

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ РАБОЧЕГО УЧАСТКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ ДАТЧИКОВ

Кузнецов Д.Н., Зори А.А.

Донецкий национальный технический университет, кафедра ЭТ.

Abstract

Kuznetsov D.N., Zori A.A. Aerodynamic plant's working area speeds field research for sensors calibration. It's offered to use flow momentary speed distribution's parameters of high orders in the gauging profile to determine the heat-loss-anemometer-thermistor-based primary gauging converter calibration zone

Задачи исследований. Для удовлетворения потребностей народного хозяйства Украины в современных средствах учета расхода природного газа в трубах диаметром от 300 мм в СКТБ "Турбулентность" при ДонНУ был разработан расходомер газа анемометрический РГА-100 (300) с термоанемометрическим термисторным первичным измерительным преобразователем (ПИП) расхода газа [1]. Для обеспечения требуемой точности измерений каждый ПИП должен пройти индивидуальную градуировку на аэродинамической установке [2]. Причем точность и стоимость таких ПИП расхода газа определяются эффективностью процесса градуировки. Одним из путей повышения эффективности градуировки является сокращение времени градуировки одного ПИП, что достигается одновременной градуировкой нескольких ПИП. Однако существуют два основных требования, ограничивающих максимальное число одновременно градуируемых ПИП. Первое требование касается ограничений на допустимую область градуировки. Градуировка по средней скорости допускается в области воздушной струи с равномерным профилем средней скорости (неравномерность должна быть не хуже 0,5 %), малым уровнем пульсаций скорости (коэффициент пульсаций не более 10 %) и нормальным законом распределения последних в зоне градуировки ПИП.

Второе требование ограничивает загрузку сечения, в котором осуществляется градуировка, средствами измерений и их держателями. Загрузка не должна превышать 5 % площади поперечного измерительного сечения струи, а для избежания взаимного влияния ПИП они должны находиться на расстоянии не менее $5 \cdot D$ друг от друга, где D – максимальный характерный размер держателя.

Таким образом, необходимо исследовать поле скоростей рабочего участка аэродинамического стенда, выделить допустимую зону установки средств градуировки и определить максимальное количество одновременно градуируемых термоанемометрических термисторных ПИП расхода природного газа.

Средства измерений. Для выполнения исследований использовался универсальный комплекс измерительных средств "ТАИК", разработанный в СКТБ "Турбулентность". В состав ТАИКа входят два термоанемометрических и два термометрических канала. В качестве чувствительных элементов использовались проволочные вольфрамовые преобразователи диаметром 5 мкм и длиной 5 мм. Выбранное средство измерений позволяет проводить измерения в диапазоне скоростей воздушного потока 0,3...40 м/с и имеет равномерную частотную характеристику в диапазоне 0...3 кГц.

Выбранная структура канала измерения параметров воздушного потока аэродинамической установки АДС-200/250 представлена на рис.1. Чувствительные элементы термометра и термоанемометра с помощью измерительного зонда помещались в воздушный поток аэродинамической установки. Зонд связан с ТАИКом посредством шлейфа проводников длиной около 3 метров. ТАИК формирует выходные электрические сигналы, пропорциональные

скорости и температуре потока. Далее эти сигналы преобразуются с помощью АЦП в цифровую форму, поступают и сохраняются в ПЭВМ для дальнейшей обработки с целью определения основных параметров потока в данной точке измерения.

