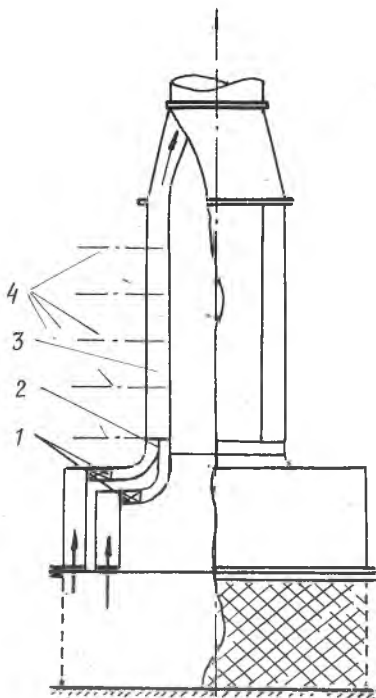


А.А.Свириденков, В.В.Третьяков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
СМЕШЕНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПОТОКОВ

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

$r, \varphi, z$  - цилиндрические координаты;  $r_1$  - радиус внутренней трубы;  $H$  - ширина кольцевого зазора;  $y = (r - r_1)/H$ ;  $V_{cp}$  - среднерасходная скорость;  $V'$  - пульсационная скорость;  $\varphi_1, \varphi_2$  - углы установки лопаток завихрителей во внутреннем и наружном контурах;  $\sigma$  - коэффициент потерь полного давления.



Р и с. 1. Схема экспериментальной установки: 1 - лопаточные завихрители, 2 - разделяющая пластина, 3 - рабочая часть, 4 - места установки зондов

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование смешения в кольцевом канале двух потоков, закрученных в противоположные стороны.

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки. Воздушный поток создавался центробежным вентилятором, установленным на выходе из канала. Закрутка потока осуществлялась тангенциальными завихрителями, лопатки которых могли поворачиваться на углы от  $+75^\circ$  до  $-75^\circ$ . Из завихрителей воздух поступал в радиально-осевые каналы постоянной высоты, в которых происходило ускорение потоков, чтобы уменьшить влияние следов за лопатками на процесс перемешивания, а оттуда - в рабочую часть, которая представляла собой кольцевой канал с внутренним

диаметром 0,22 м, внешним диаметром 0,34 м и длиной 0,5 м. Поток воздуха на входе в канал разделялись обечайкой толщиной 1,2 мм.

Для измерения применялись цилиндрические трехточечные пневмометрические зонды и зонды термоанемометра (термоанемометр УТА-20).

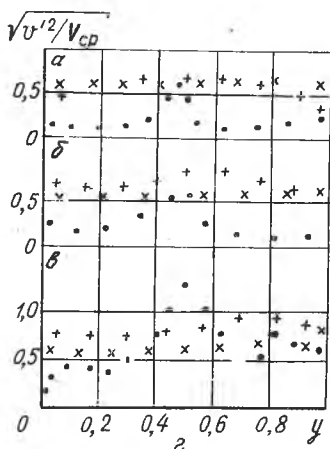
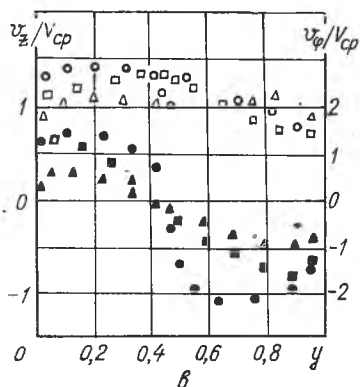
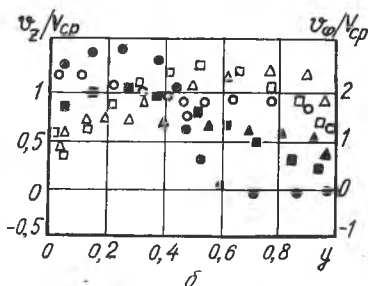
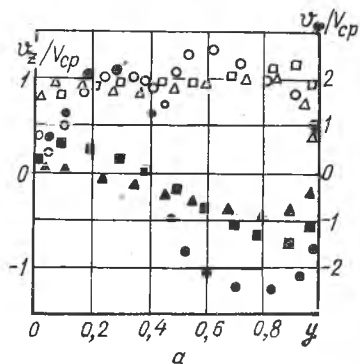
Повторные эксперименты показали хорошую воспроизводимость картины течения. Разброс опытных точек для осевой и тангенциальной составляющих осредненной скорости не превышал 5%. Окружная неравномерность также не превышала 5%.

Было проведено три серии измерений при следующих углах установки лопаток завихрителей во внутреннем и наружном контурах соответственно:  $\varphi_1 = 60^\circ$ ,  $\varphi_2 = -60^\circ$ ,  $\varphi_1 = 60^\circ$ ,  $\varphi_2 = 0^\circ$ ,  $\varphi_1 = 30^\circ$ ,  $\varphi_2 = -60^\circ$ . Среднерасходная скорость в канале при этом составляла от 16 до 24 м/с, что соответствовало числам Рейнольдса, подсчитанным по ширине кольцевого зазора  $H$  от  $6,4 \cdot 10^4$  до  $9,6 \cdot 10^4$ .

