

В. ЗЛОБИН, Ю. ИВАНОВ

## ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ ОДНОРЯДНОЙ СИСТЕМЫ КРУГЛЫХ СТРУЙ, РАЗВИВАЮЩИХСЯ В ОГРАНИЧЕННОМ ПОПЕРЕЧНОМ ПОТОКЕ

При расчете газовых горелок и камер смешения по методу, изложенному в [1], необходимо знать глубину проникновения системы струй в сносящий поток. Широко применяемая в настоящее время формула имеет вид

$$\bar{h}_* = k_s \sqrt{q_\mu}, \quad (1)$$

где  $\bar{h}_*$  — глубина проникновения системы струй в равномерный поток в калибрах начального диаметра струй и  $q_\mu$  — гидродинамический параметр. Коэффициент пропорциональности  $k_s$  в этой формуле для системы круглых струй зависит от относительного шага между струями [1]. Необходимость учета различных факторов, встречающихся в практике (ограниченность потока, вид подачи), дала толчок к появлению различных модификаций этой формулы, зачастую недостаточно обоснованных.

Представляет интерес получить аналитические формулы для глубины проникновения однорядной системы струй в ограниченный поперечный поток при наиболее часто употребляемых способах раздачи струй. Одна из попыток в этом направлении была предпринята в работе [2]. Принимая, что закономерности изменения параметров в поперечной струе остаются теми же, что и для свободной струи (в частности, коэффициент эжекции струей вещества окружающего потока), автор упомянутой работы пришел к выводу, что глубина проникновения для системы периферийных струй должна описываться уравнением вида (1). Однако в ряде работ экспериментально доказано, что характеристики поперечной струи значительно отличаются от аналогичных характеристик свободной струи и, что особенно важно, вид функциональной зависимости, в частности и для коэффициента эжекции, не сохраняется. Поэтому выводы, полученные на основании подобных предположений, сомнительны.

Ниже формулы для глубины проникновения выведены из уравнений траекторий осей струй, полученных в работе [3]. Траектория однорядной системы струй, вытекающих из круглых отверстий в тонкой стенке, для не очень малых значений относительного шага  $\bar{s}_0$  описывается уравнениями:

$$\bar{x}_0 = k\bar{y}_0^3 / q_{\mu c}^{1,2} (1 + 2,4\bar{y}_0^2 / q_{\mu c}^{0,4} \bar{s}_0^2 + 18,3\bar{y}_0^4 / q_{\mu c}^{0,4} \bar{s}_0^2 \bar{D}_0^2) \quad (2)$$

при периферийной подаче и

$$\bar{x}_0 = k\bar{y}_0^3 / q_{\mu c}^{1,2} \cdot [1 + 0,20(n-1)^2 / q_{\mu c}^{0,4}] \quad (3)$$

при центральной подаче.

Здесь и далее  $k = 0,5$  при  $q_{\mu c} = 3 \div 36$  и  $k = 0,4$  при  $q_{\mu c} > 36$ , где  $q_{\mu c}$  — гидродинамический параметр по смеси, вычисляемый по максимальной скорости истечения струи  $V_{2\mu}$  в устье и параметрам потока после смешения — плотности  $\rho_c$  и скорости  $V_c$ :

$$q_{\mu c} = \rho_2 V_{2\mu}^2 / \rho_c V_c^2, \quad (4)$$

$\bar{x}_a, \bar{y}_a$  — координаты струи, отсчитываемые от полюса струи;  $\bar{s}_a$  — относительный шаг между струями;  $\bar{D}_a$  — относительный диаметр канала (все эти величины рассчитываются в калибрах эффективного диаметра  $\bar{d}_a = \sqrt{\mu} d$ );  $n$  — число струй, размещенных равномерно по периферии центрального коллектора. Имеется простая связь между координатами \*  $\bar{x}_a, \bar{y}_a$  и  $\bar{x}_{*a}, \bar{y}_{*a}$ :

$$\bar{x}_a = \bar{x}_{*a}; \quad \bar{y}_a = \bar{y}_{*a} + 0,5q_{\mu c}^{0,2}. \quad (5)$$

Остальные обозначения приведены в [3].

В работе [4] отмечено, что когда ось плоской или веерной струи, развивающейся в ограниченном сносящем потоке, образует некоторый достаточно малый угол наклона с направлением сносящего потока, то траектории выполаживаются по потоку и в дальнейшем, естественно, сохраняют это направление. Изучение экспериментальных данных [5] показывает, что то же самое характерно и для системы круглых струй, развивающихся в ограниченном потоке. Это явление наблюдается и в случае системы струй с малым шагом, развивающихся в свободном поперечном потоке [1].

Этот угол хотя и не остается строго постоянным, но изменяется в небольших пределах и в среднем составляет  $\sim 9,5^\circ$ .

