

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ТЕРМОАНЕМОМЕТРА

Кузнецов Д.Н., доц., к.т.н.; Грюк В.И. студент

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Актуальность. Термоанемометры (ТА) нашли широкое применение для измерения скоростей газовых потоков. Они имеют высокую чувствительность в широком диапазоне измеряемых скоростей, просты в изготовлении, не содержат дорогостоящих элементов и имеют выходной электрический сигнал, не требующий дополнительного усиления. Однако существенным недостатком классических ТА постоянного тока и температуры является сильная зависимость их показаний от температуры потока газа, которая составляет 2..4 %/°C. Поэтому при выполнении измерений в неизотермических потоках показания ТА корректируют с помощью функции температурной компенсации, для определения параметров которой ТА предварительно должен пройти градуировку при различных температурах потока, что существенно усложняет процедуру градуировки и затраты на ее проведение.

Таким образом, актуальной является проблема уменьшения температурной зависимости показаний ТА, что позволит упростить процедуру их градуировки и уменьшить затраты на ее проведение.

Для разрешения поставленной проблемы авторами был разработан ТА, реализующий времяпролетный принцип измерения скорости потока, заключающийся в определении времени преодоления тепловой меткой известного расстояния.

Целью работы является исследование времяпролетного ТА и оценка его метрологических характеристик.

Датчик разработанного времяпролетного ТА состоит из двух параллельных вольфрамовых проволочек диаметром 5 мкм и длиной 5 мм, расположенных перпендикулярно потоку газа на расстоянии $L=3$ мм друг относительно друга (см. рис.1).

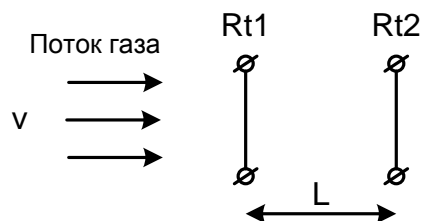


Рисунок 1 – Расположение чувствительных элементов датчика в потоке

На первую проволочку $Rt1$ подаются импульсы напряжения, и она излучает тепловые метки, которые переносятся потоком газа и регистрируются при помощи второй проволочки $Rt2$. По времени запаздывания τ сигнала второй проволочки относительно первой определяют скорость потока

$$v = \frac{L}{\tau}. \quad (1)$$

При этом на время распространения тепловых меток не влияет температура потока и его компонентный состав. Т.е. показания времяпролетного ТА будут инвариантны к изменениям температуры и состава потока.

Функциональная схема разработанного времяпролетного ТА представлена на рисунке 2. Модуль микроконтроллера (МК) формирует сигнал нагрева заданной формы и частоты, который через цифроаналоговый преобразователь ЦАП и усилитель мощности УМ подается на первую проволочку $Rt1$ датчика ТА. Тепловые метки переносятся потоком и

регистрируются второй провололочкой $Rt2$, которая включена в измерительный мост термометра. Измерительный сигнал усиливается дифференциальным усилителем ДУ и через аналого-цифровой преобразователь вводится в модуль МК. Накапливаемые в результате измерений массивы данных передаются в персональный компьютер для цифровой обработки.

