

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОГО СТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ТРУБЕ (ВЕРИФИКАЦИЯ)

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

*Проведено исследование стационарного турбулентного потока с подводом тепла и без, а также сравнение интегральных характеристик турбулентного пограничного слоя. Сделан вывод о корректности использованных в работе методик нахождения этих характеристик. Получены основные соотношения для моделирования квазистационарных состояний потока по числу Re^{**} . Определена величина случайной составляющей погрешности (фактор повторяемости) применительно к каждой из этих характеристик.*

Keywords: Stationary turbulent gas flow in tube, verification.

*The research of stationary turbulent flow with heat supply and without it as well as comparison of integral parameters of turbulent boundary layer has been carried out. The conclusion about correctness of these parameters finding methods used in the work has been drawn. 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.*

Представленные в данной работе исследования проводились в рамках цикла работ, направленных на изучение 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. Представленные исследования необходимы для проведения верификации данных, полученных выбранными методами и методиками измерений на созданном для целей исследований экспериментальном оборудовании с данными открытых источников.

При проведении исследований кинематической структуры стационарного турбулентного течения газа в трубе профиль осредненной составляющей скорости потока определялся как пневмометрическим, так и термоанемометрическим способом. Поскольку в случае неизотермического потока при построении профиля скорости необходимо учитывать распределение температуры потока по сечению канала, для чистоты эксперимента и выявления повторяемости результата температура потока измерялась в каждой точке профиля и в случае с изотермическим потоком.

Измерения осуществлялись на газодинамическом стенде разомкнутого типа. В качестве рабочего тела использовался воздух, забираемый из комнаты.

Для измерения полного и статического давления потока использовались цифровые манометры МТ-120 Yokogawa E1.

На рис.1 представлен профиль осредненной по времени составляющей скорости потока, полученный в сечении рабочего участка. На этом же рисунке приведен профиль скорости в соответствии с законом $1/7$ [1], а также профиль скорости по данным Никурадзе. В связи с тем, что представленный профиль скорости соответствовал

$Re \cdot 5 \cdot 10^4$ лучшее согласование получено с экспериментальными данными Никурадзе для того же Re . Профиль скорости, соответствующий закону $1/7$, при этом находился левее.

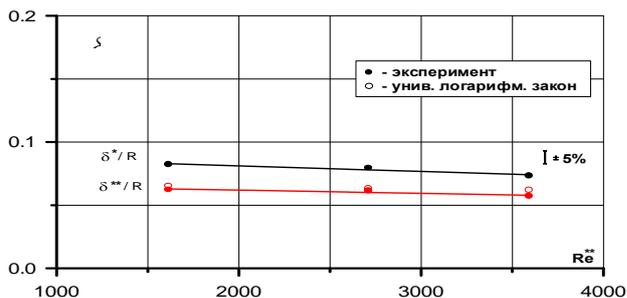


Рис. 1 - Профиль осредненной составляющей скорости потока

Такое поведение профиля скорости можно найти и в [2,4], где указывается, что рост числа Re приводит к большему заполнению профиля и отклонению его от закона $1/7$.

Согласование в пределах расчетной погрешности (см. ниже) профиля скорости, полученным термоанемометрическим способом с профилем, полученным пневмометрическим способом, позволяет говорить о корректности использованных для термоанометра методик измерений $\langle w \rangle$. На данном этапе были определены профили скорости для трех чисел Re^{**} . Диапазон чисел Re^{**} выбирался таким образом, чтобы покрывать изменение этой величины внутри периода колебания расхода, которое ожидалось при изучении нестационарного потока. Толщина вытеснения и потери импульса, отнесенные к радиусу канала, рассчитанные для этих профилей, приведены на рис.2 в зависимости от числа Рейнольдса по толщине потери импульса Re^{**} . Для сравнения на рисунке нанесены значения толщины

потери импульса, посчитанной для тех же чисел Re , что и полученные экспериментально.

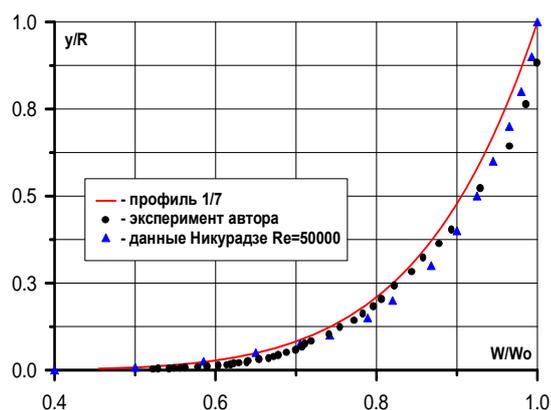


Рис. 2 - Безразмерные толщина вытеснения и потери импульса в зависимости от числа Re^{**}

Вычисления выполнены с учетом универсального логарифмического закона [2,4] и данных по зависимости коэффициента трения от числа Re [2].

Так, безразмерная толщина потери импульса для изотермического потока по определению [3,5]:

$$\frac{\delta^{**}}{R} = \int_0^1 \frac{w}{w_0} \cdot \left(1 - \frac{w}{w_0}\right) \cdot \bar{r} \cdot d\bar{r}, \quad (1)$$

где $\bar{r} = \frac{r}{R}$ - безразмерный радиус, R радиус канала.

После интегрирования с учетом универсального логарифмического закона:

$$\frac{w}{w_0} = 1 + 2.5 \cdot \sqrt{\frac{Cf}{2}} \cdot \ln(1 - \bar{r}) \quad (2)$$

получим:

$$\frac{\delta^{**}}{R} = 1.875 \cdot \sqrt{\frac{Cf}{2}} - 10.9375 \cdot \frac{Cf}{2} \quad (3)$$

С учетом:

$$\sqrt{\frac{Cf}{2}} = \frac{1}{0.6 + \sqrt{\frac{8}{0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0.237}}}}} \quad (4)$$

и зная число Re , была получена безразмерная толщина потери импульса.

Можно видеть удовлетворительное согласование измеряемых и расчетных значений.

На основании представленных данных и примененных методик на данном стенде была проведена серия экспериментов по измерению турбулентных характеристик потока.

Литература

1. *Абрамович Г.Н.*, «Прикладная газовая динамика», М.: Наука, 1969. – 824 с.
2. *Шлихтинг Г.*, «Теория пограничного слоя», М.: Наука, 1974 – 711 с.
3. *Гортышов Ю.Ф. и др.*, «Теория и техника теплофизического эксперимента», М.: Энергоатомиздат, 1993 – 448 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.