

## Сравнение чувствительности термоанемометров двух типов: импульсного и постоянной температуры

Пометун Е.Д.<sup>1</sup>, Кузнецов Д.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донецкий национальный университет,

<sup>2</sup>Донецкий национальный технический университет

Alternativa1903199@rambler.ru

*Пометун Е.Д., Кузнецов Д.Н. «Сравнение чувствительности термоанемометров двух типов: импульсного и постоянной температуры». Данная работа посвящена сравнению относительной чувствительности к скорости потока газа термоанемометров постоянной температуры на основе нити и термистора в качестве чувствительного элемента, а также импульсного термоанемометра на основе термопары. Выполненные исследования показали, что относительная чувствительность импульсного термоанемометра (ИТА) сохраняется постоянной в диапазоне измерений скоростей от 2 до 20 м/с и значительно превышает чувствительность термоанемометров постоянной температуры, с чувствительным элементом на основе вольфрамовой нити и NTC – термистора. По сравнению с термоанемометром постоянной температуры, область осреднения ИТА определяется размером спая. В данном случае размеры спая были равны 0,1 x 0,1 (мм) и в случае необходимости могут быть значительно уменьшены. Эти результаты могут быть использованы при разработке средств измерений на основе термопреобразователей для измерения средней скорости неизотермического потока газа.*

**Ключевые слова:** сравнение чувствительности, импульсный термоанемометр, термопара, термоанемометр постоянной температуры, первичный измерительный преобразователь

### Введение

Термоанемометрические методы широко применяются для измерения параметров воздушного потока в промышленности и научных исследованиях. Например, использование термоанемометров регламентировано Ведомственными строительными нормами [1].

Преимуществами термоанемометрического метода является низкая стоимость датчика и простота обрабатываемой аппаратуры, а также то, что геометрические размеры проволочных датчиков позволяют проводить измерения в области пограничного слоя. В то же время, термоанемометрические первичные измерительные преобразователи (ПИП) обладают рядом характерных недостатков: сильной зависимостью показаний от температуры потока и нелинейной зависимостью выходного электрического сигнала от скорости.

Температурная зависимость компенсируется различными способами, например, с использованием дополнительного измерительного канала температуры с последующей программной коррекцией выходного сигнала термоанемометра (ТА) [2] или с помощью специальных схемных решений. Сильная нелинейная зависимость выходного сигнала от скорости обусловлена особенностями теплообмена нагретого ПИП. Линеаризация такого выходного сигнала, как и при компенсации температурной зависимости, осуществляется

программными и аппаратными средствами. Нелинейность сигнала термоанемометрических ПИП ограничивает достоверность и диапазон измерений. В связи с этим, особый интерес представляет разработка и исследование новых принципов измерений скорости потока, основанных на термоанемометрическом методе.

### Термоанемометрические методы: принципы, особенности

В ДонНУ на кафедре ФНПМиЭ им. И.Л. Повха совместно с ДонНТУ разработаны и изготовлены ТА трех типов: на основе проволочного ПИП (диаметр проволоки 8 мкм), на основе термистора СТЗ-18 и ИТА на базе термопары [3].

В научно-исследовательской литературе, несмотря на практическую важность, отсутствует информация по сравнению чувствительности термоанемометров различных типов.

Целью работы является сравнение чувствительности ИТА и ТА постоянной температуры к скорости потока воздуха.

Принцип действия первых 2-х ТА основан на зависимости между скоростью потока и теплоотдачей чувствительного элемента (ЧЭ), помещенного в поток и нагретого электрическим током до постоянной температуры. Функциональная схема ТА постоянной температуры представлена на рисунке 1. Работа ТА постоянной температуры

основана на поддержании постоянным сопротивления датчика  $R_g$ , включенного в цепь моста Уинстона, составленного из элементов  $R_1 - R_2$ . При уменьшении сопротивления датчика  $R_g$ , вызванного увеличением теплообмена чувствительного элемента (ЧЭ) с окружающей средой, напряжение

на инвертирующем входе операционного усилителя (ОУ) уменьшается. В результате, на выходе ОУ напряжение увеличивается и ток, протекающий по цепи  $R_2, R_g$  разогревает датчик до исходного состояния. Таким образом, независимо от условий теплообмена, сопротивление и, следовательно, температура датчика поддерживается постоянной.