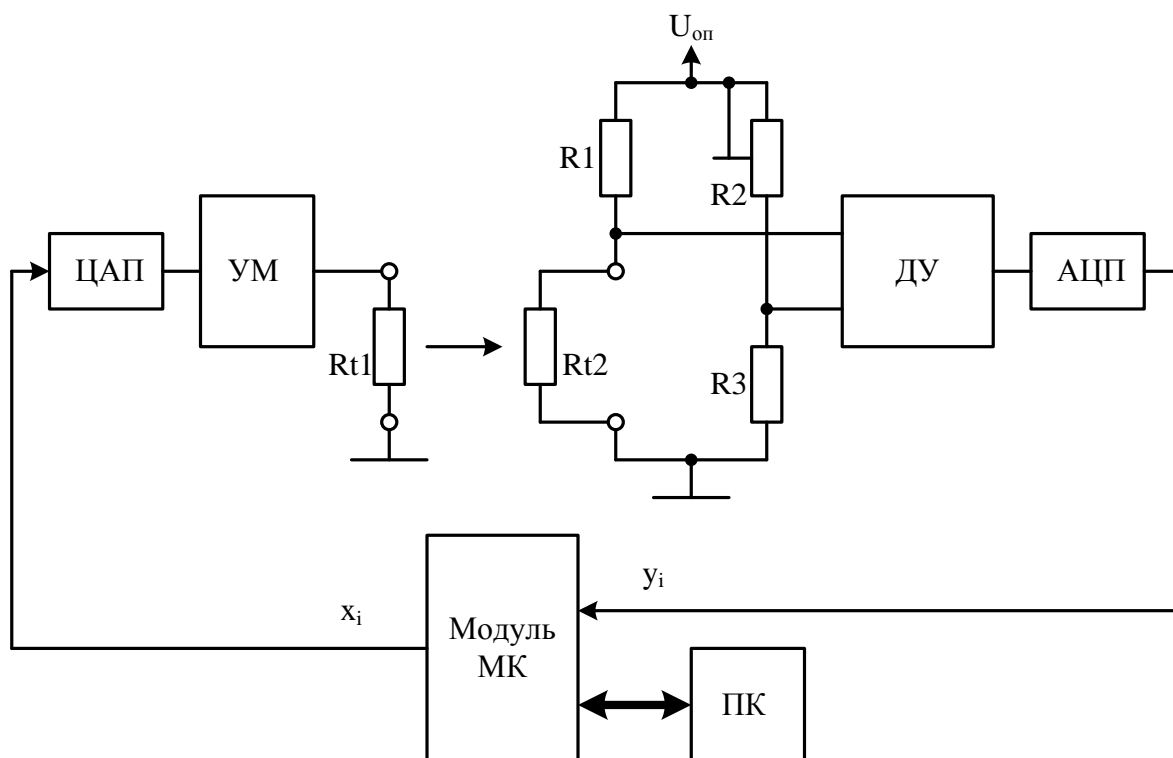


Рисунок 2 – Функциональная схема времяпролетного ТА

Авторами был изготовлен опытный образец времяпролетного ТА, реализующий описанный выше алгоритм функционирования. В качестве модуля МК использован стандартный микропроцессорный модуль Arduino Uno на базе микроконтроллера ATmega328. В состав данного МК входит 10-разрядный АЦП, однако нет встроенного ЦАП. Простейший ЦАП был реализован на базе 8-разрядного широтно-импульсного модулятора (ШИМ) с добавлением к выходу ШИМ RC-фильтра нижних частот первого порядка.

В качестве исходного сигнала нагрева использовалось синусоидальное напряжение частотой 200 Гц с амплитудой и смещением 0,5 В. Частота дискретизации была выбрана равной 8 кГц.

Экспериментально определено, что для уверенной регистрации слабого сигнала от воздействия тепловых меток на $Rt2$ коэффициент усиления дифференциального усилителя ДУ по напряжению должен составлять порядка 1000.

В ходе экспериментальных исследований была выполнена градуировка разработанного ТА. Градуировка проводилась в аэродинамическом стенде АДС-200/250 в диапазоне скоростей от 1 до 4 м/с при температурах воздушного потока 25 и 40 °С. В каждой точке по скорости выполнялась регистрация исходного сигнала нагрева и усиленного принятого сигнала. Типовой вид этих сигналов приведен на рисунке 3. Из результатов видно, что принятый сигнал искажен шумами и сдвинут по фазе относительно исходного сигнала.

Массивы измерительных данных накапливались и обрабатывались в компьютере. Для определения временного запаздывания принятого сигнала относительно исходного вычислялась корреляция сигналов

$$B_{xy}(k) = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} x_i \cdot y_{i+k} \quad (2)$$

где n – объем выборки (10000 точек), x_i и y_i – массивы дискретных значений исходного и принятого сигналов соответственно; k – взаимное смещение сигналов.

Корреляция (2) вычислялась при различных смещениях k , строилась корреляционная функция (см. рис. 4) и определялось смещение k_{max} , соответствующее максимуму корреляционной функции.

