

Д.Н. Кузнецов, В.Н. Лебедев, А.Н. Левченко
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра электронной техники
Донецкий национальный университет, г. Донецк
СКТБ «Турбулентность»

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА МАЛОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА ГРАДУИРОВКИ И ИССЛЕДОВАНИЙ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕРМОАНЕМОМЕТРОВ

Аннотация

Кузнецов Д.Н., Лебедев В.Н., Левченко А.Н. Электронная система малого аэродинамического стенда градуировки и исследований импульсных термоанемометров. В статье рассмотрены основные функциональные узлы электронной системы измерений и управления малым аэродинамическим стендом, приведены результаты исследований ее основных характеристик, даны рекомендации по применению спроектированного стенда при исследованиях импульсных термоанемометров и в лабораторном практикуме.

Ключевые слова: электронная система, аэродинамический стенд, градуировка, импульсный термоанемометр.

Актуальность.

Для измерений скорости и расхода газовых потоков в настоящее время широко применяют термоанемометрические датчики, которые при всей своей простоте имеют большой диапазон измерений, высокую чувствительность, выходной электрический сигнал, не требующий дополнительного усиления. Кроме того, термоанемометры не содержат подвижных механических элементов, сразу измеряют массовую скорость и практически не вносят возмущений в поток. Большим недостатком классических термоанемометрических измерителей постоянного тока и постоянной температуры является зависимость их показаний от температуры потока газа, что существенно усложняет их градуировку.

Перспективными в плане нечувствительности показаний к изменениям температуры потока являются термоанемометры с, так называемым, нестационарным режимом разогрева термочувствительного элемента, к которым также относят импульсные термоанемометры. Принцип действия импульсных термоанемометров основан на зависимости тепловой постоянной времени термочувствительного элемента (пленки, проволоки, термистора) от скорости потока газа, которая по результатам исследований [1-3] является практически инвариантной к изменениям температуры рабочей среды.

Однако по импульсному режиму работы термоанемометров остается ряд нерешенных задач, в основном касающихся регистрации и обработки измерительных сигналов и повышения быстродействия, для решения которых необходимы дополнительные исследования.

Большой объем запланированных исследований предполагает активное использование аэродинамической трубы. Однако доступ к большим аэродинамическим стендам, как правило, строго ограничен, что зачастую является большой проблемой на пути изучения импульсных термоанемометров.

Для преодоления данной проблемы на кафедре физики неравновесных процессов, метрологии и экологии при участии специалистов СКТБ «Турбулентность» ДонНУ была разработана и сконструирована малая аэродинамическая труба и возникла задача, требующая

разработки электронной системы для управления режимами ее работы и регистрации измерительных данных.

Постановка задач исследований.

Основными задачами работы являются:

- 1) Разработка электронной системы управления и регистрации измерительных данных малого аэродинамического стенда.
- 2) Градуировка и исследование основных метрологических характеристик малого аэродинамического стенда.

Разрабатываемая электронная система должна выполнять следующие функции:

- управлять скоростью потока путем регулировки частоты оборотов двигателя аэродинамической трубы;
- управлять тепловыми режимами импульсного термоанемометра;
- измерять температуру потока;
- регистрировать и визуализировать измерительные данные на персональном компьютере.

Решение поставленной задачи.

Конструкция малой аэродинамической трубы, для которой разрабатывается электронная система управления и измерения, представлена на рисунке 1. Согласно принятой классификации [4], труба относится к типу незамкнутых аэродинамических труб с открытой рабочей областью. Основными элементами ее конструкции являются: камера двигателя с двигателем постоянного тока, собственно труба с размещенным в ней хонейком, конфузор и сопло. Двигатель нагнетает воздух в трубу, хонейком выравнивает и формирует воздушный поток, в конфузоре происходит его сжатие и на выходе сопла создается воздушный поток с необходимыми характеристиками.