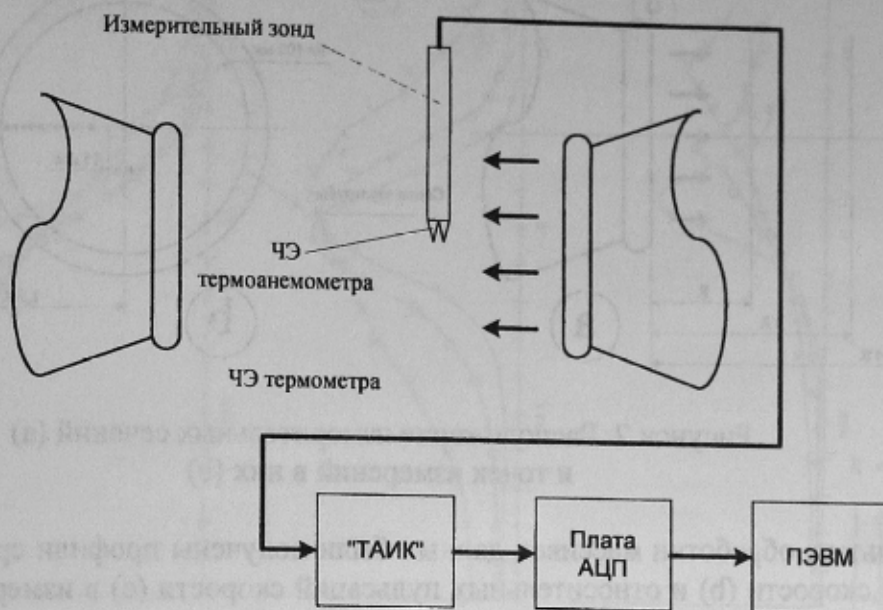


Рисунок 1 Структура каналов измерения параметров воздушного потока аэродинамической установки АДС-200/250

Экспериментальные исследования и анализ результатов. Эксперимент заключается в измерении мгновенных значений скорости воздушной струи рабочего участка аэродинамической установки за определенный интервал времени в различных сечениях и при различных скоростях потока. Измерения проводились в трех измерительных сечениях, отстоящих от сопла соответственно на 1, 2 и 4 радиуса (рис.2 а). Количество точек измерений в каждом сечении было выбрано равным 20 (рис.2 б), что близко к максимальному (число точек ограничено линейными размерами нити термоанемометра). В результате проведения эксперимента для 20 точек каждого из трех измерительных сечений при трех различных скоростях потока был сформирован файл, содержащий 100000 выборок мгновенных значений напряжений термоанемометра и термометра. Общий объем данных – более 80 Мбайт.

В ходе обработки полученных при выполнении аэродинамического эксперимента массивов данных, для каждого измерительного сечения определялись: профиль средней скорости; профиль пульсаций скорости, определяемый квадратным корнем момента второго порядка (дисперсией), профили моментов высших порядков распределения мгновенной скорости: асимметрии A и эксцесса E .

Средняя скорость в измерительных точках v_o , среднее квадратическое отклонение (СКО) пульсаций скорости σ и относительное СКО пульсаций скорости σ_o (степень турбулентности) определялись по формулам (1-3), приведенным ниже:

$$v_o = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N v_i, \tag{1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (v_i - v_o)^2}, \tag{2}$$

$$\sigma_o = \frac{\sigma}{v_o}, \tag{3}$$

где N – размер выборки ($N=100000$), v_i – мгновенная скорость.

