

5. Резняков А.Б., Устименко Б.П., Бышенский В.В., Курмангалиев М.Р., Теплотехнические основы циклонных, топочных и технологических процессов. Алма-Ата: Наука, 1974, с. 374.

УДК 536.46-662.61

Ю.А.Спиридонов, Ф.З.Тинчурин, Ю.Я.Галицкий

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ЗАКРУТКИ ПОТОКА
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ
СИСТЕМЫ ПОПЕРЕЧНЫХ СТРУЙ

Цель данной работы - исследование характеристик качества смесеобразования системы поперечных струй в закрученном сносящем потоке. В работе используется метод расчета, предложенный в [3, 6]. Задача решается в следующих допущениях:

качество смешения системы поперечных струй в закрученном потоке определяется глубиной проникновения струй по радиусу, т.е. аналогично хордовой подаче струй;

ограничение по глубине проникновения наступает при пересечении проекций осей струй в плоскости, нормальной и аксиальной составляющей вектора скорости потока, т.е. аналогично осевому потоку [2];

дополнительные ограничения по эффекту Коанда, обусловленные изменением положения оси струи относительно стенки по длине канала вследствие закрутки потока, отсутствуют;

изменение абсолютного значения тангенциальной составляющей скорости потока в проекции на ось τ (рис. 1) по радиусу и углу отсутствует

Изложенные допущения устанавливают универсальность характеристик смесеобразования в сходственных сечениях основного участка вторичной зоны [2], что позволяет использовать ранее установленные закономерности смешения системы поперечных струй в осевом потоке для расчета характеристик при закрутке. Для этого следует установить зависимость между глубинами проникновения струй по радиусу \bar{h}_r и в плоскости траектории оси \bar{h}_s при $\gamma = \text{var}$ и $d = \text{var}$. Здесь $\bar{h} = 2h/d_k$, $\gamma = \arctg V_{\tau}/V_{\tau}$,

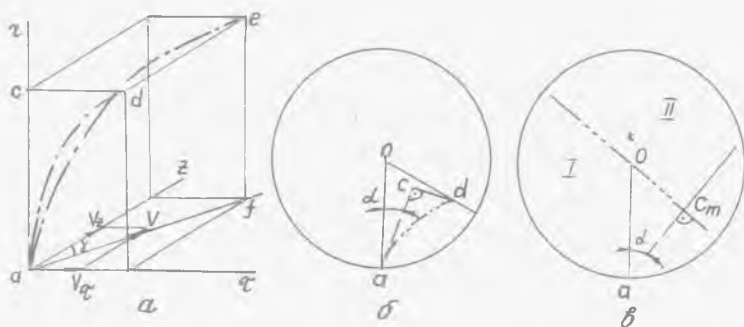
$$\bar{V}_i = \sqrt{\frac{1}{\rho} \int V_i^2 dF} \cdot \Pi$$

при рассмотрении данных, приведенных на рис. 1 и в [2, 6] следует, что

$$\bar{c}\bar{d} = \bar{a}\bar{f} \sin \gamma = \frac{A_h^2}{A_s^{2.54}} \bar{d}^{0.455} h_s^{0.545} \sin \gamma = K \bar{h}_s^{0.545}$$

Здесь

$$K = \frac{A_h^2}{A_s^{2.54}} \bar{d}^{0.455} \sin \gamma, \quad \bar{d} = \frac{d_3}{r_k}, \quad d_3 = d_0 \sqrt{\mu}$$



Р и с. 1. Принципиальная и расчетные схемы: а - принципиальная схема распространения струи; б - расчетная схема по определению зависимости $\bar{h}_z(\bar{h}_s)$; в - расчетная схема определения ограничения по направлению смещения оси струи; — — — траектория оси струи; — — — проекция траектории оси струи в плоскости zOz ; — — — проекция траектории оси на ось z ; — — — ограничение по направлению смещения оси струи

Если учесть распределение тангенциальной составляющей скорости в принятых допущениях, то следует согласиться с тем, что направление смещения оси струи относительно ее положения при $K = 0$ меняется при переходе из одной области в другую. Порядок нумерации областей приведен на рис. 1, в. Принадлежность точек на траектории оси струи к той или иной области определяется величиной глубины проникновения. Если $\bar{h} < \bar{h}_{sm}$, то область I; если $\bar{h} > \bar{h}_{sm}$ то область II. В общем случае $\bar{h}_{sm} = \cos \alpha$ т.е. половина глубины проникновения струй в плоскости траектории при $K = 0$.