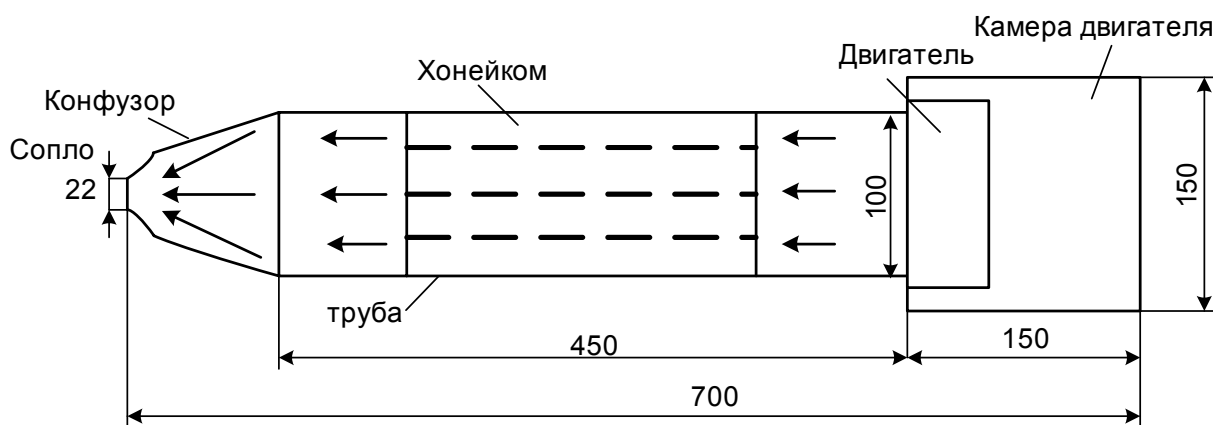
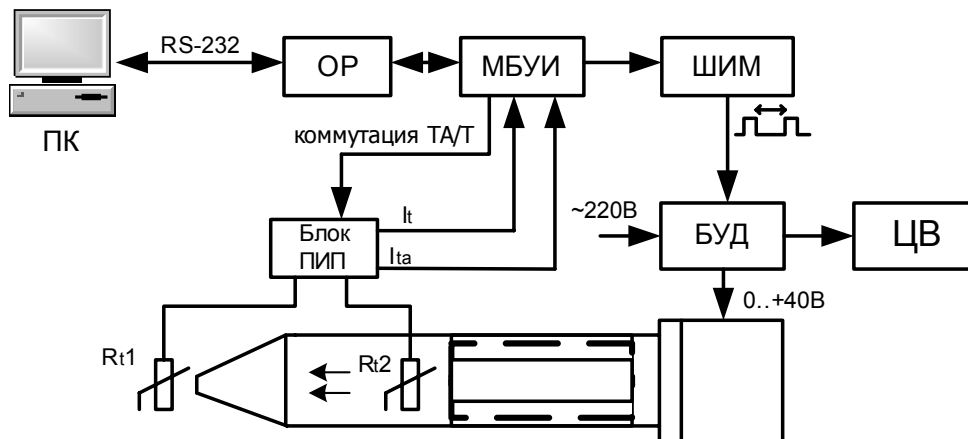


Рисунок 1 – Конструкция малой аэродинамической трубы

Структурная схема разрабатываемой электронной системы представлена на рисунке 2. Для выдачи команд управления режимами работы импульсного термоанемометра и для регистрации и визуализации измерительных данных используется персональный компьютер ПК.

Обмен данными между ПК и микропроцессорным блоком управления и измерения МБУИ осуществляется посредством стандартного интерфейса RS-232, дополненного блоком оптической развязки сигналов ОР. Кроме обеспечения обмена данными с ПК микропроцессорный блок управления и измерения МБУИ коммутирует режимы работы импульсного термоанемометра, входящего в состав блока первичных измерительных преобразователей ПИП, выполняет функции измерения уровней токовых сигналов термометра (I_t) и термоанемометра (I_{TA}), а также управляет частотой оборотов двигателя

аэродинамической трубы посредством ШИМ. ШИМ-сигнал поступает в блок управления двигателем БУД, на выходе которого формируется управляющее напряжение постоянного тока в диапазоне от 0 до +40 В. Для контроля напряжения на двигателе используется цифровой вольтметр ЦВ. В качестве чувствительных элементов термоанемометра (Rt1) и термометра (Rt2) используются малогабаритные бусиновые термисторы фирмы «Epcos».



ПК - персональный компьютер; ОП - опторазвязка; ПИП - первичный измерительный преобразователь; МБУИ - микропроцессорный блок управления и измерения БУД - блок управления двигателем; ЦВ - цифровой вольтметр

Рисунок 2 – Структурная схема электронной системы малого аэродинамического стенда

Функциональная схема термометра приведена на рисунке 3. В термометре реализована следующая цепочка измерительных преобразований. Температура потока изменяет сопротивление термистора Rt; измерительный преобразователь на операционном усилителе (ОУ) DA1 преобразует изменения сопротивления Rt в пропорциональные изменения напряжения U_t; второй измерительный преобразователь на ОУ DA2 формирует токовый сигнал в нагрузке I_t.