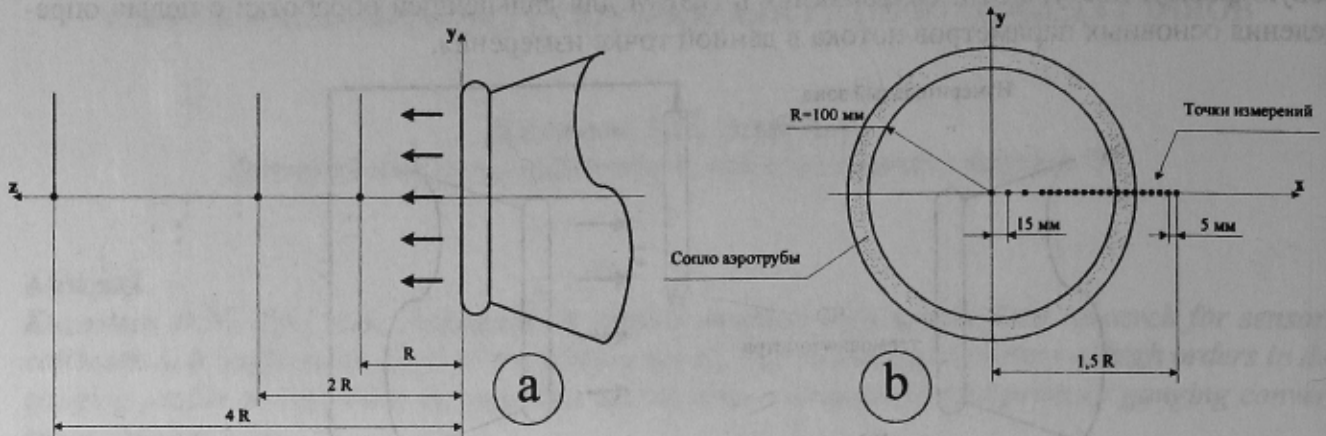


Рисунок 2. Расположение измерительных сечений (а) и точек измерений в них (б)

В результате обработки массивов данных были получены профили средней скорости (а), пульсаций скорости (б) и относительных пульсаций скорости (с) в измерительном сечении $z=D/2$ при различных скоростях потока (рис.3) и в различных измерительных сечениях $D/2, D, 2D$ при средней скорости потока 35 м/с (рис.4). Из результатов, представленных на рис.4, следует, что по мере удаления от сопла ядро струи значительно сужается, а его границы становятся неопределенными (размытыми). Следовательно, датчики следует устанавливать по возможности ближе к соплу.

Для оценки степени отклонения закона распределения мгновенной скорости от нормального были рассчитаны моменты высших порядков по измерительному сечению – асимметрия A и эксцесс E :

$$A = \frac{1}{N-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (v_i - v_0)^3}{\sigma^3} ; \tag{4}$$

$$E = \frac{1}{N-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (v_i - v_0)^4}{\sigma^4} - 3. \tag{5}$$

Результаты расчетов представлены на рисунках 5 и 6. Из результатов следует, что для области $x \leq 0,6R$ и при $0,95R \leq x \leq 1,05R$ закон распределения пульсаций близок к нормальному ($A \approx 0$ и $E \approx 0$), а при $x \approx 0,8R$ и, особенно, при $x \approx 1,35R$ он существенно отличается от нормального. На основании полученных результатов область ($x \leq 0,6R; z \leq D/2$) можно рекомендовать для статической градуировки датчиков (градуировка по средним значениям), а область с $x \approx R$ – для динамической градуировки (градуировка по пульсационным значениям).

