

УДК 533.6.08

Д.Н. КУЗНЕЦОВ, Ю.Д. УКРАИНСКИЙ, А.А. МОРОЗОВ

Донецкий национальный технический университет «ДонНТУ», Украина

ОСОБЕННОСТИ ГРАДУИРОВКИ ТЕРМОАНЕМОМЕТРОВ С НЕСТАЦИОНАРНЫМ РЕЖИМОМ РАЗОГРЕВА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния параметров градуировки термоанемометров с нестационарным режимом разогрева термочувствительного элемента на его основные метрологические характеристики. Установлено, что существуют оптимальные соотношения между параметрами градуировки, при которых температурный коэффициент погрешности термоанемометров стремится к нулю, и его показания становятся инвариантными к изменениям температуры потока. Обоснована возможность выполнения градуировки термоанемометров с нестационарным режимом разогрева термочувствительного элемента при произвольной температуре воздушного потока, что существенно упрощает и удешевляет процедуру градуировки.

Ключевые слова: термоанемометр, параметры градуировки, температура потока, метрологические характеристики.

1. Постановка задачи

Известным недостатком классических термоанемометров (ТА) постоянного тока и постоянной температуры является зависимость их показаний от температуры рабочей среды [1, 2].

Перспективными в этом отношении являются ТА с нестационарным режимом разогрева термочувствительного элемента (ТЧЭ). Их принцип действия основан на зависимости тепловой постоянной времени ТЧЭ от скорости потока газа (жидкости). По результатам математического моделирования [3] и по данным ряда публикаций [4, 5] эта зависимость практически инвариантна к изменениям температуры рабочей среды.

С целью проверки теоретических положений и практического определения основных характеристик ТА с нестационарным режимом разогрева ТЧЭ в СКТБ «Турбулентность» (Донецкий национальный университет) были разработаны три опытных образца такого ТА.

При их градуировке возникли затруднения с расшифровкой первичных экспериментальных данных обусловленные отсутствием четкого определения понятия тепловой постоянной времени датчика ТА, кривая остывания которого описывается сложной функцией.

В данной статье рассмотрены особенности градуировки ТА с нестационарным режимом разогрева ТЧЭ, влияющие на их метрологические характеристики.

2. Схема и принцип измерений

В основу разработки была положена мостовая схема термоанемометра постоянной температуры с малогабаритным бусинковым термистором R_t в роли ТЧЭ. Принципиальная схема аналоговой части ТА приведена на рис. 1.

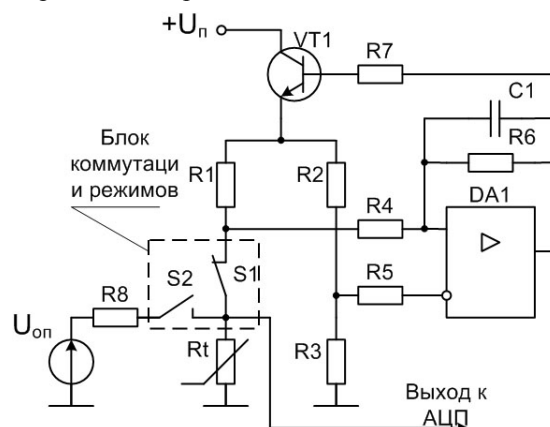


Рис. 1. Принципиальная схема аналоговой части ТА с нестационарным режимом разогрева ТЧЭ

Разработанный ТА работает в двух режимах: режиме термоанемометра постоянной температуры (режим большого тока) и режиме термометра (режим малого тока). Для коммутации режимов используется блок коммутации, собранный на ключах S1 и S2, выполненных на базе твердотельных реле с малым сопротивлением открытого канала (менее 0 мОм).

Термоанемометр работает следующим образом.

Цикл измерения начинается с перевода ТА в режим постоянной температуры (S1 замкнут, S2 разомкнут) для разогрева ТЧЭ до заданной температуры (порядка 100 °С). Затем ТА переключается в режим термометра (S1 разомкнут, S2 замкнут) и снимается переходная характеристика остывания ТЧЭ (зависимость температуры термистора от времени). По снятой переходной характеристике определяется постоянная времени ТЧЭ и далее, по известной градуировочной зависимости, скорость газа. Таким образом, принцип измерений рассматриваемого ТА заключается в определении постоянной времени ТЧЭ по переходной характеристике его остывания в потоке газа.