Данные, приведенные на рис. 1, б, позволяют выразить зависимость \bar{h}_z от \bar{h}_s уравнениями вида:

при $\bar{h}_s \leq \bar{h}_{sm}$

$$\bar{h}_z = 1 - \sqrt{(\bar{h}_s - \cos \alpha)^2 + (|K| \bar{h}_s^{0,545} \pm |\sin \alpha|)}; \quad (1)$$

при $\bar{h}_s > \bar{h}_{sm}$

$$\bar{h}_z = 1 - \sqrt{(\bar{h}_s - \cos \alpha)^2 + \left\{ K \bar{h}_{sm} \left[1 - \left(\frac{\bar{h}_s}{\bar{h}_{sm}} - 1 \right)^{0,545} \right] \pm |\sin \alpha| \right\}}. \quad (2)$$

Здесь знак "+" соответствует: $\alpha > 0, K > 0$ или $\alpha < 0, K < 0$; знак "-" соответствует: $\alpha < 0, K > 0$ или $\alpha > 0, K < 0$.

Частные случаи:

а) $\alpha = 0, K = \text{var}$ (радиальная подача, закрученный поток);

$$\bar{h}_z = 1 - \sqrt{(\bar{h}_s - 1)^2 + (K|\bar{h}_s|^{0,545})^2}$$

при $\bar{h}_s \leq \bar{h}_{sm}$;

$$\bar{h}_z = 1 - \sqrt{(\bar{h}_s - 1)^2 + \left\{ K|\bar{h}_s|^{0,545} \left[1 - \left(\frac{\bar{h}_s}{\bar{h}_{sm}} - 1 \right)^{0,545} \right]^2 \right\}^2}$$

при $\bar{h}_s \geq \bar{h}_{sm}$;

б) $\alpha = \text{var}$, $K = 0$ (хордальная подача, осевой поток);

$$\bar{h}_z = 1 - \sqrt{1 + \bar{h}_s^2 - 2\bar{h}_s \cos \alpha}$$

Заметим, что полученное уравнение совпадает с приведенным в [3].

Из уравнений (1), (2) следует, что зависимость K от \bar{h}_s при $\bar{h}_z = \text{const}$ может быть представлена соотношениями:

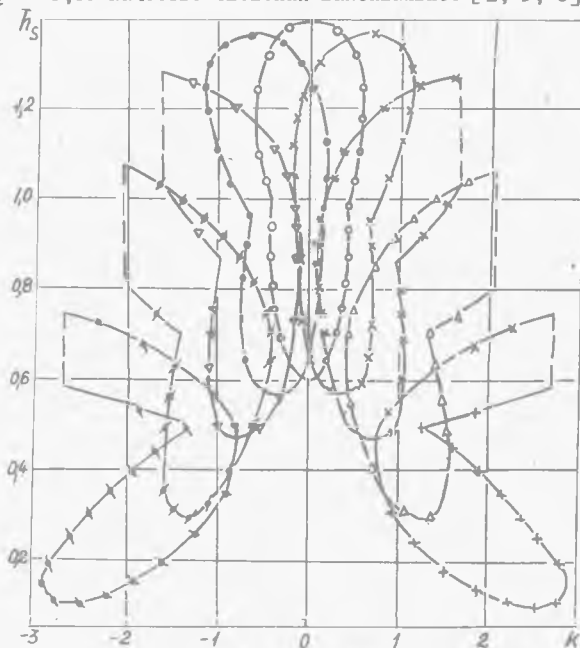
$$K = \frac{\sin \alpha \pm \sqrt{(1 - \bar{h}_z)^2 + (\bar{h}_s - \cos \alpha)^2}}{\bar{h}_s^{0,545}}$$

при $\bar{h}_s \leq \bar{h}_{sm}$;

$$K = \frac{\sin \alpha \pm \sqrt{(1 - \bar{h}_z)^2 - (\bar{h}_s - \cos \alpha)^2}}{\cos \alpha^{0,545} \left[1 - \left(\frac{\bar{h}_s}{\bar{h}_{sm}} - 1 \right)^{0,545} \right]}$$

при $\bar{h}_s \geq \bar{h}_{sm}$.