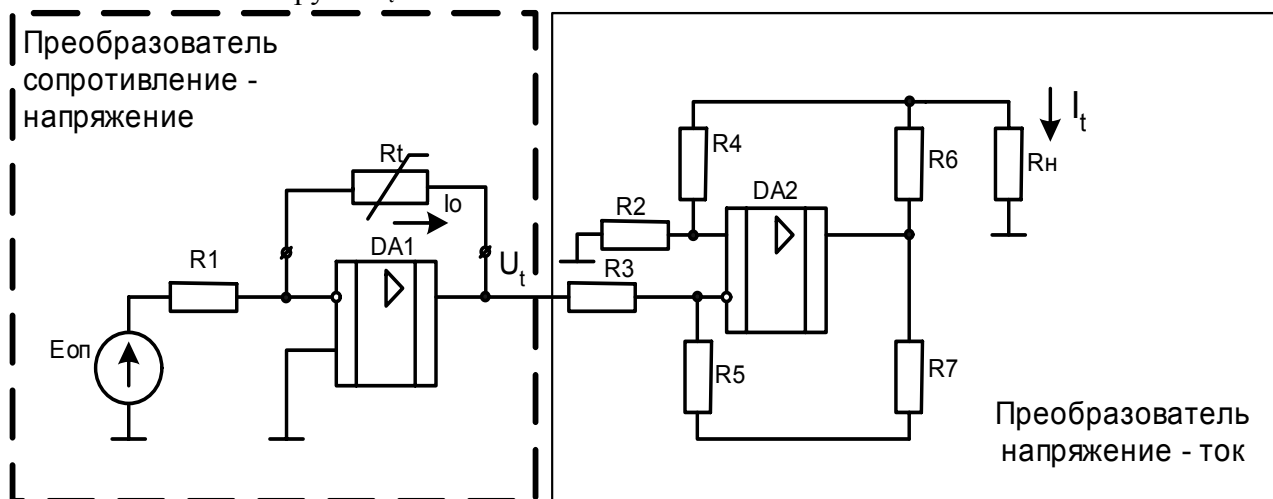


Рисунок 3 – Функциональная схема термометра

Общая функция преобразования схемы термометра имеет вид

$$I_t(T) = E_{on} \cdot \frac{Rt(T)}{R1} \cdot \frac{R5 + R7}{R3 \cdot R4}$$

На рисунке 4 представлена функциональная схема импульсного термоанемометра. Переключение между режимами большого и малого токов (нагрев и остывание) осуществляется посредством контактов реле К1..К3. Исходное положение контактов на

схеме соответствует режиму термоанемометра постоянной температуры. Для преобразования измерительного сигнала к токовому виду используется преобразователь напряжение-ток ПНТ, аналогичный схеме термометра. Микропроцессорный блок управления и измерений выполнен на базе микросхемы микроконвертера ADuC834 от «Analog Device». Данная микросхема содержит высококачественный 24-разрядный сигма-дельта АЦП, высокопроизводительный микроконтроллер и модуль ШИМ.

Итоговое конструктивное оформление малого аэродинамического стенда представлено на фото рис.5. Все элементы стенда кроме ПК закреплены на листе ДСП размерами 100x50x1,5 сантиметров. Небольшие габариты и масса стенда позволяют без особых усилий переносить его из аудитории в аудиторию и использовать как в горизонтальной, так и в вертикальной (настенный вариант) ориентации, что значительно расширяет возможные области его применения.