3. Получение и обработка экспериментальных данных градуировки

Для градуировки ТА использовался аэродинамический стенд АДС-200/250 замкнутого типа с закрытой рабочей областью. При градуировке были получены переходные характеристики остывания ТЧЭ при различных скоростях (от 3 до 35 м/с) и температурах (от 15 до 45 °С) воздушного потока. Вид отдельных зависимостей при различных скоростях и температурах потока представлен на рис. 2.

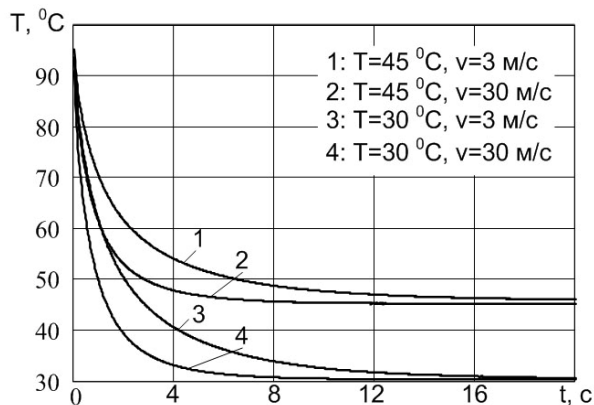


Рис. 2. Переходные характеристики остывания ТЧЭ при различных скоростях и температурах воздушного потока

На первом этапе обработки полученных экспериментальных данных градуировки ТА был осуществлен подбор вида функции, описывающей эти данные. На рис. 3 приведены результаты описания экспериментальных данных функцией вида (1):

$$T = A_0 + A_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (1)$$

Из результатов аппроксимации следует, что простая функция одной экспоненты (1) дает достаточно грубое описание экспериментальных данных

градуировки. Приемлемые результаты (рис. 4) аппроксимации были получены лишь при использовании сложной функции из трех экспонент (2):

$$T = A_0 + A_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} + A_2 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} + A_3 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_3}}. \quad (2)$$

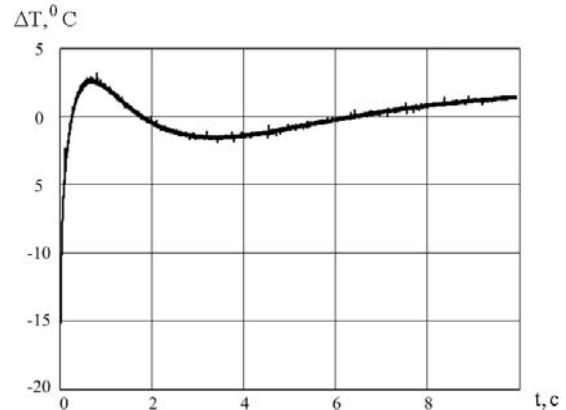


Рис. 3. Погрешность аппроксимации экспериментальной переходной характеристики остывания ТЧЭ функцией одной экспоненты (1)

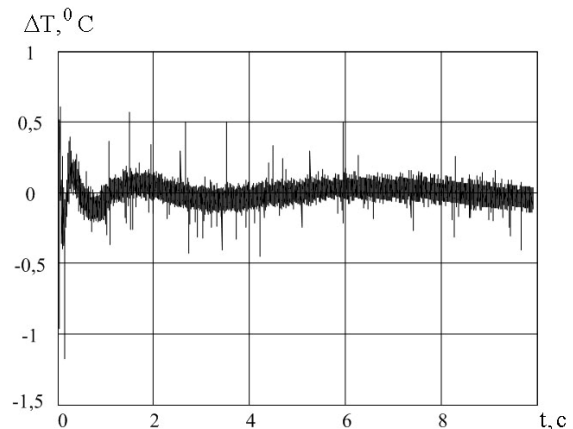


Рис. 4. Погрешность аппроксимации экспериментальной переходной характеристики остывания ТЧЭ сложной функцией трех экспонент (2)

Таким образом, установили, что переходная функция остывания ТЧЭ ТА имеет сложный характер и хорошо описывается лишь функцией из нескольких экспонент.

За тепловую постоянную времени ТЧЭ ТА был принят интервал времени, в течение которого температура термистора после снятия нагрева уменьшается до значения (3):

$$T_{\tau} = T_1 + k \cdot (T_1 - T_2), \quad (3)$$

где k – постоянный коэффициент (уровень определения постоянной времени);

T_1 и T_2 – соответственно максимальная и минимальная температуры в интервале временной базы обработки данных $t_{\text{баз}}$ (рис. 5).

