

Расхождение опытных значений θ_{\max} и $\alpha_{\theta_{\max}}$, вычисленных соответственно по выражениям (3) и (4), не превышает $\pm 12\%$ для θ_{\max} и $\pm 30\%$ для $\alpha_{\theta_{\max}}$.

Уравнения (3), (4) справедливы в следующем пределах изменения переменных:

$$Re_{\text{ц}} = 5,85 - 25000; \quad Fr_{\text{ц}} = 6,12 \cdot 10^{-3} - 63,8 \cdot 10^{-3};$$

$$\frac{D}{r_{\text{м}}} = 3 - 5; \quad \frac{b}{r_{\text{м}}} = 0,1 - 0,4; \quad \frac{L}{r_{\text{м}}} = 3 - 8,33;$$

$$\frac{d_{\text{в}}}{r_{\text{м}}} = 0,095 - 0,417; \quad \frac{H_{\text{о}}}{r_{\text{м}}} = 0,5 - 4,66.$$

В ы в о д

Приведенные результаты исследования могут быть использованы для инженерных расчетов при проектировании аппаратов с несимметричными шарнирно закрепленными мешалками.

Л и т е р а т у р а

1. Бортников И.И., Павлечко В.Н., Павлушенко И.С. О работе аппарата с несимметричными шарнирно закрепленными мешалками. - В сб.: Химия и химическая технология, вып.7, Минск, 1974, с. 165 - 170.

УДК 532.526:532.542

Л.М. Хотин, А.И. Ершов (канд.техн.наук),
И.М. Плехов (канд.техн.наук)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ТРЕНИЯ В ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ

Определение локального трения необходимо для создания надежных методов расчета течения на начальных участках труб и контактных элементов, применяемых в тепло- и массообменной аппаратуре. Известно несколько способов определения поверхностного трения [1, 2], основанных на его непосредст-

венном измерении (плавающий элемент, измерение крутящего момента), на свойствах пограничного слоя (датчики Стантона и Престона), на применении электрохимического метода и др. В настоящей работе сделана попытка применить датчик Престона для исследования потока с закруткой на входном участке.

Авторы работы [2] отмечают, что отклонение трубки полного напора, лежащей на стенке, от направления вектора скорости на угол $\pm 5^\circ$ практически не влияет на ее показания. Для ориентации трубки Пито в закрученном потоке предварительно определялся угол движения потока вблизи стенки с помощью двухканального датчика со скошенными кромками [6]. Однако данный метод дает хорошие результаты только в том случае, когда трубка Пито целиком расположена в той области пограничного слоя, где существует логарифмический профиль скорости, т.е. когда условия течения определяются величинами τ_0 , ρ , ν и характерной длиной. При этом величина локального касательного напряжения связана с разностью полного и статического давлений, измеренных на стенке, следующей функциональной зависимостью [1]:

$$\frac{(P - p_{ст})d^2}{\rho \nu^2} = F \left(\frac{\tau_0 d^2}{\rho \nu^2} \right), \quad (1)$$

где P - показания трубки полного напора, Н/м^2 ; $p_{ст}$ - статическое давление на стенке, Н/м^2 ; τ_0 - напряжение поверхностного трения на стенке, Н/м^2 ; d - диаметр трубки полного напора, м; ρ и ν - плотность и коэффициент кинематической вязкости среды, кг/м^3 , $\text{м}^2/\text{с}$.

При тарировке датчиков в прямолинейном потоке в аэродинамической трубе Престоном было получено следующее выражение для этой зависимости:

$$\lg \tau^+ = -1,396 + 0,875 \lg P^+, \quad (2)$$

а авторами работы [2]:

$$\lg \tau^+ = -1,306 + 0,863 \lg P^+, \quad (3)$$

где $\tau^+ = \frac{\tau_0 d^2}{4\rho\nu^2}$ и $P^+ = \frac{(P - p_{ст})d^2}{4\rho\nu^2}$.

Отношение диаметра $\frac{d_{\text{вн}}}{d}$ трубки Пито не входит в уравнение (1), так как оно не влияет на P^+ [3].

Экспериментальные исследования проводились в трубе диаметром $D = 32$ мм длиной $L = 20D$, выполненной из оргстекла. На входном участке устанавливались статические лопастные завихрители с углом наклона лопаток 20, 30 и 40°, средняя скорость воздуха изменялась в диапазоне 15–30 м/с. Измерения трения, профилей скоростей и давлений проводились в пяти сечениях по длине трубы. С учетом вышеизложенного диаметр трубки Пито, плотно прижатой к стенке, был выбран равным 0,65 мм, диаметр отверстий для измерения статического давления равнялся 0,8 мм. Величина $P - P_{\text{ст}}$ определялась по дифманометру МКВ-250-0,02 с точностью до 0,01 мм вод.ст., затем по уравнениям (2) и (3) рассчитывались локальные значения τ . Далее по методу наименьших квадратов определялась зависимость $\tau = f[L]$, после интегрирования которой была получена средняя величина касательного напряжения τ на всей длине трубы.