На рис. 2 приведены зависимости $\bar{h}_s(K)$ при $\bar{h}_z = 0,60$ и $\alpha = \text{var}$ (в точке $\bar{h}_z = 0,60$ качество смешения максимальное [2, 3, 6]).



Р и с. 2. Зависимость $\bar{h}_s(K)$ при $\bar{h}_z = 0,60$; $\circ, \times, \bullet, *, \nabla, \Delta, \diamond, +, \square$ - $\alpha = 0; -15; +15; -30; +30; -45; +45; -60; +60^\circ$ соответственно

Показано, что при увеличении $|d|$ размеры области существования по K возрастают, а значения

$$\bar{h}_{smax} = \cos\alpha + 0,40 \left(\text{при } K_{3max} = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha^{0,545} \left[1 - \left(\frac{d \sin\alpha}{\cos\alpha} \right)^{0,545} \right]} \right) \text{ и}$$

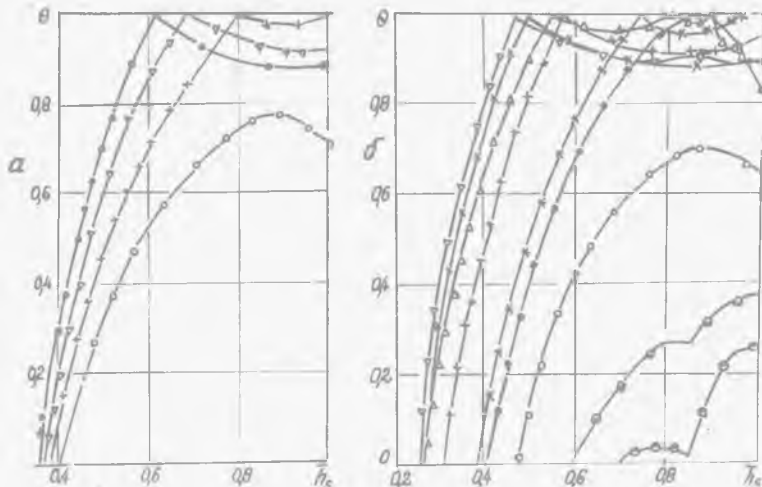
$$\bar{h}_{smin} = \cos\alpha - 0,40 \left(\text{при } K_{3min} = \frac{\sin\alpha}{(\cos\alpha - 0,40)^{0,545}} \right) \text{ уменьшаются.}$$

Последнее имеет большое практическое значение и предполагает использование закрутки потока как способа повышения качества смешения. На рис. 2 показано, что все многообразие закономерностей $\bar{h}_s(K)$ при $\alpha = \pm 45^\circ$ можно разделить на два класса:

первый класс - $0^\circ \leq |\alpha| \leq 23^\circ$;

второй класс - $|\alpha| > 23^\circ$.

Для первого класса - области существования $K \geq 0$. При увеличении $d (d > 0)$ размеры области $K > 0$ сокращаются (область превращается в точку при $\alpha = 23^\circ$), а размеры области $K < 0$ увеличиваются. Для второго класса при $\alpha > 0^\circ$ - область существования $K < 0$. На полученные зависимости были нанесены дополнительные ограничения по косому удару струи о стенку [3]. Направление закрутки потока и ее интенсивность при хордальной подаче струи выбираются из условия максимального качества смешения при минимальных гидравлических сопротивлениях [5].



Р и с. 3. Зависимость $\theta(\bar{h}_s)$ при $d = 0,01568$; $n = 8$; $\bar{x} = \pm 1,32$: а - зависимость $\theta(\bar{h}_s)$ при $\alpha = 0^\circ$; $\circ - K = 0$; $\nabla - 0,3$; $\square - 0,4$; $\square - 0,5$; $*$ - $0,7$; б - зависимость $\theta(\bar{h}_s)$ при $\alpha = 30^\circ$: $\square - K = 0$; $\bullet - +0,100$; $*$ - $+0,208$; $+$ - $+0,300$; \times - $+0,541$; ∇ - $\pm 0,758$; Δ - $\pm 1,00$; \bullet - $\pm 0,100$; \circ - $\pm 0,150$