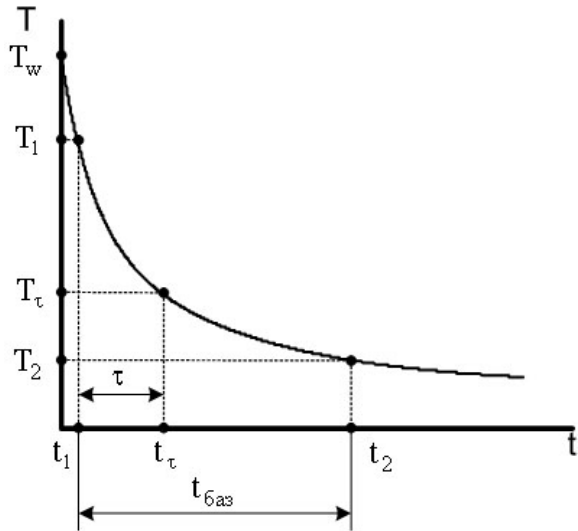


Рис. 5. Способ определения постоянной времени сложного датчика ТА

4. Градуировка

Особенность градуировки заключается во влиянии выбора участка переходной характеристики и уровня k для определения тепловой постоянной времени ТЧЭ на основные метрологические характеристики термоанемометра: диапазон измерений постоянной времени D (4), относительную среднюю квадратичную погрешность S_0 (5), температурный коэффициент погрешности ТКП (6):

$$D = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}}, \quad (4)$$

где τ_{\max} и τ_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения постоянной времени.

$$S_0 = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N (d\tau_k)^2}}{\tau_{\max} - \tau_{\min}} \cdot 100, \quad (5)$$

где N – количество точек измерений;

$d\tau_k$ – абсолютная погрешность измерений постоянной времени τ в k -й точке.

$$\text{ТКП} = \frac{\overline{d\tau}_{45^\circ\text{C}} - \overline{d\tau}_{20^\circ\text{C}}}{\tau_{\max} - \tau_{\min}} \cdot \frac{1}{45 - 20} \cdot 100, \quad (6)$$

где $\overline{d\tau}_{45^\circ\text{C}}$ и $\overline{d\tau}_{20^\circ\text{C}}$ – усредненные абсолютные значения погрешностей измерений постоянной времени при температурах 45°C и 20°C соответственно.

С целью исследований влияния положения правой границы временной базы t_2 и уровня k на метрологические характеристики ТА, его градуировка была выполнена при различных значениях t_2 и k . Время t_2 варьировалось в пределах от 4 до 20 с,

параметр k – от 0,1 до 0,9. Левый край участка временной базы фиксировался вблизи максимальной температуры термистора $T_w (t_1 \rightarrow 0)$.

Для описания градуировочной зависимости постоянной времени τ от массовой скорости ρv , использовалась функция (7), предложенная в [1]:

$$\tau = \frac{A}{B + (\rho v)^n}, \quad (7)$$

где A , B и n – постоянные коэффициенты, определяемые при градуировке.

В результате выполненных исследований были получены зависимости основных метрологических характеристик ТА от параметров t_2 и k . Данные зависимости представлены на рис. 6 – 8. Из результатов следует, что с увеличением t_2 и уменьшением k расширяется рабочий диапазон (рис. 6) и уменьшается средняя квадратичная погрешность градуировки (рис. 7).

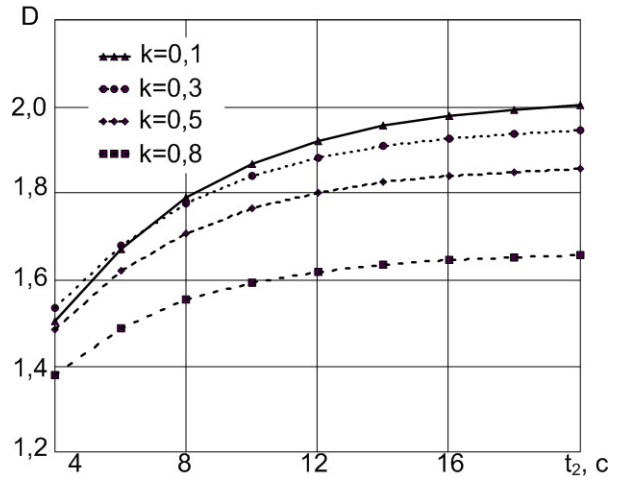


Рис. 6. Зависимости диапазона измерений постоянной времени ТЧЭ от положения правой границы участка градуировки t_2 при различных уровнях k

По результатам исследований также установлено, что при увеличении t_2 и уменьшении k уменьшается температурный коэффициент погрешности ТКП термоанемометра. Причем изменяется не только уровень ТКП, но и его знак (рис. 8). Это означает, что существуют некоторые оптимальные сочетания параметров t_2 и k , при которых ТКП=0 и показания ТА становятся инвариантными к изменениям температуры. Например, по полученным результатам имеем, что при $t_2=12$ с и $k=0,2$ ТКП практически равен нулю.

