

Полученные зависимости позволяют сделать вывод об универсальном характере параметра крутки  $\theta$

### Л и т е р а т у р а

1. П о в х И.Л. Аэродинамика: Руководство к лабораторным работам. - Л.: 1962, с. 62-67.
2. Аэродинамика закрученной струи. Под ред. Р.Б.Ахмедова. - М.: Энергия, 1977, 239 с.

УДК 532.516:532.517.4

В.К.Щукин, А.А.Халатов, А.В.Кожевников,  
В.Г.Летягин

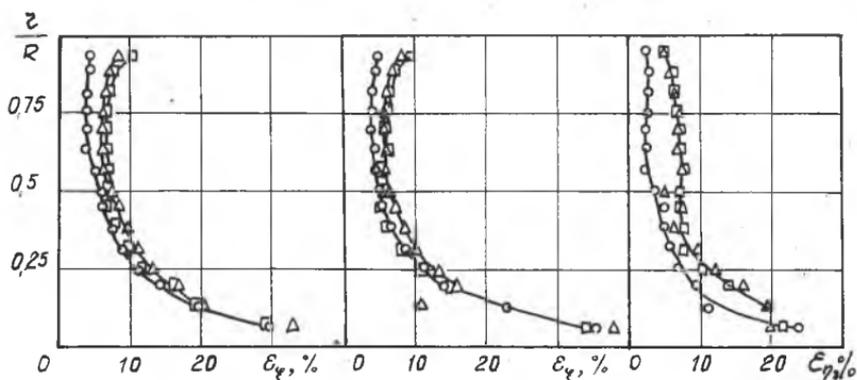
### МИКРОСТРУКТУРА ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В ПРОНИЦАЕМОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию микроструктуры закрученного течения в открытой пористой трубе диаметром 80 мм и длиной 13,75 калибра при однородном вдуве. В качестве основного и вдуваемого газа использовался осушенный и очищенный атмосферный воздух. Исследование проводилось при  $Re_d = 10^5$  в трех сечениях  $\bar{x} = l/R = 3,06; 5,76; 8,46$  по длине трубы и при четырех значениях параметра вдува  $B_* = \frac{(\rho V)w}{\rho_0 w_{kr}} = 0; 0,0033; 0,0066; 0,01$ . Начальная закрутка потока осуществлялась лопаточными завихрителями с центральным телом. Конструктивный угол закрутки лопаток по их высоте изменялся по степенному закону  $tg \varphi = tg \varphi_n \left(\frac{R}{r}\right)^2$  ( $\varphi_n$  - угол закрутки на наружном радиусе). В опытах использовались завихрители, основные параметры которых изменялись в пределах:  $\varphi_n = 45-60^\circ$ ,  $n = 1-3$ . Доводочные испытания показали, что экспериментальный канал удовлетворяет условиям технической гладкости. Измерение полей скоростей и турбулентных характеристик потока проводилось с помощью двух термоанемометров постоянной температуры Т7Н. Степень турбулентности закрученного потока определялась с помощью методики, применяемой в осевых потоках и известной как "метод трех положений нити". При этом сначала определялся угол за-

крутки потока в данной точке, а далее определялись пульсации, направленные по вектору скорости  $W_{\xi}^{12}$  нормально к нему  $W_{\zeta}^{12}$  и радиально  $W_{\eta}^{12}$  в рассматриваемой точке. Значения интенсивности турбулентности подсчитывались по соотношениям

$$\varepsilon_i = \frac{W_i^{12}}{W_{\Sigma}} 100\% \quad (i = \xi, \zeta, \eta).$$

На рис. I представлено распределение степени турбулентности для одного из завихрителей в сечении трубы  $\bar{X} = 8,46$  при различных параметрах вдува  $B_*$ . Аналогичные результаты получены и для других завихрителей.