На рис. 3,а приведены характеристики качества смешения при $\alpha = 0^\circ$ и $K = \sqrt{Q}r$. Данные представлены только для одного значения определяющих геометрических параметров камеры смешения, однако, качественно их можно считать достаточно представительными. При построении указанной характеристики в качестве исходной использованы экспериментальные данные при $\alpha = 0^\circ$ и $K = 0$. Показано, что при $h_s \text{ const}$ увеличение $|K|$ приводит к увеличению качества смешения в области эпюр типа Б и его снижению для эпюр типа А [2]. Оба результата объясняются снижением \bar{h}_z при увеличении $|K|$. Таким образом, получено объяснение противоречивому характеру влияния закрутки потока на качество смешения, обнаруженного рядом исследователей [1, 4].

Показано, что в каждой из областей ($h_s < \bar{h}_{sm}$, $\bar{h}_s > \bar{h}_{sm}$) имеется только одно значение $|K| = |K|_{max}$ и соответствующее ему \bar{h}_s , для которого $\theta = 1,0$. Для $|K| < |K|_{max}$ существует два или, по крайней мере, одно значение \bar{h}_s ; для $|K| > |K|_{max}$ не существует ни одного значения \bar{h}_s при $\theta = 1,0$. Это значит, что увеличение перепада давления на отверстиях высокнапорной магистрали как способ достижения равномерного распределения параметров (например, температуры) на выходе из камеры смешения - неприемлем.

Если пренебречь величиной изменения качества смешения $\Delta\theta = 0,02$, что соответствует нестабильности характеристик промышленных объектов, то следует согласиться с тем, что закрутка потока в окрестности K_{max} позволяет вместо особой точки 2 получить некоторую область изменения \bar{h}_s , в пределах которой $\theta = 1,0$ (аналог хордальной подачи струй [3, 6]).

На рис. 3 приведены характеристики качества смешения при $\alpha = \pm 30^\circ$ и $K = \sqrt{Q}r$. Показано, что при совпадении знаков α и K во всем диапазоне изменения h_s реализуются эпюры типа А, а увеличение закрутки потока приводит к снижению качества смешения. Приведенные данные показывают, что при $|\alpha| \geq 23^\circ$ применение компоновок с одинаковыми знаками при K и α нецелесообразно.

Анализ зависимостей при $\alpha > 0, K < 0$ и $\alpha < 0, K > 0$ показал, что для каждого значения h_s (за исключением \bar{h}_{smin} и \bar{h}_{smax}) существует два значения K при $\theta = 1,0$. Отклонение K от оптимального значения приводит к снижению качества смешения эпюр типа А и Б соответственно. Показано, что для каждой из областей достижение стабильных характеристик качества смешения при технологических отклонениях смесительного устройства предпочтительнее в окрестности точек K_{min} и K_{max} , а за счет закручивающего устройства - в окрестности K_{zmin} и K_{zmax} . Установлено, что $\theta = 1,0$ может быть получено при меньшем значении глубины проникновения струй в плоскость траектории, чем в случае $|K| \geq 0$ и

$K = 0$. Таким образом, закрутка потока может быть использована как способ устранения недостатков хордальной подачи струй [3, 6].

При противоположной закрутке струй и потока увеличение угла α приводит к снижению \bar{h}_{smin} и увеличению K_{smin} . Это значит, что гидравлические сопротивления для приготовления смеси снижаются за счет высоконапорной магистрали и возрастают за счет закручивающего устройства [5].

На рис. 4 приведена зависимость качества смешения от \bar{G} , где $\bar{G} = G_x / (G_s + G_x)$. Зависимость \bar{G} от \bar{h}_s определялась по [3, 6].

В приведенных выше соотношениях влияние закрутки потока на характеристики распространения струй учитывалось параметром K . Заметим, что K есть функция геометрических параметров закручивающего устройства и камеры смешения.

