

УДК 532.516

А.А.Халатов

ПРИБЛИЖЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТНОГО ТРЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАКРУТКИ  
В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

$\Phi_* = \frac{M}{KR}$  - интенсивность закрутки потока в произвольном сечении канала;  $M, K$  - момент и продольное количество движения;  $R$  - радиус канала;  $r, x, \varphi$  - цилиндрические координаты;  $\bar{x} = \frac{x}{2R}$ ;  $y$  - расстояние от поверхности канала;  $w_\Sigma$  - суммарная скорость потока;  $\tau_{\Sigma w}$  - суммарное касательное напряжение трения на стенке канала;  $\tau_{xw}, \tau_{\varphi w}$  - касательные напряжения трения на стенке канала в направлениях  $x, \varphi$ ;  $\varphi_\Sigma = w_\Sigma / w_x$ ,  $\eta_\Sigma = w_* \frac{y}{\nu}$  - универсальные координаты;  $\rho, \nu$  - плотность и кинематическая вязкость потока;  $\varphi_n$  - угол закрутки лопаток завихрителя при  $r=R$ ;  $n$  - показатель интенсивности закрутки лопаток завихрителя  $(\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \varphi_n \frac{R^n}{r^n})$ .

Экспериментальное определение поверхностного трения и интенсивности закрутки потока представляет большой интерес при исследовании гидромеханики внутренних закрученных течений. В некоторых случаях эти характеристики достаточно просто и надежно определять, используя количественные закономерности, выявленные в экспериментах.

В настоящей статье рассматривается экспериментальный метод определения поверхностных касательных напряжений трения и интегрального параметра закрутки  $\Phi_*$  [1], основанный на измерении про-

филя суммарной скорости в области пристенного течения. По своему принципу он аналогичен методу Клаузера, широко используемому при исследовании осевых потоков.

В работе [1] получено выражение для универсального профиля суммарной скорости в пристенной области цилиндрического канала. В дальнейшем автором было выполнено дополнительное исследование в более широком интервале изменения определяющих параметров. В результате получено выражение

$$\varphi_{\Sigma} = \left[ 5,5 + 4,65 (\Phi_* - 0,07)^{0,26} \right] + \left[ 5,75 - 3,36 (\Phi_* - 0,07)^{0,3} \right] \lg \eta_{\Sigma}, \quad (1)$$

которое можно использовать в диапазоне  $\Phi_* = 0,07 - 1,3$ .

Преобразование (1) позволяет записать уравнение

$$w_{\Sigma} = \alpha + \beta \lg y, \quad (2)$$

где  $\alpha = w_* \left( A + B \cdot \lg \frac{w_*}{y} \right)$ ;  $\beta = B w_*$ ;  $A = 5,5 + 4,65 (\Phi_* - 0,07)^{0,26}$ ;

$$B = 5,75 - 3,36 (\Phi_* - 0,07)^{0,3}; \quad w_* = \sqrt{\tau_{\Sigma w} / \rho}.$$

Анализ уравнения (2) приводит к заключению, что в координатах  $(w_{\Sigma}, \lg y)$  изменение суммарной скорости в пристенной области подчиняется линейной зависимости. Обработывая экспериментальные данные указанным способом, можно определить численные значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$ . Тогда искомые параметры найдутся из системы уравнений

$$w_* \left( A + B \cdot \lg \frac{w_*}{y} \right) = \alpha; \quad (3)$$

$$B w_* = \beta, \quad (3a)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  - числа. Уравнение (3) с учетом (3a) записывается следующим образом:

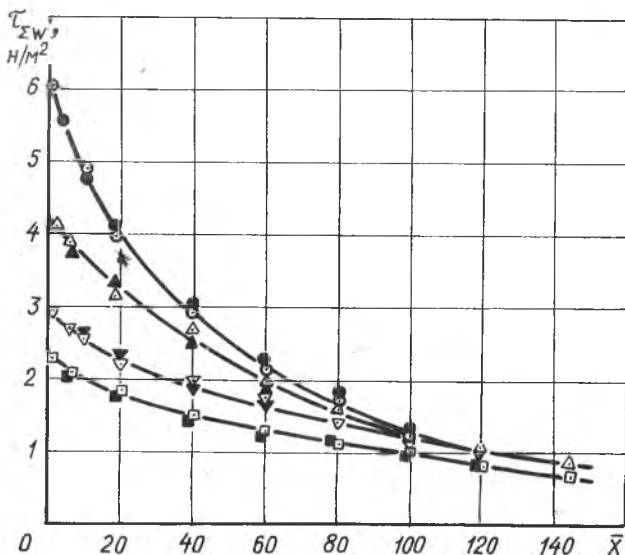
$$\frac{A}{B} + \lg \frac{\beta}{B y} = \frac{\alpha}{\beta}. \quad (4)$$

Левая часть равенства (4) зависит только от параметра  $\Phi_*$ , а правая - является константой. Таким образом, при известных значениях  $\alpha$  и  $\beta$  значение  $\Phi_*$  может быть найдено из уравнения (4) любым приближенным методом. После этого из уравнения (3a) определяется величина  $w_*$ .