Р и с. I. Интенсивность турбулентности при различных значениях параметра вдува  $B_*$ : угол закрутки завихрителя  $\varphi_n = 60^\circ$ ,  $n = 3$ ,  $\bar{X} = 8,46$ ,  $\circ - B_* = 0$ ,  $\Delta - B_* = 0,0033$ ,  $\square - B_* = 0,01$

Наиболее сильное влияние вдув оказывает на пристенную область течения, способствуя росту продольной  $\varepsilon_{\xi}$  и поперечной  $\varepsilon_{\zeta}$  составляющих интенсивности пульсаций. Радиальная составляющая  $\varepsilon_{\eta}$  возрастает практически по всему сечению канала по сравнению с непроницаемым каналом. Рост абсолютных значений продольной  $\varepsilon_{\xi}$ , поперечной  $\varepsilon_{\zeta}$  и радиальной  $\varepsilon_{\eta}$  интенсивностей пульсаций объясняется увеличением радиальной составляющей скорости около стенки при подводе дополнительной массы газа за счет вдува. В приосевой области вдув практически не оказывает влияния на уровень турбулентности, который, как и в непроницаемом канале, достигает 30–40%, что согласуется с результатами [1, 2, 3].

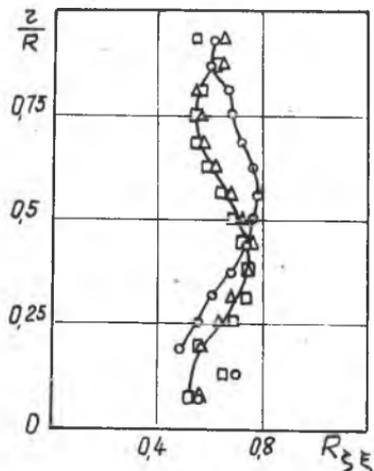
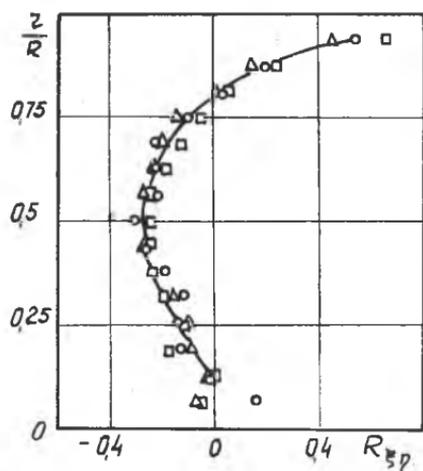
Анализ влияния конструктивных параметров завихрителей на процесс течения позволяет сделать вывод, что при одном и том же значении  $B_*$  изменение угла закрутки  $\varphi_n$  и показателя степени  $n$  практически не сказывается на распределении турбулентных пульсаций, т.е. наблюдается автомодельность турбулентных характеристик по начальным параметрам закрутки.

Сравнивая данные, полученные в настоящей работе, с результатами других авторов [ I-4 ], можно заключить, что в приобетовой области, где вдув практически не оказывает влияния на интенсивность пульсаций, наблюдается качественное и количественное согласование, а в области  $r/R > 0,5$  и особенно вблизи стенки имеется лишь качественное соответствие.

Изменение коэффициентов корреляции  $R_{\xi\eta}$  и  $R_{\xi\xi}$ , подсчитанное по выражениям

$$R_{\xi\eta} = -\frac{W'_x W'_y}{\sqrt{W'^2_x} \sqrt{W'^2_y}}, \quad R_{\xi\xi} = -\frac{W'_x W'_x}{\sqrt{W'^2_x} \sqrt{W'^2_x}},$$

показано на рис. 2. Вблизи стенки они имеют приблизительно одинаковое значение, равное 0,6, хотя характер их изменения по радиусу различен.

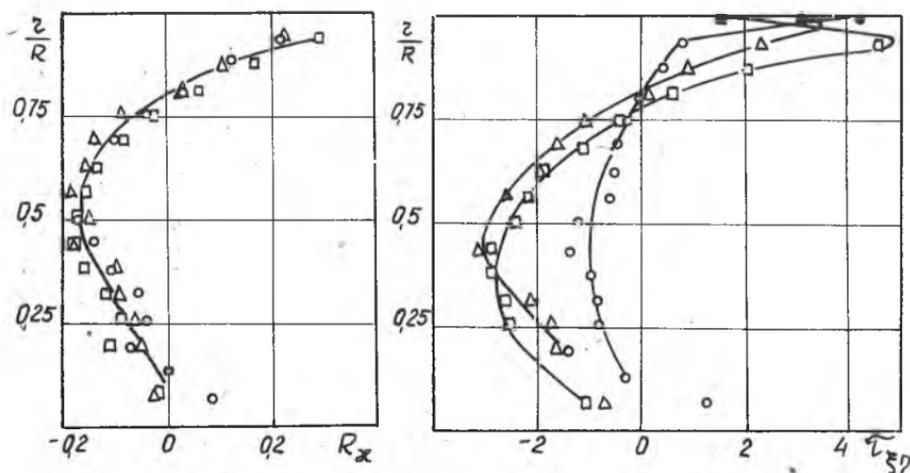


Р и с. 2. Изменение коэффициентов корреляции  $R_{\xi\eta}$  и  $R_{\xi\xi}$  при различных значениях параметра вдува  $B_*$ . См. обозначения на рис. I

