

Н.Е.Шискин

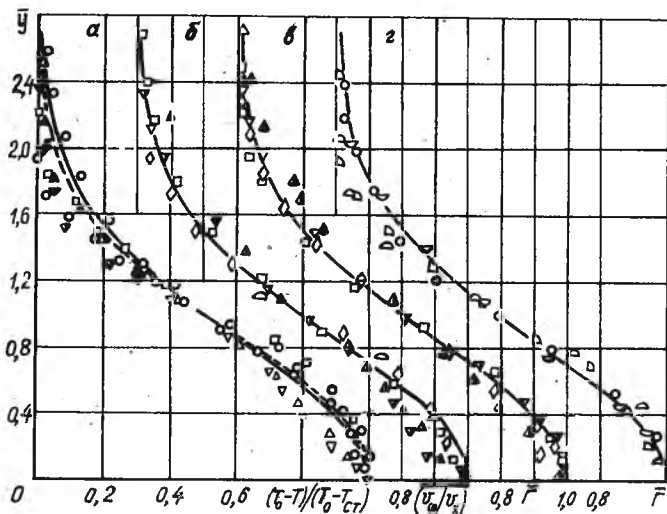
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ ГАЗА
В ТРУБЕ ПРИ СТРУЙНОМ СМЕШЕНИИ
В ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ

В настоящей работе по экспериментальным данным анализируются профили температуры и скорости в теплоизолированной трубе. Исследуется распределение температуры стенки по длине канала в зависимости от входных условий: относительного параметра вдува m и степени закрутки периферийного потока, высоты кольцевой щели и толщины кромки, разделяющей оба потока в начальном сечении.

Опытный участок представлял собой цилиндр диаметром $46 \cdot 10^{-3}$ м и длиной 0,4 м, на входе которого располагались сменные кольцевые сопла шириной $S_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ и $S_2 = 9,5 \cdot 10^{-3}$ м. Вторичный поток закручивался с помощью спиральных ребер, имеющих угол выхода по отношению к осевому направлению $\varphi_0 = 58, 74$ и 86° для кольцевой щели высотой S_1 . Для сопла шириной $S_2 - \varphi_0 \sim 74^\circ$. Толщина торцевой стенки на входе канала имела следующие значения: $t/S_1 = 0,15; 1,5; 4; 8; t/S_2 = 0,04; 0,9$. По относительному массовому расходу вторичного потока охвачен диапазон $m = \rho_s W_s / \rho_o W_o = 0,2-5$, где ρ_s и W_s - плотность и среднерасходная скорость в кольцевом сопле. Основной поток воздуха подавался со скоростью $W_o = 30-318$ м/с. При проведении опытов нагревался один из потоков, в результате чего отношение потоков по плотности составляло $\rho_s / \rho_o = 0,84; 1; 1,2$.

Средние параметры течения измерялись трехканальным зондом, спаянным из медицинских игл диаметром $0,5 \cdot 10^{-3}$ м. В средней трубке находилась нихром-константановая термопара. Температура стенки фиксировалась заделанными на поверхности канала хромель-копелевыми термопарами.

Ранее было показано [1], что профили температуры удовлетворительно описываются зависимостью Вигхардта, практически совпадающей с кривой Гаусса. На рис. 1,а приводится распределение температуры в зоне смешения для опытов с поступлением вторичного потока через щель S_1 , нанесены результаты экспериментов с незакрученным течением в широком кольцевом сопле [2] и с закруткой



Р и с. 1. Распределение относительных характеристик в зоне смешения

пристенного газа [3]. С увеличением расхода закрученного потока ($m = 5$ и $\rho_s/\rho_0 > 1$) профиль температуры вследствие вихревого эффекта начинает перестраиваться: появляется более холодный газ в присосевой области.

Интенсивность закрутки потока во многих работах определяется по локальному значению U_φ/U_x вблизи стенки канала. Анализ $(U_\varphi/U_x)/(U_\varphi/U_x)_{max}$ в области струйного смешения показывает возможность обобщения опытных точек между собой по координате $y/y_{0,5}$ (рис. 1, а). Отсюда следует, что локальные и интегральные параметры степени закрутки потока можно однозначно выразить один через другой.

Аналогичное представление циркуляции в рассматриваемых координатах показано на рис. 1, б и в. На первом из них нанесены опытные данные, полученные для $d_0/D_k = 0,85-0,9$, а на другом сведены результаты экспериментов в цилиндрах при наличии осевых струй [4], полном отсутствии осевого потока [5] по измерениям в вихревой трубе [6].

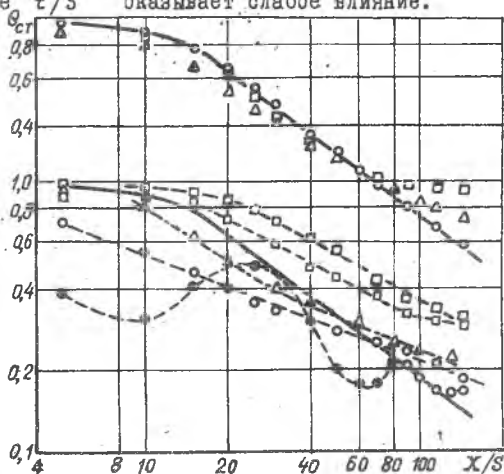
Следует подчеркнуть, что значения $\bar{\gamma}$ для рассмотренных на

рис. 1 величин не совпадают между собой и определяются как

$$(y - y_{max}) / (y_{0,5} - y_{max}).$$

Как известно, течение пристенного газа (отличного по своим свойствам от основного потока) широко используется для организации защиты рабочих поверхностей от воздействия высокотемпературного или химически агрессивного потока. Эффективность такой защиты определяется по снижению безразмерной температуры стенки $\theta_{ст} = (T_0 - T_{ст}^*) / (T_0 - T_s)$ по длине канала. Несмотря на практический интерес, газовая завеса в трубах еще недостаточно исследована: отсутствуют работы по влиянию величины $(t + s)$, сопоставимой с радиусом, на распределение температуры по длине цилиндрического канала.