Дифференцируя (2) по  $\bar{y}_a$  и полагая  $d\bar{x}_a/d\bar{y}_a = 6$ , получаем в неявном виде уравнение глубины проникновения системы струй при периферийной подаче:

$$k\bar{h}_a^2 / 2q_{\mu c}^{1,2} (1 + 4\bar{h}_a^2 / q_{\mu c}^{0,4} \bar{s}_a^2 + 42,6\bar{h}_a^4 / q_{\mu c}^{0,4} \bar{s}_a^2 \bar{D}_a^2) = 1. \quad (6)$$

Сопоставление расчета по формуле (6) с экспериментальными данными работы [5], полученными при измерениях температурной оси однорядной системы круглых периферийных струй при малом начальном перегреве, приведено на рис. 1. Струи развивались в поперечном потоке, протекавшем по каналу диаметром рабочей части 0,25 м. По оси абсцисс отложено расчетное значение глубины проникновения, по оси ординат — максимальная глубина проникновения по измерениям.

При  $\bar{D}_a \rightarrow \infty$  уравнение (6) определяет глубину проникновения однорядной системы струй, расположенных горизонтально в ряд. В этом случае решение можно получить в явном виде:

$$\bar{h}_{*a} = 0,5q_{\mu c}^{0,2} \left( 0,707\bar{s}_a \sqrt{\sqrt{1 + 32q_{\mu c}^{0,8} / k\bar{s}_a^2} - 1} - 1 \right). \quad (7)$$

Приведенное на рис. 2 сопоставление расчета по формуле (7) с экспериментальными данными работы [1] и расчетной формулой (1) показывает, что (7) несколько лучше аппроксимирует экспериментальные данные (точки), чем (1). Для приближенного определения глубины

\*  $\bar{x}_{*a}, \bar{y}_{*a}$  — координаты струи, отсчитываемые от центра отверстия.

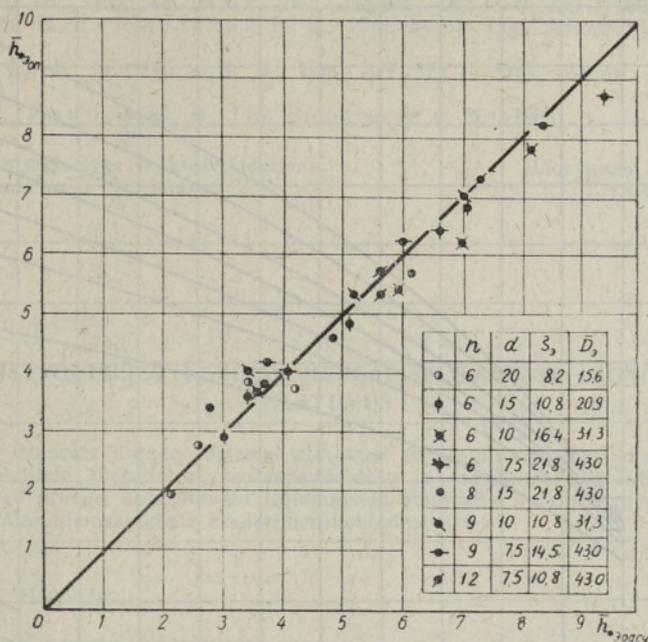


Рис. 1. Сопоставление расчета глубины проникновения системы периферийных круглых струй по формуле (7) с экспериментом [5].

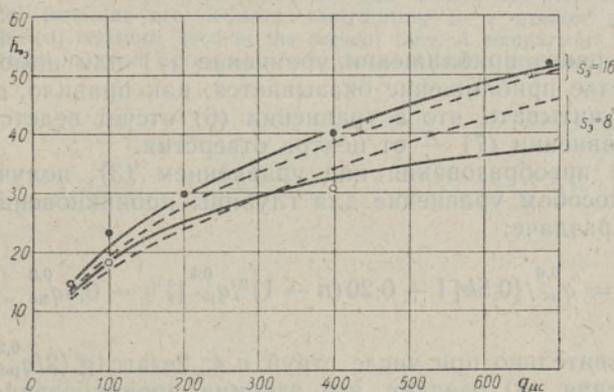


Рис. 2. Сопоставление расчета глубины проникновения системы струй, расположенных горизонтально, с экспериментом [1]:

— расчет по формуле (7); --- расчет по формуле (1).

проникновения в газовых горелках при относительном диаметре  $\bar{D}_3 = 40 \div 100$ , а также для расчета острого дутья в топках паровых котлов можно применять формулу (1), как более простую и широко известную; для более точного расчета рекомендуется формула (7).