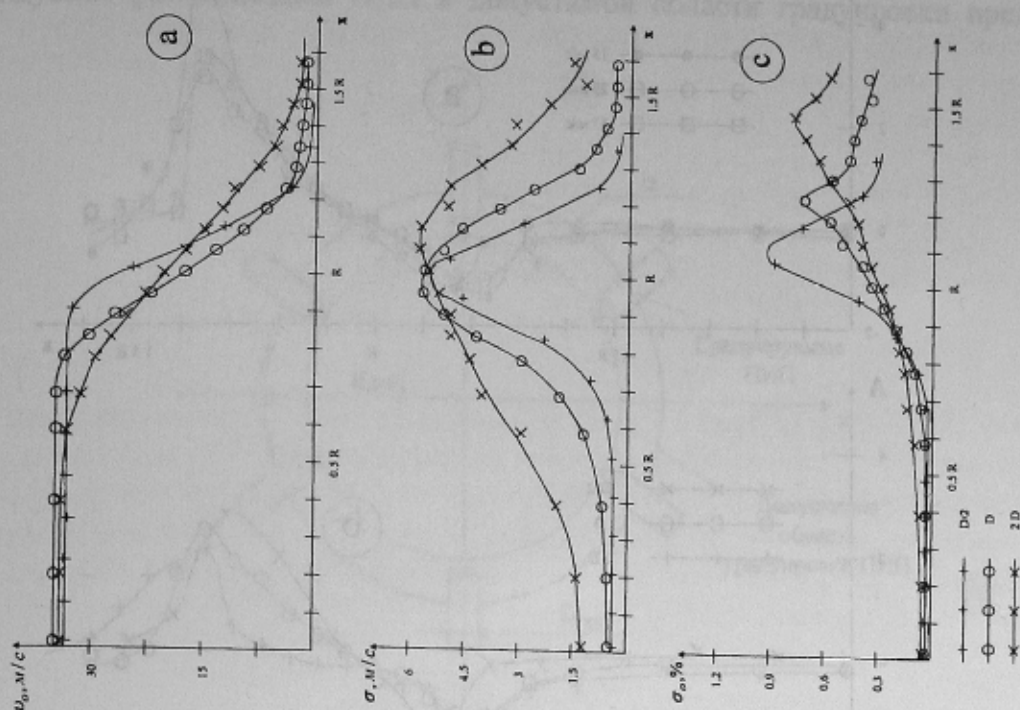


Рисунок 4. Профіли середньої швидкості (а), пульсацій швидкості (б) і відносительних пульсацій швидкості (с) в різних сеченнях при середній швидкості потоку в ядрі воздушної струї 35 м/с.

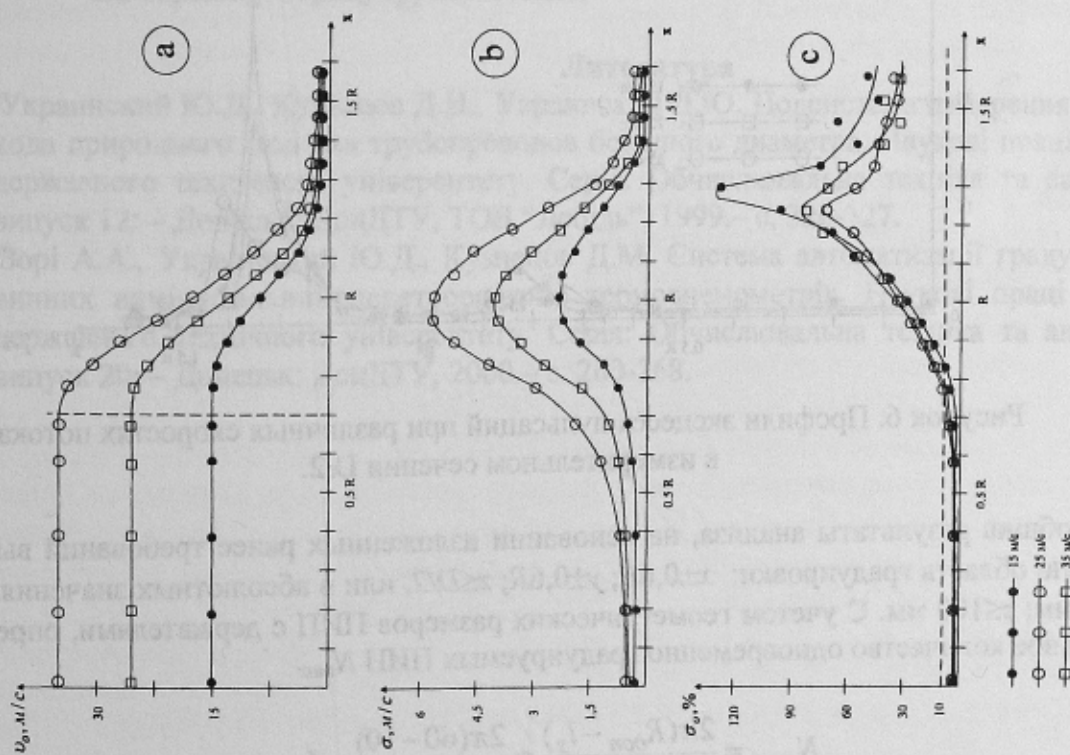


Рисунок 3. Профіли середньої швидкості (а), пульсацій швидкості (б) і відносительних пульсацій швидкості (с) в измерительном сечении D/2 при различных скоростях