Опыты, проведенные с толстой кромкой на входе при разных расходах поступающих потоков, но с сохранением постоянным $m = 0,5$ показали, что m продолжает оставаться параметром, определяющим эффективность завесы. На верхнем графике рис. 2 приводится изменение относительной температуры стенки без закрутки вторичного потока и $S = 2 \cdot 10^{-3}$. Из него следует, что на эффективность завесы в трубе t/s оказывает слабое влияние.



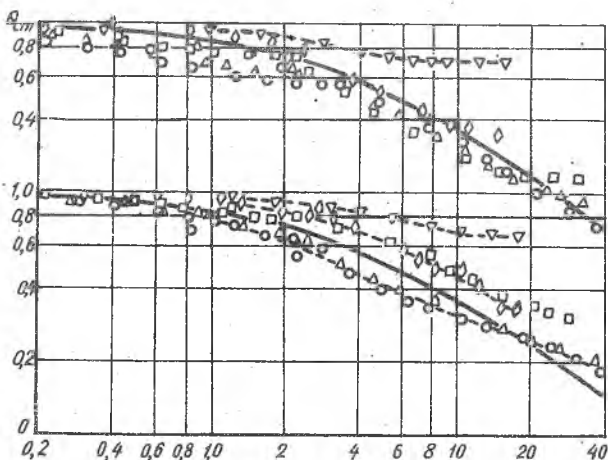
Р и с. 2. Зависимость безразмерной температуры от толщины торцевой стенки

В условиях закрутки периферийного газа утолщение кромки благоприятно сказывается на увеличении $\theta_{ст}$ (рис. 2, нижний график). Влияние угла закрутки в пределах $\varphi_0 = 58-74^\circ$ наблюдалось только

для малых параметров вдува. В экспериментах с тонкой кромкой и $\varphi_0 = 86^\circ$ осесимметричная картина течения нарушалась, вследствие чего $\theta_{ст}$ изменялась. Напротив, при наличии торцовой стенки наблюдается постепенное изменение температуры по длине канала.

При исследовании было замечено, что периферийный поток, расширяясь, оставляет на торцовой поверхности спиральные следы обтекания. Исходя из этого, можно рассматривать смещение центрального потока с периферийным, поступающих через кольцевое сопло шириной $(t + s)$. Зависимость Кутателадзе-Леонтьева, которая удовлетворительно обобщает опытные данные по распределению температуры в трубе при $\varphi = 0^\circ$ как для S_1 , так и для S_2 (рис. 3, верхний график), может быть преобразована к следующему виду, удобному для оценки влияния t/s :

$$\theta_{ст} = [1 + 0,25(1 + t/s)^{-1,25} Re_{\Delta x} / Re_s^{*1,25}]^{-0,8}$$



Р и с. 3. Влияние комплекса $(1+t/s)^{-1,25} Re_{\Delta x} / Re_s^{*1,25}$ на безразмерную температуру стенки

На рис. 3 представлены опытные данные по распределению безразмерной температуры стенки в зависимости от комплекса $(1+t/s)^{-1,25} Re_{\Delta x} / Re_s^{*1,25}$. Здесь $Re_{\Delta x}$ - число Рейнольдса, определенное

по параметрам основного потока и расстоянию от среза щели с исключением длины начального участка [1], Re_s^* - число Рейнольдса в кольцевом сопле с использованием коэффициента вязкости для осевого потока. Как видно из рис. 3 (нижний график), имеется удовлетворительное подтверждение принятой схеме расчета. Так, наблюдаемое расслоение опытных точек для закрученных течений $\psi = 74^\circ$, подчеркивает преимущество в закрутке вторичного потока для широкого сопла S_2 и при наличии толстой кромки $t/S_1 = 4$. Характер распределения $\theta_{сг}$ в случае $t/S_1 = 8$ существенно отличается, так как определяется в основном $\theta_{см}$ - безразмерной температурой полного перемешивания обоих потоков.

Л и т е р а т у р а

1. Д в о р н и к о в Н.А., Л е б е д е в В.П., Ш и ш к и н Н.Е. Закрученная газовая завеса в цилиндрическом канале. - В сб.: Структура пристенного пограничного слоя (вынужденное течение, тепловая конвекция). - Новосибирск, ин-т теплофизики, 1978, с. 81-100.
2. В у л и с Л.А., К а р е л и н В.Е., У с т и м е н к о Б.П. Распространение турбулентной газовой струи в спутном потоке. - Изв. АН СССР, МЖГ, 1966, № 3, с. 120-128.
3. С у х о в и ч Е.П. Конвективный теплообмен при турбулентном смешении ограниченных коаксиальных струй. - Изв. VCOAN СССР. Серия техн. наук, № 3, вып. I, с. 24-31.
4. Л я н э Р., И в а н о в Ю. О развитии закрученного потока в цилиндрической камере с недифрагмированным выходным сечением. - Изв. АН СССР. Серия физ.-мат. наук, 1970, т. 19, № 4, с. 456-462.
5. Beer J.M., Chigier N.A., Davies T.W., Bassindale K. *Laminarization of Turbulent Flames in Rotating Environment. Combustion and Flame*, 1971, N16, pp 39-45.
6. М е р к у л о в А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969.