Касательные напряжения трения в осевом и тангенциальном направлениях вычисляются из уравнений

$$\tau_{xw} = \tau_{zw} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_w)^{-0,5}, \quad \tau_{\varphi_w} = \tau_{zw} \operatorname{tg} \varphi_w (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_w)^{-0,5},$$

причем для определения угла закрутки потока в пристенной области рекомендуется универсальная связь  $\operatorname{tg} \varphi_w = 1,2 \Phi_*^{0,78}$ , полученная автором обобщением опытных данных работы [1].



Р и с. 1. Сравнение результатов опытного определения поверхностного трения в закрученном потоке при  $Re_n = 10^5$  для завихрителей с разными углами закрутки и  $n = 3$ :  $\circ$ - $\Delta$ - $\nabla$ - $\square$  соответствуют  $\varphi_n = 60; 45; 30; 15^\circ$  (метод теорем Эйлера [2]);  $\bullet$ - $\blacktriangle$ - $\blacktriangledown$ - $\blacksquare$  соответствуют  $\varphi_n = 60; 45; 30; 15^\circ$  (предлагаемый метод)

Сравнение экспериментальных данных, рассчитанных по предлагаемому в настоящей работе методу, и результатов работы [2], в которой поверхностное трение определялось по теоремам Эйлера, приводится на рис. 1. Согласование этих результатов следует признать удовлетворительным.

## Л и т е р а т у р а

1. Халатов А.А., Щукин В.К., Летягин В.Г. Локальные и интегральные параметры закрученного течения в длинной трубе. - Инженерно-физический журнал, 33, 1977, № 2, с. 224-232.
2. Халатов А.А., Щукин В.К., Кожевников А.В. Закон трения и формпараметры закрученного течения в цилиндрическом канале. - Изв. вузов. Авиационная техника, 1977, № 3, с. 98-105.

УДК 532.551

В.В.Найденко, В.В.Жизняков

### НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКОВ С ЗАКРУТКОЙ НА ВХОДЕ

#### П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

$D, R$  - диаметр и радиус трубопровода;  $\bar{z} = z/D$  - относительная длина трубопровода;  $Re_d = U_0 D / \nu$  - число Рейнольдса;  $\theta = M / KR$  - параметр крутки;  $M = 2\pi \int_0^R \rho U_z U_\varphi r^2 dr$  - момент количества движения;  $K = 2\pi \int_0^R \rho U_z^2 r dr$  - количество движения;  $\gamma, \rho$  - удельный вес и плотность;  $U_z = \sqrt{U_z^2 + U_\varphi^2 + U_r^2}$  - суммарная (полная) скорость;  $U_z, U_\varphi, U_r$  - аксиальная, тангенциальная и радиальная составляющая вектора скорости;  $r$  - текущий радиус;  $U_0 = 4Q / \pi D^2$  - среднерасходная скорость;  $Q$  - объемный расход;  $\nu$  - кинематическая вязкость;  $E = 2\pi \int_0^R (\rho + \rho U_z^2 / 2) U_z r dr$  - энергия;  $p$  - статическое давление;  $H = E / \gamma Q$  - гидродинамический напор;  $r_{o.m}$  - радиус зоны обратного тока жидкости;  $\omega = \pi n / 30$  - угловая скорость;

$$\bar{\theta} = \frac{\theta}{\theta_{\beta x}}; \bar{M} = \frac{M}{M_{\beta x}}; \bar{E} = \frac{E}{E_{\beta x}}; \bar{H} = \frac{H}{H_{\beta x}};$$

$$\bar{U}_z = \frac{U_z}{U_0}; \bar{U}_\varphi = \frac{U_\varphi}{U_0}; \bar{r}_{\varphi \max} = \frac{r_{\varphi \max}}{R}; \bar{r}_{o.m} = \frac{r_{o.m}}{R}.$$

#### И н д е к с ы

$\beta x$  - условия на входе;  $\max$  - максимальное значение;  $w$  - условия на стенке.