С целью упрощения расчетов составлена номограмма (рис. 3) по уравнению (7). В тех случаях, когда влиянием  $\bar{D}_3$  пренебречь нельзя, необходимо пользоваться непосредственно уравнением (6). Проще всего его можно решать методом последовательных приближений, используя

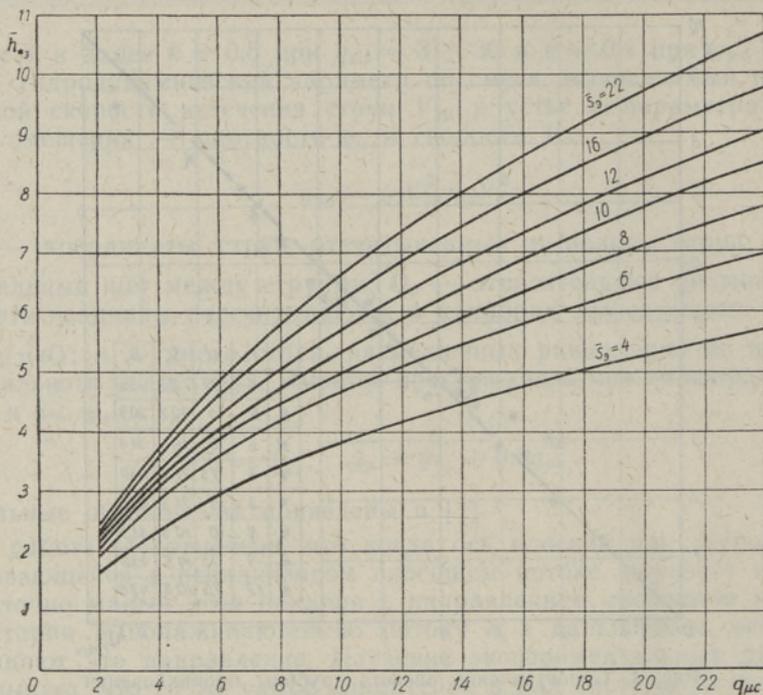


Рис. 3. Номограмма для расчета глубины проникновения однорядной системы струй, расположенных горизонтально в ряд.

в качестве первого приближения уравнение (7) или номограмму, при этом уже третье приближение оказывается, как правило, достаточным. Необходимо учитывать, что в уравнении (6) отсчет ведется от полюса струи, а в уравнении (7) — от центра отверстия.

Произведя преобразования над уравнением (3), получаем описанным выше способом уравнение для глубины проникновения струй при центральной раздаче:

$$\bar{h}_{*3} = q_{\mu c}^{0,6} / \{0,5k[1 + 0,20(n-1)^2/q_{\mu c}^{0,4}]\}^{1/2} - 0,5q_{\mu c}^{0,2}, \quad (8)$$

которое действительно при числе струй  $n < 2\pi/\arctg(2/q_{\mu c}^{0,2})$ .

Из уравнения (8) следует, что глубина проникновения струй при центральной подаче уменьшается обратно пропорционально  $(n-1)$ , что качественно согласуется с результатами, полученными в работе [6].

Из предыдущего можно видеть, что формулы (6) — (8) удовлетворительно соответствуют экспериментальным данным и могут применяться для определения глубины проникновения однорядной системы струй в поток при различных способах раздачи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Ю. В., Основы расчета и проектирования газовых горелок, Л., Гостоптехиздат, 1963.
2. Привалова К. А., Исследование, расчет и применение прямооточных периферийных газовых горелок, сб. Теория и практика сжигания газа, Л., «Недра», 1964.

3. Злобин В. В., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., 18, № 2, 230 (1969).
4. Костерин В. А., Ржевский Е. В., Изв. вузов, Сер. Авиац. техн., № 1, 112 (1964).
5. Иванов Ю. В., Злобин В. В., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., 17, № 4, 433 (1968).
6. Суй Х. Н., Иванов Ю. В., Газ. пром-сть, № 2, 26 (1968).

Институт термofизики и электрофизики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
12/V 1968

V. ZLOBIN, J. IVANOV

## PIIRATUD RISTVOOLUSES LEVIVA ÜHEREALISE ÜMARATE JUGADE SÜSTEEMI ULATUVUS

Üherealise ümarate jugade süsteemi ulatuvuse määramise küsimusi vaadeldakse lähedes gaasipõletitele tüüpilistest jaotamisviisidest ja esitatakse analüütilised valemid, mis täpsustavad praegu kasutatavaid ligikaudseid empiirilisi valemeid. Esitatud valemid on heas kooskõlas olemasolevate eksperimentaalandmetega.

V. ZLOBIN, J. IVANOV

## THE DEPTH OF PENETRATION OF ONE-ROW ROUND JETS SYSTEM DEVELOPING IN A LIMITED CROSS-WIND

The problem of calculating of a one-row jet systems depth of penetration in the cross-wind with the conditions most typical for gas burners has been considered in the article. Analytical formulae are deduced, contributing to a greater precision of the approximate empirical relations used at the present time. A comparison with well-known experimental data is in good agreement with the calculation proposed.