Величину τ можно также получить из баланса сил в осевом направлении и баланса моментов, приложенных к контрольному объему между двумя сечениями по следующим уравнениям:

$$2\pi\rho\int_0^R u_I^2 r dr + 2\pi\int_0^R p_{\text{ст}I} r dr = 2\pi\rho\int_0^R u_{II}^2 r dr + 2\pi\int_0^R p_{\text{ст}II} r dr + \tau_x \cdot 2\pi r L, \quad (4)$$

где w и u – тангенциальная и осевая скорости, м/с;

$$2\pi\rho\int_0^R u_I w_I r^2 dr = 2\pi\rho\int_0^R u_{II} w_{II} r^2 dr + \tau_\varphi \cdot 2\pi R^2 L, \quad (5)$$

где τ_x и τ_φ – осевая и тангенциальная составляющие среднего касательного напряжения на стенке трубы, Н/м².

Профили скоростей и статического давления были взяты в первом сечении ($L = 0$) и в последнем ($L = 20D$). Полученные значения τ с точностью до 5÷8% совпали с величиной среднего трения, рассчитанного по уравнению (3). На рис. 1 показана зависимость коэффициента сопротивления

$c_f = \frac{\tau_0}{0,5 \rho V^2}$ от критерия крутки m , где V — полная скорость на расстоянии $\frac{r}{R} = 0,9$. Там же штриховыми линиями нанесены опытные данные из работы [4]. За критерий крутки принято отношение углового импульса потока к аксиальному импульсу потока, умноженному на радиус трубы:

$$m = \frac{2\pi \rho \int_0^R u w r^2 dr}{2\pi \rho \int_0^R u^2 r dr \cdot R} \quad (6)$$

Как видно из рис. 1, соответствие полученных значений локального трения литературным данным удовлетворительное. При этом следует учесть, что закрутка потока [4] осуществлялась с помощью тангенциально расположенных направляющих лопаток.

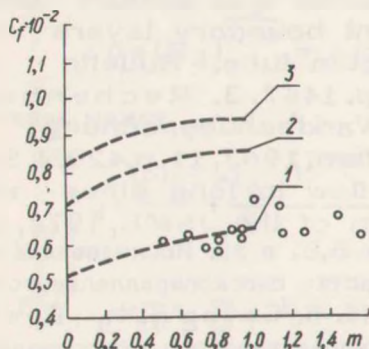


Рис. 1. Изменение коэффициента сопротивления C_f от критерия крутки m : \circ — полученные экспериментальные данные; --- — результаты работы [6] при различной шероховатости трубы: 1 — $\frac{K}{D} = 1,0 \cdot 10^{-5}$; 2 — $1,3 \cdot 10^{-3}$; 3 — $2,5 \cdot 10^{-3}$

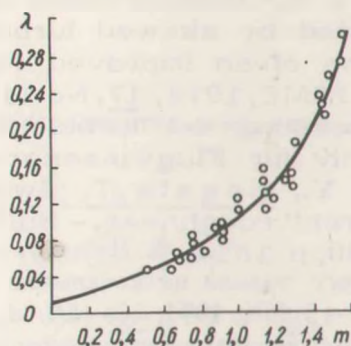


Рис. 2. Изменение коэффициента сопротивления λ в зависимости от критерия крутки m : \circ — полученные экспериментальные данные; — — кривая по уравнению (7).

В инженерной практике более удобно рассчитывать коэффициент трения по средней расходной скорости газа. На рис. 2 нанесены значения коэффициента сопротивления $\lambda =$

$$= \frac{8 \tau_0}{\rho U_{cp}^2} \quad \text{в зависимости от параметра } m. \text{ Эти опытные}$$

данные с точностью до 2% аппроксимируются следующим выражением:

$$\lambda = \lambda_{ос} (1 + 11m - 10m^2 + 8,8m^3). \quad (7)$$

Из рис. 2 видно, что при сильной закрутке потока λ может более чем на порядок превышать коэффициент сопротивления турбулентного осевого потока $\lambda_{ос}$.

В ы в о д

Методика определения локального трения, предложенная Престоном для полностью развитой области прямолинейного течения, может быть использована в закрученном потоке.

Л и т е р а т у р а

1. Preston J.H. The determination of turbulent skin friction by means of pitot tubes.- J.Roy. Aeron. Soc., 1954, 58, p.109. 2. Nishi M., Senoo Y., Terazono M. Measurement of local wall friction force exerted by skewed turbulent boundary layers by means of an improved Preston tube.- Bulletin of the JSME, 1974, 17, No 118, p.1447. 3. Rechenberg J. Messung der turbulent Wandschubspannung. - Archiv für Flugwissenschaften, 1963, 11, p.429. 4. Senoo Y., Nagata T. Swirl flow in long pipes with different roughness.- Bulletin of the JSME, 1972, 15, No. 90, p.1514. 5. Накоряков В.Е. и др. Исследование локального трения на начальном участке плоскопараллельного канала. - ИФЖ, 1971, 20, №6, с. 1015. 6. Собин В.М., Ершов А.И. Исследование структуры и гидравлического сопротивления турбулентного закрученного потока в коротких трубах. - "Изв. АН БССР. Сер. физ.-энергетич. наук", 1972, №3, с. 56.

УДК 66.067:65.018.2

А. А. Гриченко (доцент)

УРАВНЕНИЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРИ ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТИ

Существующие уравнения фильтрации при постоянной скорости [1] принципиально точно описывают этот процесс в случае несжимаемых осадков или когда сопротивлением