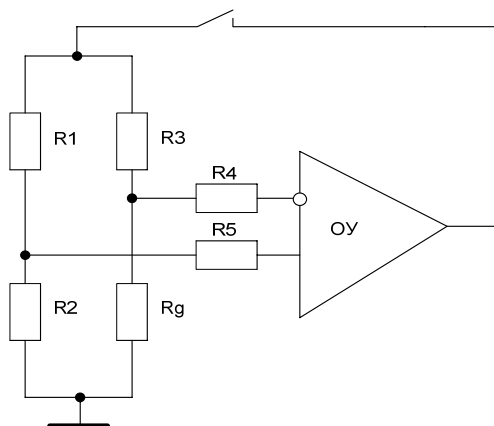


Рисунок 1. – Функциональная схема термоанемометра постоянной температуры

Принцип работы ИТА основан на измерении постоянной времени в процессе охлаждения спая термопары потоком воздуха при импульсном разогреве. Оценка перспектив использования ИТА включает измерение и анализ целого ряда параметров. По результатам [3] ИТА имеет существенное преимущество перед ТА, в частности, его температурная погрешность примерно на порядок меньше.

На рисунке 2 представлена функциональная схема ИТА. Рассмотрим принцип ее работы. Выполнение измерений начинается по команде компьютера. Микроконтроллер посредством

цифроаналогового преобразователя (ЦАП) формирует короткий импульс нагрева термопары амплитудой 2 вольта и длительностью порядка 50 мс. Сигнал с выхода ЦАП поступает на мощный повторитель напряжения, собранный на элементах DA1 и VT1. Нагрузкой повторителя является термопара. Электрическое сопротивление термопары составляет порядка 2 Ом, а максимальный ток разогрева достигает 1 А. За короткий интервал времени действия импульса рабочий спай термопары разогревается до температуры порядка 100 – 200 °С.

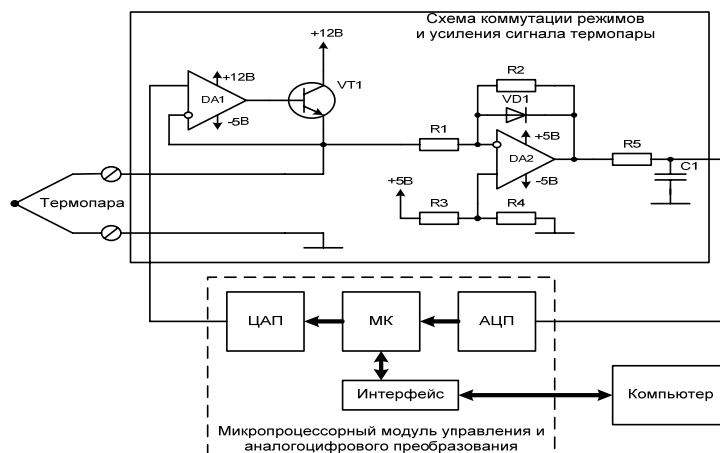


Рисунок 2. – Функциональная схема ИТА

После отключения импульса нагрева транзистор VT1 запирается, и термопара переходит в режим генерации термоЭДС. Измерительный сигнал усиливается инвертирующим усилителем с коэффициентом усиления по напряжению порядка 400, собранным на элементах DA2, R1..R4 и через фильтр нижних частот R5, C1 поступает на аналого-цифровой преобразователь микропроцессорного модуля. Для регистрации переходной характеристики остывания термопары микроконтроллер сохраняет 300 значений с периодом дискретизации 10 мс и выдает полученный массив измерительных данных в компьютер для сохранения и дальнейшей обработки результатов.