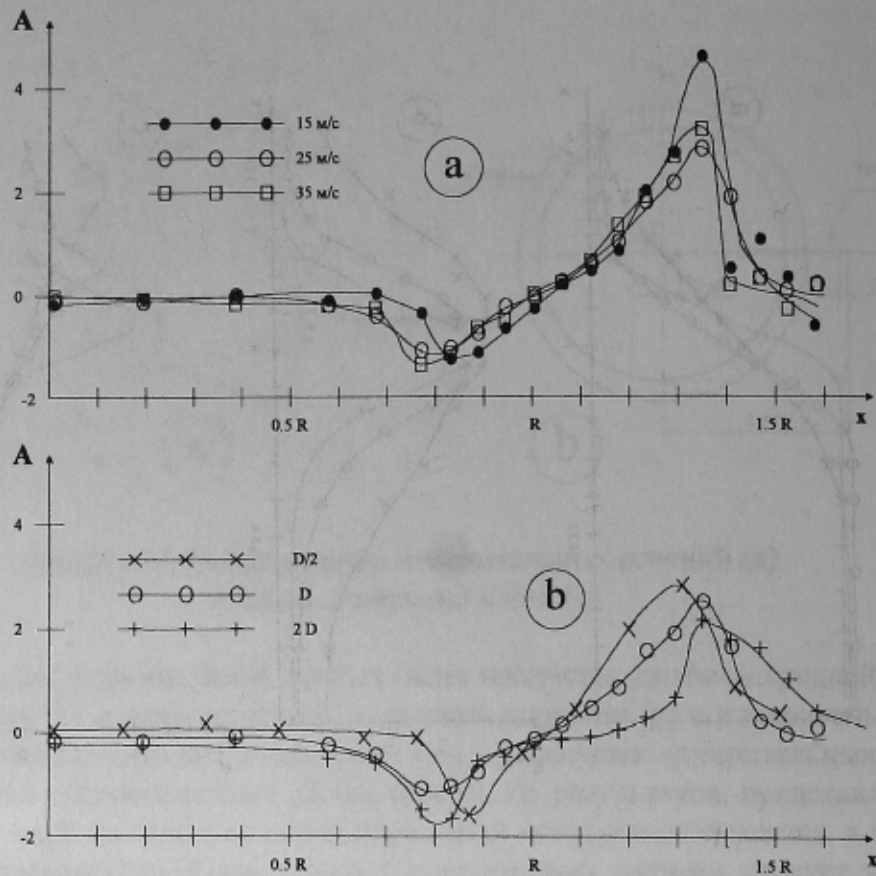


Рисунок 5. Профили асимметрии пульсаций при различных скоростях потока в измерительном сечении D/2 (а) и в различных измерительных сечениях при средней скорости потока в ядре воздушной струи 35 м/с (б).

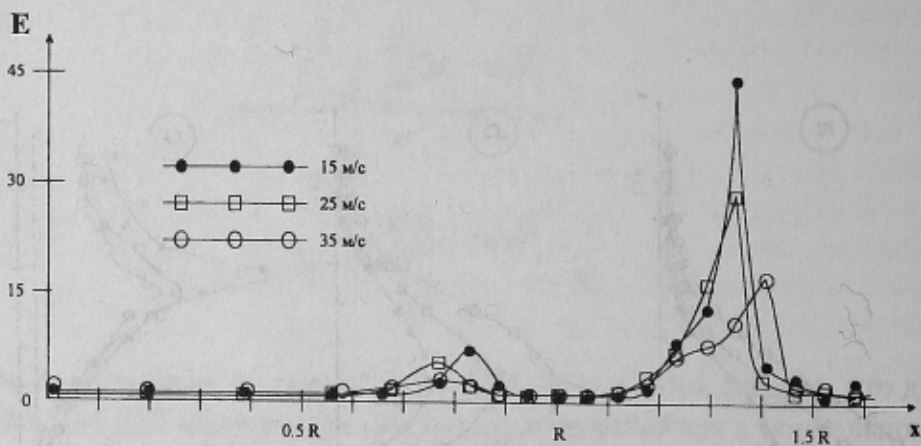


Рисунок 6. Профили эксцесса пульсаций при различных скоростях потока в измерительном сечении D/2.

