

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОГО НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ТРУБЕ

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

Проведено исследование стационарного неизомеричного турбулентного потока, а также сравнение интегральных характеристик турбулентного пограничного слоя.

Keywords: Stationary turbulent gas flow in tube, nonisothermal.

The research of stationary nonisothermal turbulent flow as well as comparison of integral parameters of turbulent boundary layer has been carried out.

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.

Исследования проводились в круглой трубе с подогревом и без тепла. Исследования проводились на газодинамическом стенде открытого типа с забором воздуха из термостабилизированной комнаты. Измерения кинематических характеристик потока проводилось с помощью термоанометра постоянной температуры.

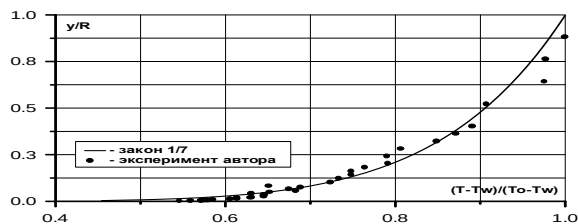


Рис. 1 - Профиль температуры в сечении рабочего участка, $W_0=25$ м/с

На рис. 1 представлен профиль температуры в сечении рабочего участка.

Интегральные величины, полученные экспериментально в стационарном турбулентном неизомеричном потоке, представлены на рис.2 – 5.

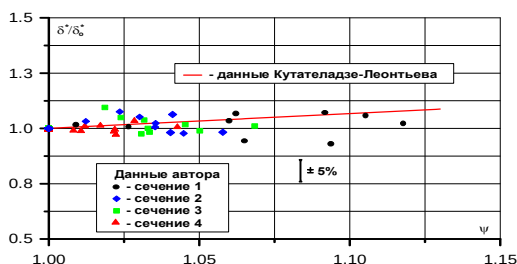


Рис. 2 - Безразмерная толщина вытеснения в зависимости от величины температурного фактора

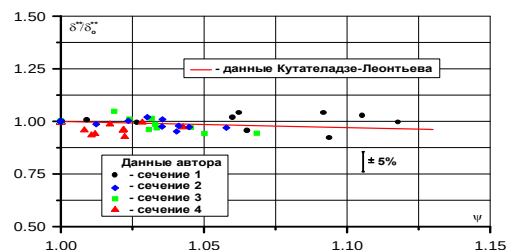


Рис. 3 - Безразмерная толщина потери импульса в зависимости от величины температурного фактора

Все величины отнесены к аналогичным, полученным в изотермическом турбулентном потоке (индекс «0») при равных числах Re^{**} [2]. Такой подход позволяет выявить характер влияния подвода тепла на интегральные характеристики пограничного слоя.

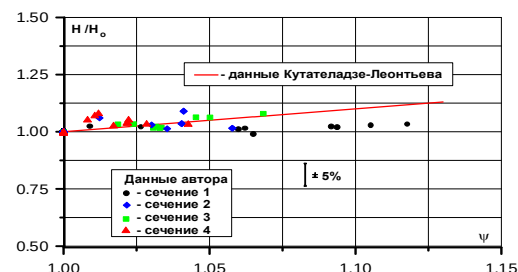


Рис. 4 - Формапараметр неизомеричного потока в зависимости от величины температурного фактора

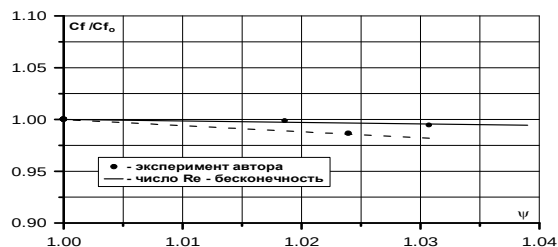


Рис. 5 - Безразмерный коэффициент трения в зависимости от величины температурного фактора

Данные на рисунках представлены в сравнении с расчетами, выполненными в соответствии с зависимостями, приведенными в [1],

полученными для неизотермического турбулентного потока в трубе с развитым динамическим и температурным пограничным слоем.

$$\frac{\delta^*}{\delta_0^*} = \psi^{0.682} \quad (1)$$

$$\frac{\delta^{**}}{\delta_0^{**}} = \psi^{-0.318} \quad (2)$$

$$\frac{H}{H_0} = \psi \quad (3)$$

На рис.13 относительный коэффициент трения приведен в сравнении с зависимостями, приведенными в [1], где:

$$\frac{Cf}{Cf_0} = \left(\frac{2}{\sqrt{\psi - 8.2 \cdot (\psi - 1)} \cdot \sqrt{\psi_\infty \cdot Cf_0 + 1}} \right) \quad (4)$$

$$\psi_\infty = \frac{Cf}{Cf_0} \Big|_\infty = \left(\frac{2}{\sqrt{\psi} + 1} \right)^2 \quad (5)$$

ψ_∞ - безразмерный коэффициент трения при числе Re^{**} - бесконечность.

При изучении статистических характеристик потока, таких как коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса турбулентных пульсаций

скорости потока $A_i = \frac{\langle w_i'^3 \rangle}{\langle w_i'^2 \rangle^{3/2}}, E_i = \frac{\langle w_i'^4 \rangle}{\langle w_i'^2 \rangle^2}$ [2],

полученных в настоящих исследованиях, было отмечено, что их поведение отличается от поведения, предложенного авторами работы [8, 9]. В ней указывается, что максимум степени турбулентности, смена знака коэффициента асимметрии и экстремум коэффициента эксцесса приходится на область пересечения универсального логарифмического закона с линейным профилем скорости характерным для вязкого подслоя. Данное положение объяснялось тем, что в области перемежаемости имеет место равновероятное

внедрение объемов жидкости с высокой (из ядра турбулентного пограничного слоя) и низкой (из области вязкого подслоя) скоростью. Данный метод определения границы вязкого подслоя с помощью термоанемометра является интересным [3], поскольку анализ осредненной составляющей скорости потока, измеренной термоанемометром, затруднен в виду активного влияния стенки на его показания на таких расстояниях. Между тем, статистические характеристики турбулентных пульсаций скорости можно определить с помощью термоанемометра достаточно точно. Таким образом, с помощью представленного метода представляется возможным определять не толщину вязкого подслоя, а местоположение ядра зоны перемежаемости.

Проведенное исследование стационарного турбулентного потока с подводом тепла и без, а также сравнение интегральных характеристик турбулентного пограничного слоя, полученных по результатам этого исследования, с результатами других авторов позволили:

- сделать вывод о корректности использованных в работе методик нахождения этих характеристик;
- получить основные соотношения для моделирования квазистационарных состояний потока по числу Re^{**} и параметру ψ ;

Литература

1. Шлихтинг Г., «Теория пограничного слоя», М.: Наука, 1974 – 711 с.
2. Шамсетдинов Ф.Н., Габитов И.Р., Зарипов З.И., Радаев А.В., Сабирзянов А.Н. Экспериментальная установка для исследования вязкости газонасыщенных жидких углеводородов при давлениях до 50 МПа // Вестник Казан. Технол. Ун-та. – 2013. №18 – С. 112-115.
3. Хадиев М.Б., Соколов Н.В., Федотов Е.М. Гидродинамические, тепловые и деформационные характеристики смазочных слоев упорных подшипников, профилированных скосом, параллельным радиальному межподушечному каналу // Вестник Казан. Технол. Ун-та. – 2013. №14 – С. 96-101.