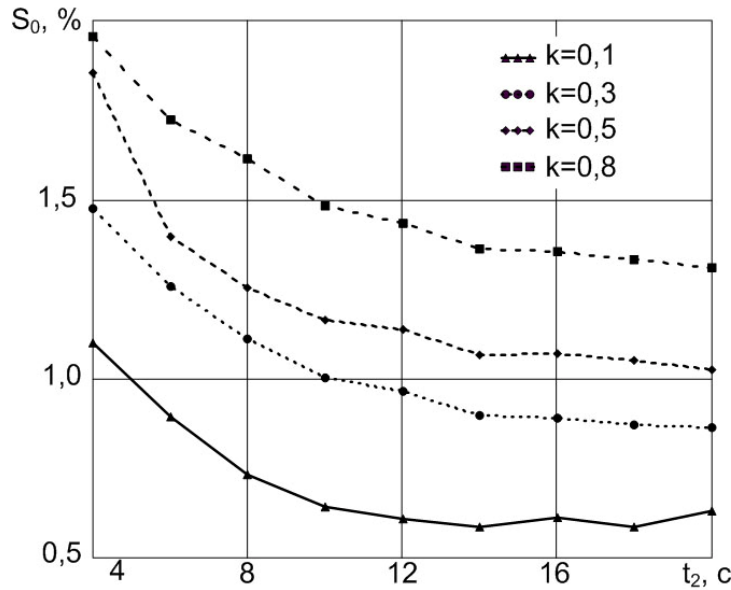


Рис. 7. Зависимости относительной средней квадратичной погрешности градуировки S_0 от положения правой границы участка градуировки t_2 при различных уровнях k

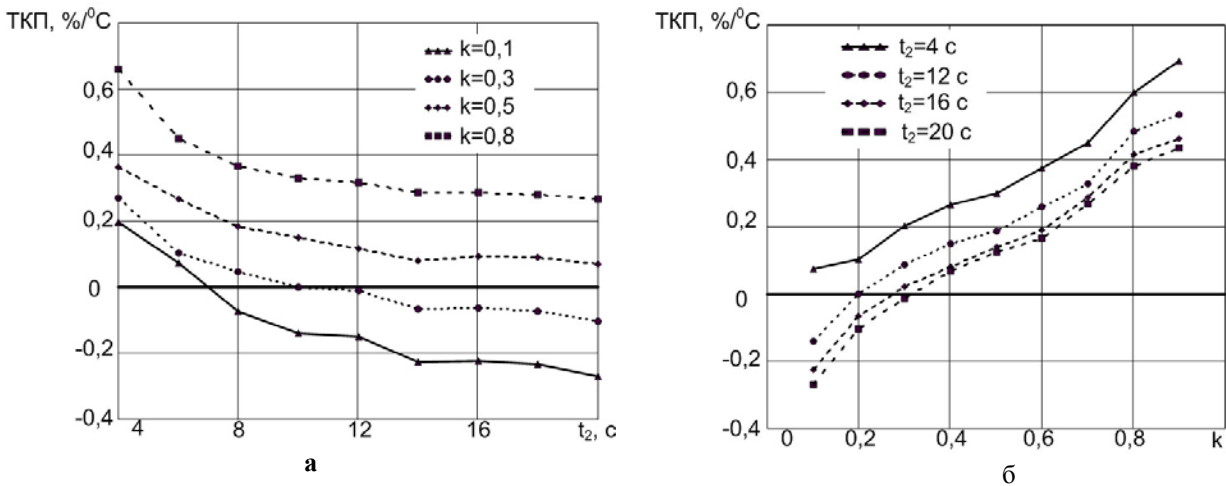


Рис. 8. Зависимости температурного коэффициента погрешности ТКП от параметра t_2 при различных значениях параметра k (а) и от параметра k при различных значениях t_2 (б)

Выводы

1. В результате выполненных исследований установлен характер влияния параметров t_2 и k на основные метрологические характеристики ТА: диапазон измерений, среднюю квадратичную погрешность измерений, температурный коэффициент погрешности.

2. Установлено, что существуют оптимальные соотношения между параметрами t_2 и k , при которых температурный коэффициент погрешности термоанемометра стремится к нулю, и его показания становятся инвариантными к изменениям температуры потока.