На рис. 3 представлено изменение турбулентного касательного напряжения  $\tau_{\xi\eta}$  и коэффициента  $R_{\infty}$ , подсчитанных по выражениям

$$\tau_{\xi\eta} = -\rho \overline{W'_\xi W'_\eta}, \quad R_{\infty} = \frac{\tau_{\xi\eta}}{0,5\rho(W'_\xi{}^2 + W'_\eta{}^2)}$$

Как видно из рис. 3, вдув уменьшает касательное напряжение трения на стенке. Но если при  $V_* = 0$  величина  $\tau_{\xi\eta}$  уменьшается с уменьшением радиуса, то при наличии вдува через стенку вблизи нее  $\tau_{\xi\eta}$  возрастает по кривой с максимумом. При этом заметно, что большее значение вдува приводит к большему росту  $\tau_{\xi\eta}$  вблизи стенки.



Р и с. 3. Изменение касательного напряжения трения  $\tau_{\xi\eta}$  и коэффициента корреляции  $R_{\infty}$  при различных значениях параметра вдува  $V_*$ . См. обозначения на рис. 1

Коэффициент  $R_{\infty}$  изменяется от положительного значения около стенки до отрицательного с минимумом при  $r/R = 0,5$ . С уменьшением радиуса ( $r/R < 0,5$ ) происходит увеличение значений  $R_{\infty}$  по абсолютной величине. Отметим, что в пристенной области  $R_{\infty} = -0,3$ , что согласуется с данными, полученными для непроницаемой трубы.

Как видно из рис. 2, 3, изменение характеристик турбулент-

ности  $R_{\xi\eta}$ ,  $\tau_{\xi\eta}$  и  $R_{\infty}$  по сечению канала происходит со сменой знака и по кривой с минимумом в области отрицательных значений этих характеристик. Такое изменение  $R_{\xi\eta}$ ,  $\tau_{\xi\eta}$ ,  $R_{\infty}$ , а также характер изменения степени турбулентности  $\varepsilon_{\xi}$ ,  $\varepsilon_{\eta}$ ,  $\varepsilon_{\eta}$  указывают на существование областей течения с активным и консервативным воздействием центробежных массовых сил на поток.

### Л и т е р а т у р а

1. Л е т я г и н В.Г., Х а л а т о в А.А., Щ у к и н В.К., К о ж е в н и к о в А.В. Интенсивность турбулентности при течении закрученных потоков в трубах. - Депонирована ВИМИ, рег. № ВМД 02674 (аннотация, сб. Репорт, 1976, № 21)
2. В е с к е Д.Р., С т у р о в Г.Е. Экспериментальное исследование турбулентного закрученного течения в цилиндрической трубе. - Изв. СО АН СССР, вып. 3, 1972, № 13.
3. У с т и м е н к о Б.П., Б у х м а н М.А. Турбулентная структура потока в циклонной камере. - Теплоэнергетика, 1968, № 2.
4. Б у х м а н М.А., У с т и м е н к о Б.П. Исследование осредненных и пульсационных характеристик течения в циклонной камере. - В сб.: Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. - Алма-Ата: Наука, 1969, вып. 6.

УДК 532.525

С.В.Безуглый

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ТЕПЛООБМЕНА  
В ГАЗОВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

$p_k$  - внутрикамерное давление, МПа;  $\alpha$  - коэффициент избытка окислителя;  $\beta_T$  - теоретическое значение расходного комплекса, м/с;  $\beta$  - экспериментальное значение расходного комплекса, м/с;  $Q$  - суммарный тепловой поток, Вт;  $c$  - теплоемкость воды, Дж/(кг·К);  $\dot{m}$  - массовый расход воды, кг/с;  $\Delta T$  - перепад температур воды, К.