

Секция Ш

ГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛООБМЕН  
ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ

В.В. Кузьмин, Ю.А. Пустовойт, А.В. Фафурин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИСТЕНОЧНОГО ТРЕНИЯ  
ПРИ ДВИЖЕНИИ ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА  
В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ

Важнейшей гидродинамической характеристикой всякого рода потоков, определяющей энергетические затраты при их практическом использовании, является пристеночное трение.

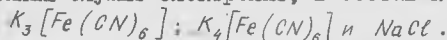
Экспериментальное исследование пристеночного трения в цилиндрическом канале проводилось на гидродинамической установке замкнутого типа. Рабочим участком служили труба из оргстекла внутренним диаметром 0,05 м и длиной 6 м. В стенку трубы вмонтированы датчики из платиновой проволоки диаметром 0,0004 м, используемые для определения касательного напряжения. Для закрутки потока использовались три завихрителя с конструктивными углами выходных кромок лопаток  $\gamma_k = 30^\circ, 45^\circ$  и  $60^\circ$ . Лопатки завихрителей спроектированы по дуге окружности с постоянным углом выходной кромки по длине. Измерения проводились в диапазоне изменения  $Re$  от 100 000 до 180 000.

Гидравлическое испытание рабочего участка показало, что испытуемый канал в указанном диапазоне критерия  $Re$  обладает гидравлически гладкими свойствами.

Для определения пристеночного трения применен электрохимический метод. Одной из существенных особенностей этого метода является то, что датчик-катод монтируется в стенку канала заподлицо и не вносит возмущений в поток, не искажает его структуру.

В качестве рабочей жидкости при электрохимическом методе ис-

следований служит электролит; в состав которого входят соли



Сущность этого метода состоит в следующем: электролитическая ячейка, состоящая из платинового микроэлектрода и платинового или никелевого электрода, имеет поляризационную кривую характерной ступенчатой формы [1]. В режиме концентрационной поляризации ток, проходящий через ячейку, практически не зависит от напряжения и называется предельным диффузионным током. На величину предельного тока влияет изменение концентрации электролита и его температуры, ток заметно возрастает при возникновении движения раствора относительно микроэлектрода.

Предельный ток определяется процессами не во всем объеме жидкости, заполняющей ячейку, а в очень тонком приэлектродном слое. При достаточно малых продольных размерах датчика-электрода толщина диффузионного слоя может находиться в пределах вязкого подслоя, что позволяет по измеренной величине предельного диффузионного тока, находящегося в зависимости от градиента скорости в вязком подслое, определять локальное значение касательного напряжения.

Связь между величиной пристеночного трения  $\tau_w$  и предельным диффузионным током  $J_{пред}$  выражается соотношением [2], [3]:

$$\tau_w = \frac{const \mu L J_{пред}^3}{A^3 F^3 C_0^2 D^2}, \quad (1)$$

где  $\mu$  — коэффициент динамической вязкости;

$L$  — размер датчика-электрода по направлению потока;

$A$  — площадь электрода;

$F$  — постоянная Фарадея;

$C_0$  — концентрация ферроцианида  $K_3[Fe(CN)_6]$ ;

$D$  — коэффициент диффузии.

Если температура и концентрация электролита в течение эксперимента постоянны, то зависимость [1] приобретает вид:

$$\tau_w = C_1 J_{пред}^3; C_1 = \frac{const \mu L}{A^3 F^3 D^2} = const. \quad (2)$$

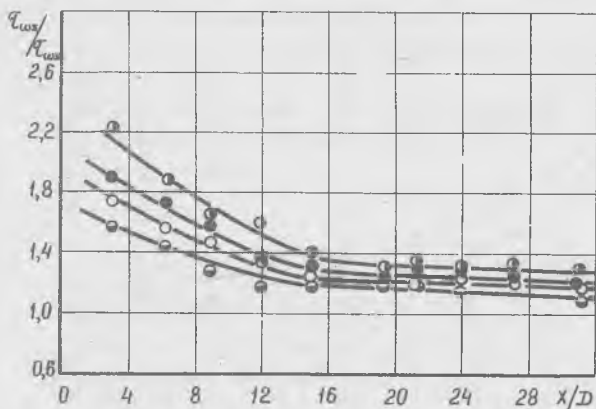
В невозмущенных турбулентных потоках, движущихся по цилиндрическим каналам, трение о стенки  $\tau_{wx}$  может быть найдено расчетным путем. Для этого разработаны достаточно надежные методы, которые исключают необходимость определения абсолютных значений касательных напряжений при исследовании потоков с закруткой  $\tau_{wx}$  и позволяют ограничиться измерением их относительных величин. Измерив предельный диффузионный ток в случае закрученного течения  $J_{предx}$  и в случае невозмущенного осевого течения  $J_{пред0}$  той же электроли-