На рис. 2 приведены результаты измерений осредненных осевой и тангенциальной компонент скорости, а также пульсационной составляющей в направлении вектора скорости.

Из графиков видно, что затухание тангенциальной составляющей скорости происходит монотонно по длине канала. Вместе с тем происходит выравнивание профилей осевых компонент. Заметим, что смещение в третьем случае ( $\varphi_1 = 30^\circ$ ,  $\varphi_2 = -60^\circ$ ) происходит гораздо медленнее, чем в первом. Из рис. 2, а, в следует, что при закрутке  $60/-60^\circ$  поток становится закрученным в одну сторону на расстоянии  $3,4 H$  от входа, в то время как при  $30/-60^\circ$  такое состояние достигается на длине  $6,5 H$ . Это объясняется усилением турбулентного обмена, что связано с генерацией пульсаций на границе раздела двух потоков за счет градиента тангенциальной скорости. Действительно, на рис. 2, г показано значительно более интенсивное нарастание турбулентных пульсаций в первом случае по сравнению с двумя другими. Отметим, что во всех трех случаях максимальное значение турбулентных пульсаций скорости приблизительно равно 20% от максимальной разности тангенциальной компоненты. Это несколько больше, чем в незакрученных струйных течениях.

Развитие турбулентности по длине канала также зависит от различных углов установки лопаток завихрителя. Так, при закрутке  $60/-60^\circ$  пульсации скорости достигают своей максимальной величины непосредственно вблизи разделяющей пластины, в то время как при



Р и с. 2. Распределение средних и пульсационных скоростей в канале: а -  $\varphi_1 = 60^\circ$ ,  $\varphi_2 = -60^\circ$ ; б -  $\varphi_1 = 60^\circ$ ,  $\varphi_2 = 0^\circ$ ; в -  $\varphi_1 = 30^\circ$ ,  $\varphi_2 = -60^\circ$ ; о - □ - Δ -  $U_z$ ; ● - ■ - ▲ -  $U_\varphi$ ; + x -  $U'$ ;  $z/H = 0; 1,67; 3,34$

$60/0^\circ$  максимум достигается на расстоянии  $1,7H$ , а  $30/-60^\circ$  -  $2,5H$ . После достижения максимума происходит затухание турбулентности, причем наиболее эффективно оно происходит в первом случае.

Таким образом, закрутка в противоположные стороны приводит к интенсивному перемешиванию потоков.

Отметим, что коэффициент потерь полного давления  $\zeta = \Delta \bar{P}_n / P_*$  ( $\Delta \bar{P}_n$  - среднемассовое значение потерь,  $P_*$  - давление торможения)

ния) при углах закрутки  $60/-60^\circ$  составляет примерно 1,4%, причем основная часть потерь приходится на начальный участок канала. При закрутке  $30/-60^\circ$  потери распределены более равномерно по длине канала, и на расстоянии 6,5 Н коэффициент потерь составляет 0,73%.

УДК 532.542.4

В.В.Третьяков, В.И.Ягодкин

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОТРАВНОГО ЗАКРУЧЕННОГО ТЕЧЕНИЯ  
В КРУГЛОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

$r, \theta, z$  - цилиндрические координаты;  $R_0$  - радиус трубы;  $V_{cp}$  - среднерасходная скорость течения;  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости;  $Ri$  - число Ричардсона;  $Re = V_{cp} R_0 / \nu$  - число Рейнольдса;  $K$  - кинетическая энергия турбулентности единицы объема;  $\epsilon$  - скорость диссипации энергии турбулентности;  $W$  - величина, пропорциональная квадрату частоты турбулентных пульсаций;  $V_*$  - динамическая скорость;  $C_\mu, C_\epsilon, C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}, C_{1w}, C_{2w}, C_{3w}, \beta_k, \beta_\epsilon, \beta_w$  - эмпирические константы;  $\alpha = 0,41$  и  $E = 9,0$  - константы;  $\Delta$  - расстояние от стенки до ближайшего слоя разностной сетки.

И н д е к с ы

$t$  - турбулентный;  $e$  - эффективный;  $вх$  - на входе.

Рассматривается стационарное турбулентное движение несжимаемой жидкости в прямой цилиндрической трубе. Предполагается, что внешние массовые силы отсутствуют, движение является вращательно-симметричным, а молекулярные коэффициенты переноса - постоянными. Система уравнений, описывающая такое течение, имеет следующий вид:

$$\frac{\partial U_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r U_r) = 0;$$

$$\frac{\partial U_r U_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial r U_r^2}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ \nu_e \left( \frac{\partial U_r}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial r} \right) \right] + \frac{2\partial}{r \partial r} \left( r \nu_e \frac{\partial U_r}{\partial r} \right) -$$