Каждый из типов ТА имеет свои преимущества и недостатки. ТА постоянной температуры позволяет получать непрерывный аналоговый электрический сигнал, необходимый для измерения быстро изменяющихся параметров потока, например, интенсивность турбулентности. Однако, по сравнению с ИТА его чувствительность к изменению температуры потока почти на порядок выше. В то же время, существует ряд задач, для решения которых могут использоваться анемометры двух типов. Одной из таких задач является измерение средней скорости потока газа. Важнейшей метрологической характеристикой, позволяющей сравнивать средства измерительной техники, является чувствительность. РМГ 29 – 99 [4] определяет чувствительность как отношение приращения входного сигнала к выходному:

$$S = \frac{df(E)}{dV}, \quad (1)$$

где  $f(E)$  – некоторая аналитическая функция,  $E$  – выходное напряжение термоанемометров,  $V$  – скорость потока воздуха.

### Экспериментальное сравнение чувствительности термоанемометров

Для определения чувствительности ПИП были получены экспериментальные зависимости между скоростью потока воздуха и выходным электрическим сигналом (градуировочные зависимости) для каждого типа датчика. Эти данные, представленные в табличном виде, аппроксимировались аналитическими функциями.

Определение градуировочной зависимости выполнялось по общей для всех датчиков методике. На аэродинамической трубе АДС 200/250 [5] устанавливалась постоянная температура потока воздуха, равная  $T = 35$  °С и скорость от 2 м/с до 20 м/с. Датчики располагались на срезе сопла, в центре потока. Температуры перегревов для датчиков ТА постоянной температуры и ИТА устанавливались идентичными и равными 100 °С. Для уменьшения случайной составляющей погрешности было выполнено по 5 измерений в каждой точке для каждого типа датчиков. Осредненные результаты измерений для ТА постоянной температуры представлены на рисунке 3, а для ИТА на рисунке 4.

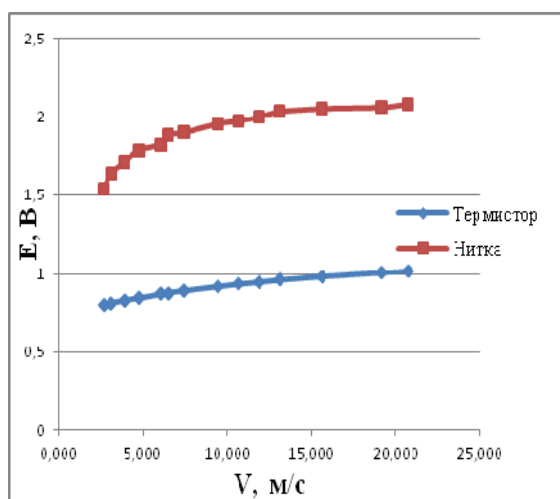


Рисунок 3. – Зависимость между выходным напряжением и скоростью потока газа для ТА постоянной температуры

Для определения чувствительности и сравнения полученных результатов выполнено нормирование экспериментальных данных и построены аппроксимирующие экспериментальные

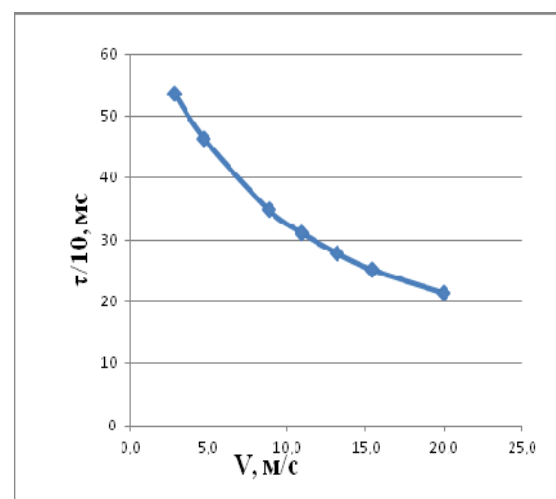


Рисунок 4. – Зависимость между постоянной времени термопары ИТА и скоростью потока газа

функции. Для ИТА использовалась функция, обратная градуировочной. В соответствии с [2] градуировочные характеристики представлены полиномами со степенью  $n = 4$ .