тической ячейки, можно получить величину относительного пристеночного трения по формуле:

$$\bar{\tau}_{wz} = \frac{\tau_{wz}}{\tau_{wx}} = \frac{J_{пред,z}^3}{J_{пред,x}^3} \quad (3)$$

Погрешность при измерении относительного трения таким методом зависит от точности измерения предельных диффузионных токов и от стабильности температуры электролита. При использовании микроамперметра класса 0,2 и колебании температуры электролита в пределах 0,5°C максимальная суммарная погрешность составила  $\pm 4\%$ .

На рис.1 показана зависимость пристеночного трения от интенсивности закрутки потока на входе в канал.



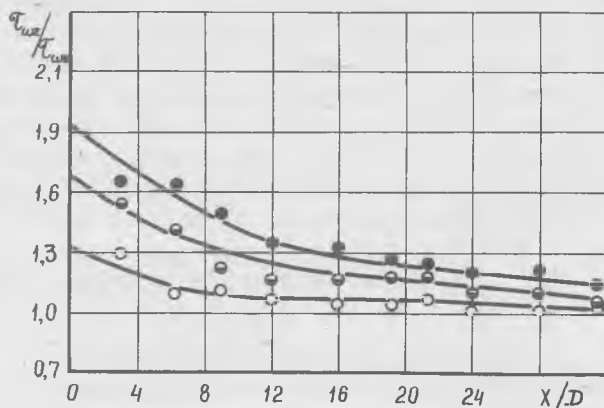
Р и с.1. Влияние степени начальной закрутки потока на трение в цилиндрическом канале при фиксированном  $Re$  при  $\gamma_x = 45^\circ$ :

- —  $R = 1,53 \cdot 10^5$ ;                      ● —  $R = 1,36 \cdot 10^5$ ;
- —  $R = 1,31 \cdot 10^5$ ;                      ● —  $R = 1,03 \cdot 10^5$

Изменение интенсивности закрутки от 30 до 60° вызывает увеличение касательных напряжений (по сравнению со значениями в невозмущенном потоке при  $Re = 103\ 000$  на расстоянии двух диаметров от направляющего аппарата) от 23 до 82%, а на расстоянии 18 диаметров приращение составило соответственно 4 и 27%.

Начальная закрутка одним и тем же направляющим аппаратом увеличивает относительные значения касательных напряжений в различной степени в зависимости от режима течения и удаленности от входа в канал. При закрутке потока лопаточным завихрителем с конструктивным углом выходных кромок лопаток 45° (на расстоянии двух диа-

метров от направляющего аппарата) величина пристеночного трения изменилась относительно своего значения в невозмущенном потоке при  $Re = 103000$  на 54%, при  $Re = 153000$  на 123%. На расстоянии 18 диаметров указанное изменение при тех же условиях составило 19% и 36. При фиксированном режиме течения затухание закрутки приводит к уменьшению относительного трения по длине канала. Величина относительного трения стремится к единице. Расстояние от входа в канал до сечения, в котором величина относительного пристеночного трения становится равной единице, в зависимости от величины критерия  $Re$  и интенсивности закрутки на входе в канал колебалось в пределах 40-60 внутренних диаметров рабочего участка (рис.2).



Р и с. 2. Относительные значения касательных напряжений в цилиндрическом опытном канале при различных режимах течения при  $R = 10,3 \cdot 10^5$ :

—●—  $\gamma_K = 60^\circ$ ; —◐—  $\gamma_K = 45^\circ$ ; —○—  $\gamma_K = 30^\circ$

### Л и т е р а т у р а

1. Лев и ч В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М., Физматгиз, 1959.

2. На кор я ко в В.Е. Исследование локального трения на начальном участке плоско-параллельного канала. ИФМ, т.20, 1971, № 6.

3. По по в В.Г. и др. Об измерении трения в потоке капельной жидкости электрохимическим методом. В сб. "Тепло-массоперенос" т.10, Минск, 1968.