Обобщив результаты анализа, на основании изложенных ранее требований выделим допустимую область градуировки: $x \pm 0,6R$; $y \pm 0,6R$; $z \leq D/2$, или в абсолютных значениях $x \pm 60$ мм; $y \pm 60$ мм; $z \leq 100$ мм. С учетом геометрических размеров ПИП с держателями, определим максимальное количество одновременно градуируемых ПИП N_{max}

$$N_{max} = \frac{2\pi(R_{дон} - l_3)}{5D_{ПИП}} = \frac{2\pi(60 - 10)}{5 \cdot 10} = 6 \quad (6)$$

где $R_{доп}$ – радиус допустимой области градуировки; l – величина утопления ПИП в допустимую область градуировки; $D_{пип}$ – диаметр держателя.

Рекомендуемое расположение ПИП в допустимой области градуировки представлено на рис.7.

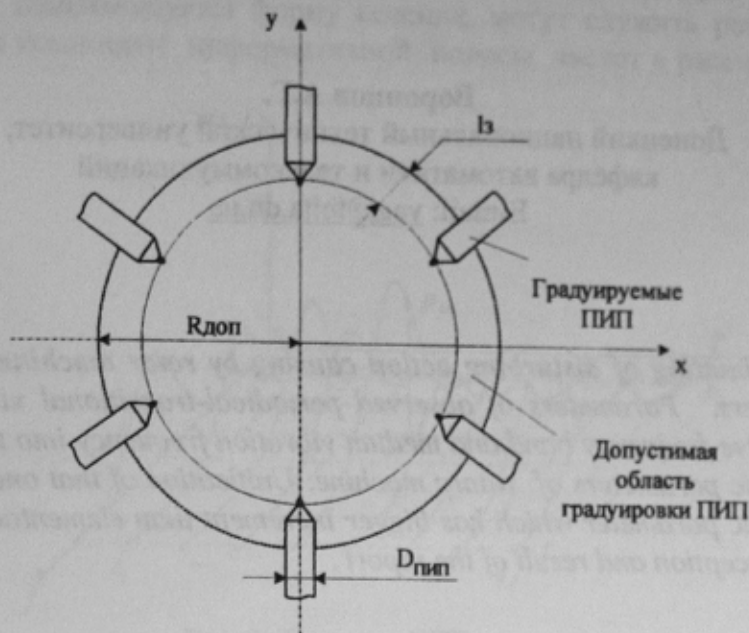


Рисунок 7. Рекомендуемое расположение ПИП в допустимой области градуировки

Выводы.

1. Для установления зоны градуировки термоанемометрических термисторных ПИП расхода природного газа в аэродинамической установке предложено использовать параметры моментов распределения 1-го – 4-го порядков мгновенной скорости потока в измерительном сечении.
2. Оценены допустимые значения координат для области градуировки и количество одновременно градуируемых ПИП.

Литература

1. Украинский Ю.Д., Кузнецов Д.Н., Украинский Д.Ю. Подсистема измерения и учета расхода природного газа для трубопроводов большого диаметра. Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 12: – Донецьк: ДонДТУ, ТОВ “Лебідь”, 1999.– с. 320-327.
2. Зорі А.А., Український Ю.Д., Кузнецов Д.М. Система автоматизації градуювання первинних вимірювальних перетворювачів термоанемометрів. Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 20: – Донецьк: ДонДТУ, 2000.– с. 260-268.