Чувствительность преобразователей определялась по соотношению (1). Анализ показывает, что чувствительность ТА постоянной температуры слабо зависит от типа ПИП, имеет максимальное значение при минимальной скорости и нелинейно убывает с увеличением скорости. Для ИТА величина, обратная постоянной времени, имеет размерность частоты. Зависимость между

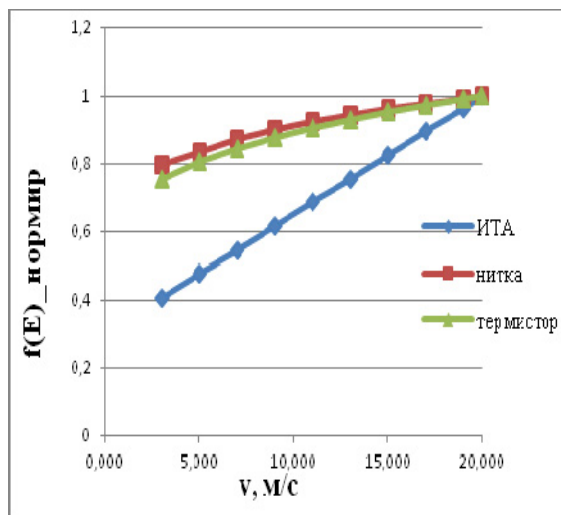


Рисунок 5. – Зависимость между нормированными значениями выходного сигнала и скоростью для 3-х типов термоанемометров

Особый интерес для практических целей представляет зависимость чувствительности от скорости в диапазоне ниже 2 м/с. Можно предположить, что ТА постоянной температуры будет иметь сложную зависимость от скорости, обусловленную конвективным теплообменом. Линейность ИТА в области низких скоростей нуждается в дополнительном исследовании.

#### Выводы:

1. Выполненные исследования показали, что чувствительность ИТА может быть принята равной константе в диапазоне 2 – 20 м/с. Чувствительность ТА на основе нитки и термистора имеет максимальное значение при минимальных скоростях и резко уменьшается с ростом скорости.
2. Постоянная чувствительность ИТА в диапазоне от 2 до 20 м/с в неизотермическом потоке позволяет значительно упростить процесс градуировки.
3. По сравнению с ТА постоянной температуры, область осреднения ИТА определяется размером сая. В данном случае размеры сая были равны 0,1 x 0,1 (мм) и в случае необходимости могут быть значительно уменьшены.

изменением частоты и скоростью потока (рис. 5) близка к линейной функции с постоянным тангенсом угла наклона, т.е. чувствительность ИТА была постоянной во всем диапазоне скоростей.

Зависимость чувствительности от скорости потока для трех типов термоанемометров представлена на рисунке 6.