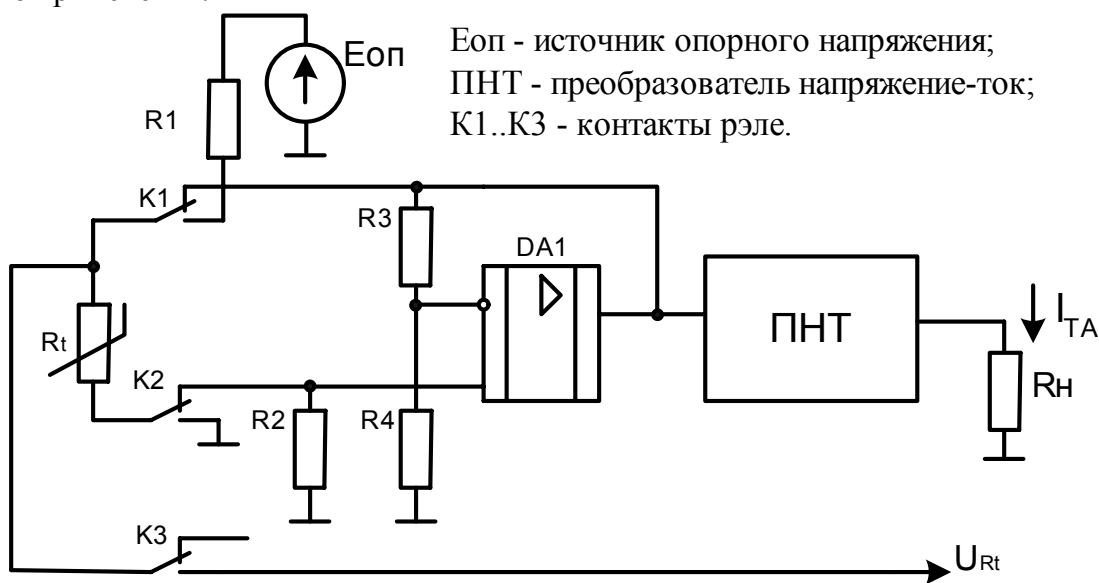


Рисунок 4 – Функциональная схема импульсного термоанемометра

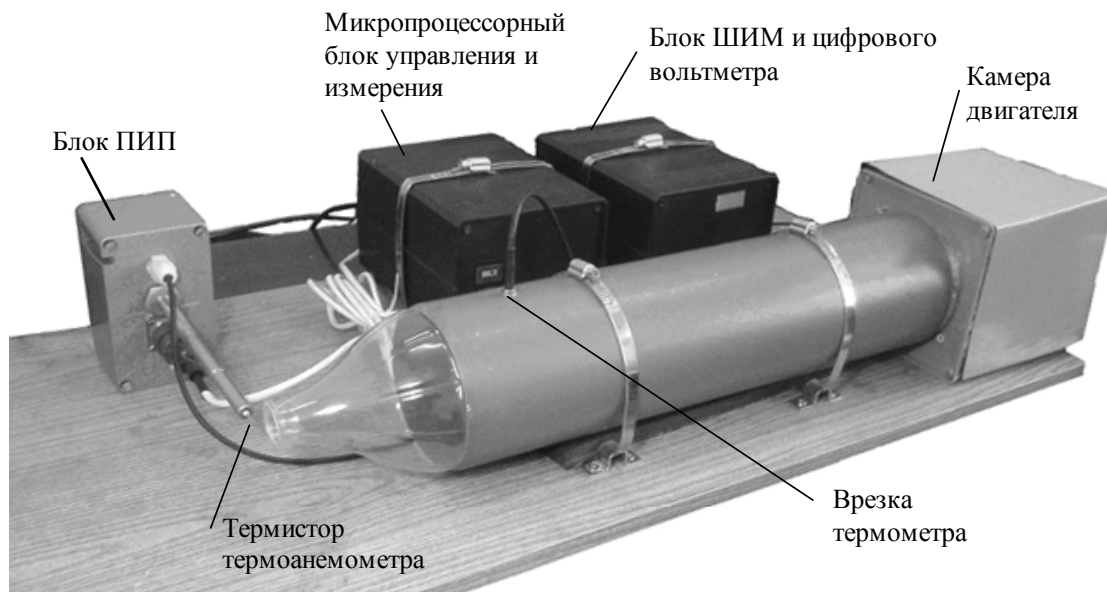


Рисунок 5 – Фото конструкции аэродинамического стенда

Полученные результаты.

В ходе экспериментальных исследований малого аэродинамического стенда была выполнена его градуировка, снят профиль скорости на выходе сопла и осуществлена регистрация измерительных данных от импульсного термоанемометра.

Градуировка аэродинамического стенда заключалась в экспериментальном определении зависимости скорости воздушного потока на выходе сопла v от напряжения, приложенного к двигателю U . При градуировке в качестве образцовых средств измерения скорости воздушного потока использовалась трубка Пито, аттестованная ФГУП «ВНИИМ им. Менделеева» с погрешностью 1 % и водяной микроанометр МКВ-2500-0,02 с пределом измерений 2500 Па и приведенной погрешностью 0,02 %. Результаты градуировки приведены на рисунке 6.