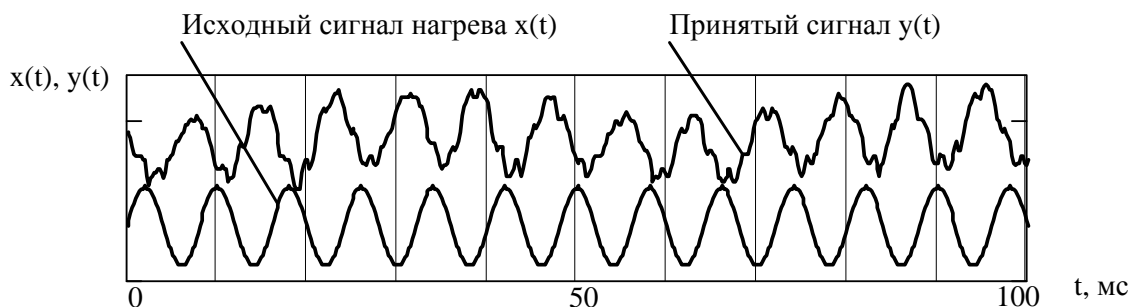


Рисунок 3 – Вид исходного и принятого сигналов

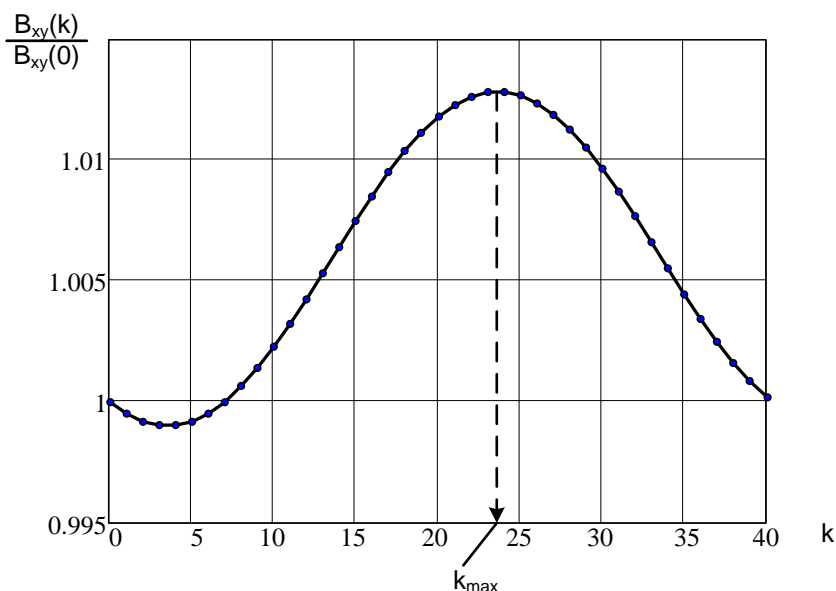


Рисунок 4 – Типовой вид корреляционной функции сигналов x_i и y_i

В результате была найдена экспериментальная функция преобразования времяпролетного ТА – зависимость запаздывания τ от скорости воздушного потока v , представленная на рисунке 5. Из результатов следует, что с ростом скорости потока запаздывание τ стремится не к 0, как ожидалось согласно формуле (1), а к некоторому значению $\tau(\infty)$. Очевидно, это объясняется влиянием инерционности датчика и измерительных цепей ТА.

Для аппроксимации экспериментальных данных градуировки ТА была предложена функция вида:

$$\tau(v) = A + \frac{B}{v}. \quad (3)$$

где A и B – постоянные коэффициенты

Вычисление неизвестных коэффициентов A и B градуировочной функции (3) осуществлялось при помощи функции нелинейной регрессии *GENFIT* программы MathCad. В результате получили, что $A=16,1$ мс; $B=14,8$ мм. На рисунке 6 приведено распределение относительной погрешности аппроксимации по скорости потока в диапазоне исследуемых скоростей. Из результатов следует, что погрешность аппроксимации не превышает $\pm 2\%$.

Результаты экспериментальных исследований показали, что при изменении температуры потока с 25 °С до 40 °С функция преобразования не смещается, а значит, показания разработанного ТА инвариантны к изменениям температуры потока.