3. Практическая ценность полученных результатов заключается в обосновании возможности вы-

полнения градуировки термоанемометров с нестационарным режимом разогрева термочувствительного элемента при произвольной температуре воздушного потока.

4. Предложенные рекомендации по градуировке термоанемометров с нестационарным режимом разогрева термочувствительного элемента позволяют преодолеть один из основных недостатков классических термоанемометров, заключающийся в зависимости их показаний от температуры потока, с сохранением главных достоинств термоанемометров: широкого измерительного диапазона, простоты конструкции, отсутствия движущихся элементов, возможности измерений локальных скоростей.

Литература

1. Каримов Р.Х. Полупроводниковые термоанемометры косвенного подогрева / Р.Х. Каримов, В.Н. Жердев, В.Н. Романенко. – Т.: Фан., 1986. – 88 с.

2. Ярин Л.П. Термоанемометрия газовых потоков / Л.П.Ярин, А.Л. Генкин, В.И. Кулес. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 198 с.

3. Чуйко В.А. Экспериментальные исследования градуировочной характеристики импульсного термоанемометра / В.А. Чуйко, Д.Н. Кузнецов // Вычислительная техника и автоматика: сб. науч. труд. Нац. техн. ун-та «ДонНТУ». – Д., 2005. – Вып. 3. – С. 312-317.

4. Перспективы термоанемометрических методов измерения расхода газа или жидкости / М.А. Ураксеев, А.Ф. Романченко, Д.Р. Абрашитова, С.А. Шилова // Исследовано в России: Электронный журнал. – 2001. – Вып. 51. – С. 587-593.

5. Кузнецов Д.Н. Перспективы и некоторые варианты построения термоанемометров с нестационарным режимом разогрева термочувствительного элемента / Д.Н. Кузнецов, Ю.Д. Украинский // Вычислительная техника и автоматика: сб. науч. труд. Нац. техн. ун-та «ДонНТУ». – Д., 2006. – Вып. 107. – С. 159-164.

Поступила в редакцию 15.09.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедры «Электронная техника» Н.И. Чичикало, Донецкий национальный технический университет, Донецк.

ОСОБЛИВОСТІ ГРАДУЮВАННЯ ТЕРМОАНЕМОМЕТРІВ З НЕСТАЦІОНАРНИМ РЕЖИМОМ РОЗІГРІВУ ТЕРМОЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ

Д.М. Кузнецов, Ю.Д. Український, О.О. Морозов

Приведені результати експериментальних досліджень впливу параметрів градуювання термоанемометрів з нестационарним режимом розігріву термочутливого елемента на його основні метрологічні характеристики. Встановлено, що існують оптимальні співвідношення між параметрами градуювання, при яких температурний коефіцієнт погрешності термоанемометрів прагне до нуля, і його показання стають інваріантними до змін температури потоку. Обґрунтована можливість виконання градуювання термоанемометрів з нестационарним режимом розігріву термочутливого елемента при довільній температурі повітряного потоку, що спрощує і здешевлює процедуру градуювання.

Ключові слова: термоанемометр, параметри градуювання, температура потоку, метрологічні характеристики.

CALIBRATING FEATURES OF THERMOANEMOMETERS WITH NON-STATIONARY WARMING-UP MODE OF THERMO-SENSIBLE ELEMENT

D.N. Kuznetsov, U.D. Ukrainskiy, A.A. Morozov

An experimental research of the influence of calibration parameters on the basic metrology characteristics for thermoanemometers with the non-stationary warming-up mode of the thermo-sensible element has been made. An optimum relation between calibration parameters that causes the temperature coefficient of thermoanemometer error to aspire to zero is established, as a result it's testimonies become invariant to changes of the stream temperature. A possibility of calibration implementation for thermoanemometers with the non-stationary warming-up mode of thermo-sensible element is grounded for the arbitrary temperature of an air stream. Such an implementation substantially simplifies and reduces the price of calibrating process.

Key words: thermoanemometer, calibrating parameters, temperature of stream, metrology characteristics.

Кузнецов Дмитрий Николаевич – канд.техн. наук, доцент, доцент кафедры «Электронная техника», Донецкий национальный технический университет, e-mail: kuzen2000@rambler.ru.

Украинский Юрий Дмитриевич – канд.техн. наук, заведующий отделом №1 СКТБ «Турбулентность», Донецкий национальный университет, e-mail: turbul@interdon.net.

Морозов Александр Александрович – студент 5 курса факультета компьютерных информационных технологий и автоматика, Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина, e-mail: neiromantic-6@rambler.ru.