

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОГО СТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В КАНАЛЕ

Ключевые слова: Турбулентное стационарное течение газа в трубе, верификация.

Проведено исследование пульсационных характеристик стационарного турбулентного потока с подводом тепла и без. Получены основные соотношения для моделирования квазистационарных состояний потока по числу Re^{**} и параметру ψ . Определена величина случайной составляющей погрешности (фактор повторяемости) применительно к каждой из этих характеристик.

Keywords: Stationary turbulent gas flow in tube, verification.

The research of pulsation characteristics of stationary turbulent flow with heat supply and without it. Basic proportions of number Re^{**} and parameter ψ have been obtained for modeling quasi-stationary state of flow. The value of random uncertainty (multiplicity factor) with respect to each of these parameters has been defined.

В данной работе исследования проводились в рамках цикла работ по изучению влияния тепловой и гидродинамической нестационарности на характеристики расхода газовых потоков для нужд промышленных предприятий Российской Федерации в целях повышения качества учета и оптимизации потребления энергоносителей.

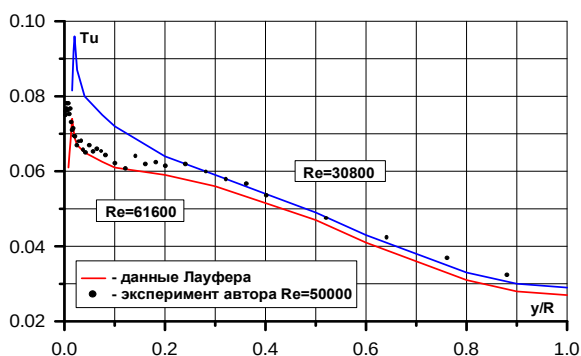


Рис. 1. Профиль степени турбулентности Tu для $Re = 5 \cdot 10^4$

Измерения проводились теомоанемометром постоянной температуры. На рис. 1 представлен профиль степени турбулентности, полученный для стационарного изотермического турбулентного потока в трубе в сравнении с данными Лауфера. Отличия полученных профилей от данных Лауфера можно объяснить некоторым отличием в числах Re , при которых был проведен настоящий эксперимент и эксперимент Лауфера.

Если проинтегрировать профиль осредненного квадрата пульсационной составляющей скорости, отнесенной к квадрату пульсационной скорости на оси канала (1), можно получить количественную оценку данного профиля. Указанная величина получена по аналогии с интегральными характеристиками профиля осредненной составляющей скорости потока и может рассматриваться как количественная характеристика турбулентного пограничного слоя:

$$\xi = \int_0^R \frac{\langle w'^2 \rangle}{\langle w_0'^2 \rangle} d\zeta \quad (1)$$

На рис.2 представлена зависимость данной величины от числа Re^{**} .

В соответствии с представленными данными были получены следующие зависимости:

$$\frac{\delta^*}{R} = 0.0898626 - 4.37831 \cdot 10^{-6} \cdot Re^{**} \quad (2)$$

$$\frac{\delta^{**}}{R} = 0.0670774 - 2.56769 \cdot 10^{-6} \cdot Re^{**} \quad (3)$$

$$H = 1.34398 - 1.73542 \cdot 10^{-5} \cdot Re^{**} \quad (4)$$

$$\xi = 1.60927 - 1.0557 \cdot 10^{-5} \cdot Re^{**} \quad (5)$$

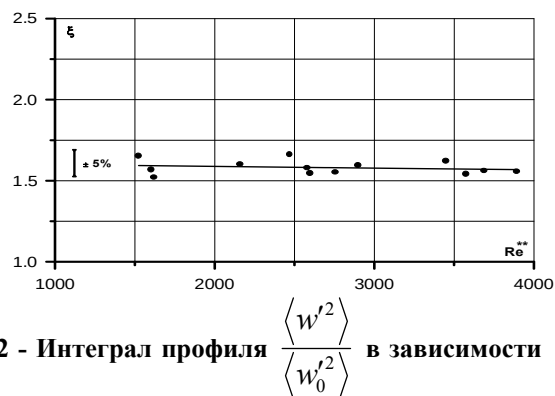


Рис. 2 - Интеграл профиля $\frac{\langle w'^2 \rangle}{\langle w_0'^2 \rangle}$ в зависимости от числа Re^{**}

Коэффициент трения Cf находился по перепаду статического давления ΔP между двух сечений рабочего участка [1,4]:

$$Cf = \frac{d \cdot \Delta P}{2 \cdot l \cdot \rho_0 \cdot w_0^2}, \quad (6)$$

где d – диаметр поперечного сечения рабочего участка, l – расстояние между сечениями, ρ_0 и w_0 – плотность и скорость потока на оси канала соответственно, а также по профилю скорости методом Клаузера.

Подробное описание данного метода и особенностей его использования приведено в [2,5]. Коэффициент трения, полученный обоими методами, практически совпадали.

На рис.3 представлена зависимость Cf , полученного методом перепада давления (6) от числа Re^{**} в сравнении с законом Кармана [3]:

$$\sqrt{\frac{Cf}{2}} = \frac{1}{2.5 \cdot \ln(Re^{**}) + 3.8} \quad (7)$$

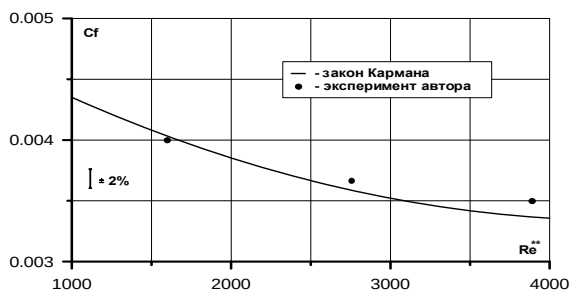


Рис. 3 - Коэффициент трения Cf в сравнении с законом Кармана

Можно видеть удовлетворительное согласование.

После того, как исследования стационарного турбулентного потока в трубе без подвода тепла

показали удовлетворительное согласование полученных интегральных и турбулентных характеристик турбулентного пограничного слоя с данными других авторов, была предпринята попытка анализа поведения этих же характеристик, но в условиях неизотермического турбулентного потока.

Литература

1. Кутателадзе С.С., Леонтьев А.И., «Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое», М.: Энергоатомиздат, 1985 – 320 с.
2. Себиси Т., Брэдишу П., «Конвективный теплообмен», М.: Мир, 1987 – 592 с.
3. Шлихтинг Г., «Теория пограничного слоя», М.: Наука, 1974 – 711 с.
4. Камалиев Т.С., Елизаров Д.В. Елизаров В.В. Кинетика массопереноса в пограничном слое на внутренней поверхности капли в процессе жидкостной экстракции // Вестник Казан. Технол. Ун-та. – 2013. №12 – С. 182-187.
5. Фафурин А.В., Чигвинцева И.Р. Влияние давления и температуры на выход продуктов пиролиза // Вестник Казан. Технол. Ун-та. – 2013. №14 – С. 106-108.