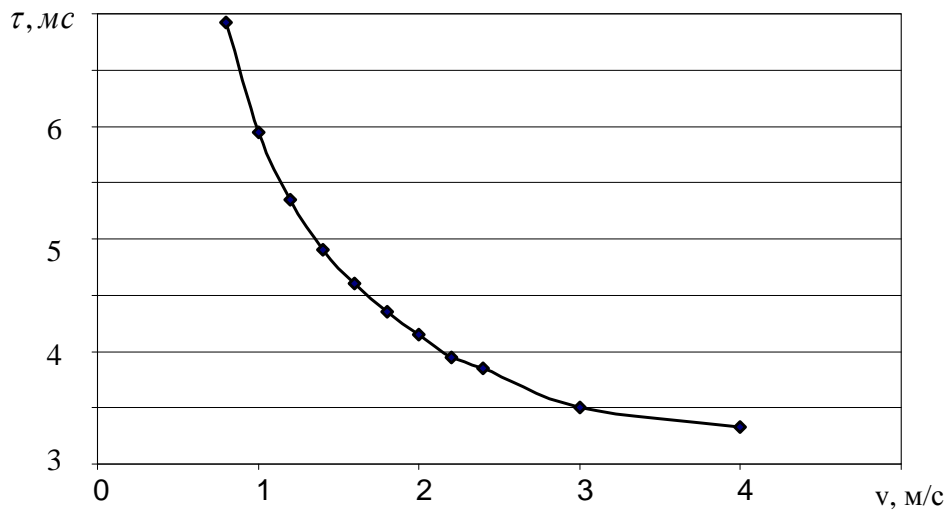


Рисунок 5 – Экспериментальная функция преобразования времяпролетного ТА

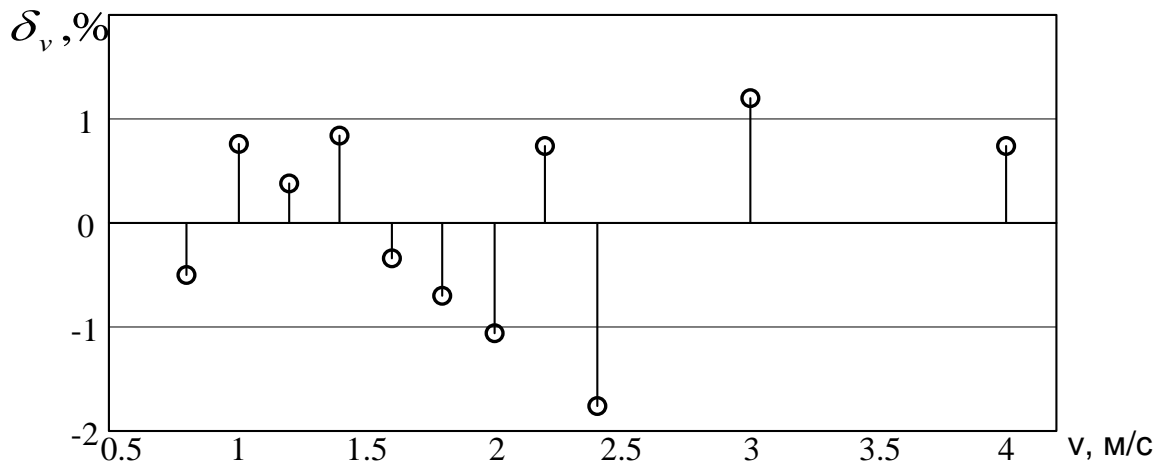


Рисунок 6 – Распределение погрешностей аппроксимации в диапазоне скоростей

Выводы:

1. Предложенное уравнение (3) градуировочной характеристики разработанного времяпролетного ТА обеспечивает аппроксимацию экспериментальных данных градуировки с относительной погрешностью по скорости не более $\pm 2\%$.
2. Показания времяпролетного ТА инвариантны к изменениям температуры потока газа, что позволяет выполнять его градуировку при произвольной температуре.

Перечень ссылок

1. Кузнецов Д.Н., Чупис Д.Н., Руденко А.С. Исследование ниточного термоанемометра постоянной температуры при различных перегревах нити / Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. Випуск №1(24). — Донецьк: ДонНТУ, 2013. — С.225–231.