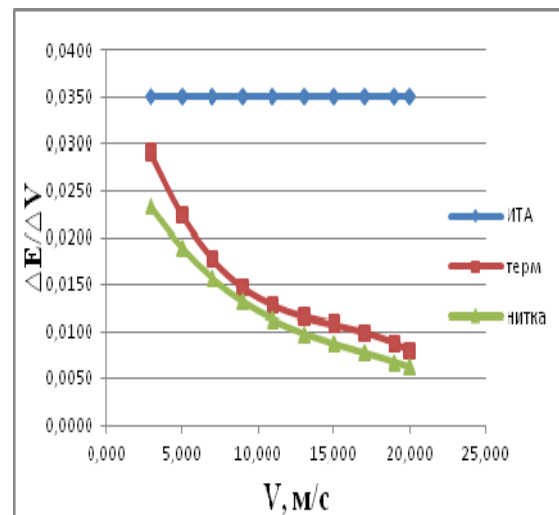


Рисунок 6. – Зависимость чувствительности от скорости потока

#### Литература

1. Ведомственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждающих конструкций зданий с применением тепловизоров. ВСН 43 – 96. – [введ. 01.10.1996]. – М: Мосстройлицензия, 1996. – 12 с.
2. Пометун Е.Д., Лебедев В.Н., Никула М.А. Оптимизация функции аппроксимации градуировочной характеристики термоанемометра. // Збірник наукових праць студ. наук. конф. Донецького національного університету. Донецьк: ДонНУ.
3. Кузнецов Д.Н., Лебедев В.Н., Перебийнос В.В. Исследование импульсного термоанемометра с термопарой в качестве термочувствительного элемента. // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. Выпуск 23 (201). – Донецк: ДонНТУ, 2012. С. 170 – 176.
4. ГСИ. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Основные термины и определения. РМГ 29 – 13 – Взамен РМГ 29 – 99 – [Введ. 01.01.99]. – М.: Стандартинформ, 2014. – 58 с.

5. Кузнецов Д.Н., Дьяченко А.А., Чупис Д.А. Настройка оптимального регулятора температуры воздушного потока аэродинамического стенда АДС – 200/250. Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. Выпуск – 21 (183) – Донецк, ДонНТУ, 2011. С. 171 – 177.

**Пометун Е.Д., Кузнецов Д.М. “Порівняння чутливості термоанемометрів двох типів: імпульсного та постійної температури”.** Дана робота присвячена порівнянню відносної чутливості до швидкості потоку газу термоанемометрів постійної температури на основі нитки і термістора в якості чутливого елемента, а так само імпульсного термоанемометра на основі термопари. Виконані дослідження показали, що відносна чутливість імпульсного термоанемометра зберігається постійною в діапазоні вимірювань швидкостей від 2 – 20 м / с і значно перевищує чутливість термоанемометрів постійної температури, з чутливим елементом на основі вольфрамової нитки і NTC – термістора. У порівнянні з ТА постійної температури, область осереднення ІТА визначається розміром спаю. У даному випадку розміри спаю дорівнювали 0,1 x 0,1 (мм) і в разі необхідності можуть бути значно зменшені. Ці результати можуть бути використані при розробці засобів вимірювань на основі термоперетворювачів для вимірювання середньої швидкості неізотермічного потоку газу.

**Ключові слова:** порівняння чутливості, імпульсний термоанемометр, термопара, термоанемометр постійної температури, первинний вимірювальний перетворювач

**E. Pometun, D.Kuznetsov “Comparison of the sensitivity thermoanemometers two types are of pulsed and constant temperature”.** This work is devoted to compare the relative sensitivity to the gas flow rate at a constant temperature of thermo-anemometers based of wire and a thermistor sensor, as well as pulse based thermoanemometer thermocouple. To determine the sensitivity of the transducers were obtained by the experimental relationship between air flow rate and output an electric signal (calibration curves) for each sensor type. These data are presented in tabular form, approximated by analytic functions. Determination of calibration curve was performed according to the general procedure for all sensors. At the wind tunnel ADS 200/250 [5] establishes a persistent airflow temperature equal to  $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  and the speed of 2 m / s to 20 m / s. Sensors located at the nozzle exit, in the middle of the stream. The studies showed that the relative sensitivity thermoanemometer pulse remains constant in the measuring range of speeds from 2 – 20 m / s or considerably higher than the sensitivity of thermo-anemometers constant temperature sensing element based on a tungsten filament and NTC – thermistor. Compared with the TA constant temperature, the region defined by the size of the averaging ITA junction. In this case the dimensions of the junction are equal to 0.1 x 0.1 (mm) and if necessary may be significantly reduced. These results can be used for development on the basis of measuring thermocouples for measuring the average nonisothermal gas flow velocity.

**Keywords:** comparison of sensitivity, pulse anemometer, thermocouple, termoanemometr constant temperature transducer

Статья поступила в редакцию 15.01.2014

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Ф.В. Недопекиным