При проектировании закручивающего устройства необходимо значение γ может быть определено зависимостью вида

$$\gamma = \arcsin \frac{K}{\bar{a} \cdot 0,455 B}$$

Для определения параметра B были использованы обобщения характеристик распространения системы поперечных струй, подробно рассмотренные в [3]:

при $\bar{S} > \bar{S}^*$

$$B = \frac{1}{3,24} \left(1 + \frac{1,25}{\bar{S} \cdot 0,025 \cdot \bar{S}^{1,2}} \right)^{0,54}$$

при $\bar{S} < \bar{S}^*$

$$B = \frac{1}{3,24} A_s^{0,54}$$

где $A_s = (A_s)_{\bar{S}=\bar{S}^*} + \left[(A_s)_{\bar{S}=1} - (A_s)_{\bar{S}=\bar{S}^*} \right] \left(\frac{\bar{S}^* - \bar{S}}{\bar{S}^* - 1} \right)^{2,5+10P}$

$$(A_s)_{\bar{S}=\bar{S}^*} = \frac{1}{1 + \frac{1,25}{\bar{S}^* \cdot 0,025 \cdot \bar{S}^{1,2}}} \cdot (A_s)_{\bar{S}=1} = 1 + \frac{1}{100P \cdot 15,3205}$$

где $\bar{S} = s/d_s$.

значение \bar{S}^* определяется по [3].

Полученные в работе результаты могут быть использованы при проектировании и доводке устройств, процесс в которых развивается по диффузионной схеме.

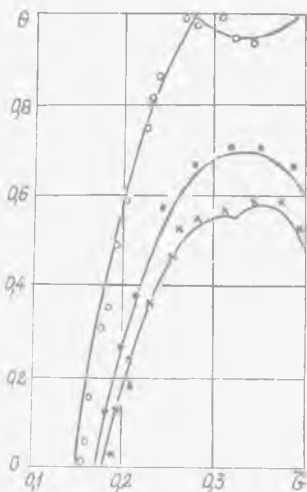


Рис. 4. Зависимость $\theta(G)$ для $n = 8, \bar{a} = 0,1568, \chi_0 = 1,32; \times - \alpha = +30^\circ, \gamma = +4^\circ, 0 - \alpha = +30^\circ, \gamma = -12^\circ, \bullet - \alpha = +30^\circ, \gamma = 0^\circ$

Л и т е р а т у р а

1. Ахмедов Р.Б. Дутьевые газогорелочные устройства. - М.: Недра, 1970. - 316 с.
2. Спиридонов Ю.А. и др. О смещении системы струй в поперечном ограниченном потоке. - Изв. вузов СССР. Энергетика, 1976, № 3, с. 14-17.
3. Спиридонов Ю.А. К расчету теплоэнергетических устройств, реализующих способ смещения на хордальных струях. - Изв. вузов СССР. Энергетика, 1978, № 6, с. 67-73.
4. Поляцкин М.А., Афросимова В.Н. Исследование смесеобразования в модели цилиндрической периферийной газовой горелки. - Теплоэнергетика, 1963, № 9, с. 22-26.
5. Спиридонов Ю.А. Исследование гидравлического сопротивления системы сносимых струй в канале. - Изв. вузов СССР. Энергетика, 1979, № 6, с. 82-87.
6. Спиридонов Ю.А., Галицкий Ю.Я. Исследование влияния режимных и геометрических параметров камеры смещения на характеристики смесеобразования. - НИИЭнформэнергомаш, 1979, № 49. - 30 с.

УДК 532.527

В.И. Р а с щ у п к и н

ИССЛЕДОВАНИЕ НА МОДЕЛИ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
И ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЯ НА ВХОДЕ В АВИАДВИГАТЕЛЬ

Известно значительное число работ, посвященных исследованию наземного вихря. Наибольший интерес представляют работы [1, 2]. В [1] проведен расчет невязкого течения, выделена "нулевая" линия тока, на которую затем накладывается вихревое течение с заданным распределением окружной скорости, введен безразмерный параметр - число Россби: $R_o = U_o / (\omega d)$ где U_o - скорость на входе в воздухозаборник двигателя, $\omega = \partial v_c / \partial y$, v_c - скорость ветра, d - диаметр входного сечения воздухозаборника. Число Россби определяет условия возникновения вихря. В [2] определена максимальная высота входа над поверхностью земли, на которой образуется вихрь, и ее зависимость от скорости ветра.

Эксперименты проводились на модели в аэродинамической трубе замкнутого типа с открытой рабочей частью (рис. 1). Схема модели воздухозаборника показана на рис. 2.

Изменение скорости во входном сечении воздухозаборника (рис. 2, а) и внутри канала на расстоянии 50 мм от входного сечения (рис. 2, б) про-