$$

Источниковые члены S :

$$S_z = 2 \frac{\partial}{\partial z} (M_e \frac{\partial v_z}{\partial z}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [M_e r \frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z^2}{\partial r}],$$

$$S_r = \frac{\partial}{\partial z} [M_e (\frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial r})] + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} (M_e r \frac{\partial v_r}{\partial r}) - \frac{M_e v_r}{r},$$

$$S_\varphi = \frac{\partial}{\partial z} (M_e \frac{\partial r v_\varphi}{\partial z}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (M_e r \frac{\partial r v_\varphi}{\partial r}) - \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} (M_e r v_\varphi),$$

$$S_k = v_r F_k - C_k k W^{0.5},$$