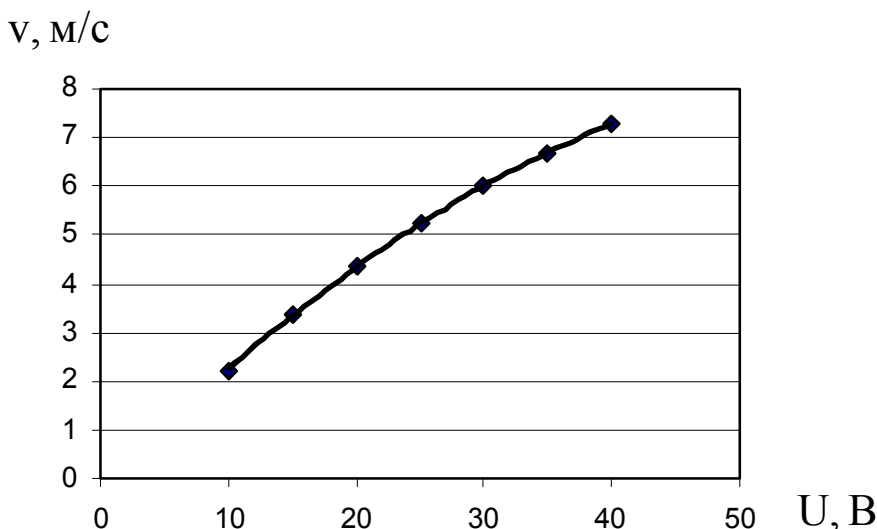


Рисунок 6 – Зависимость скорости воздушного потока на выходе сопла от напряжения на двигателе

Результаты снятия профиля средней скорости на выходе аэродинамической трубы представлены на рисунке 7. Из результатов следует, что профиль скорости в ядре потока равномерный, симметричный и не имеет провалов.

Таким образом, данная аэродинамическая труба, несмотря на простоту конструкции, формирует в рабочей области воздушный поток вполне пригодный для градуировки точечных измерителей скорости.

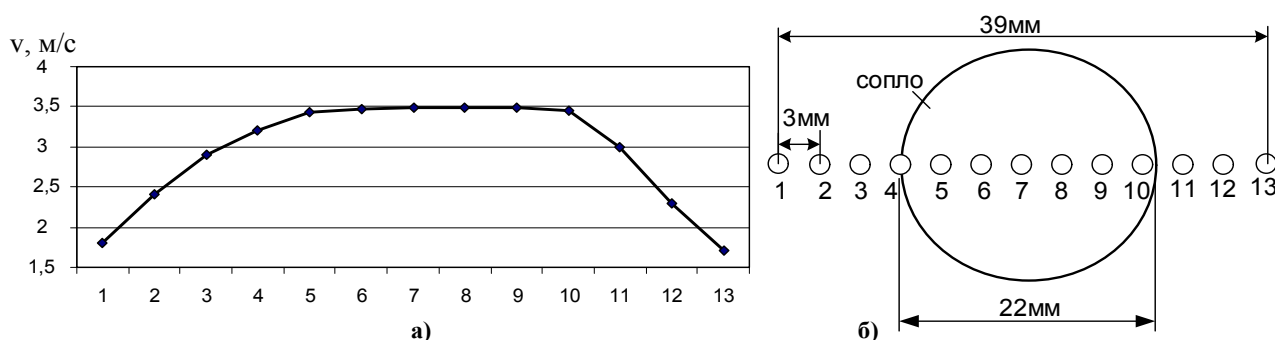


Рисунок 7 – Профиль средней скорости воздушного потока на выходе трубы (а) и расположение точек при снятии профиля (б)

В заключении был выполнен эксперимент по регистрации измерительных данных от импульсного термоанемометра. Драйвер программного обеспечения для ПК написан на

Delphi 7. Програма дозволяє управляти швидкістю потоку, вибирати режим роботи імпульсного термоанемометра, виміряти температуру потоку і реєструвати вимірні дані з виводом на графік і в файл.

Результати роботи програми приведені на рисунку 8. Дані виводяться на графік і накопичуються в вигляді масива з можливістю збереження в файл для подальшої комп'ютерної обробки. Період дискретизації становить 50 мс.

Окно програми відображає одночасно 200 точок, що за тривалістю відповідає 10-ти секундам.

Крім того, в програмі реалізована функція масштабування графіка, що дозволяє оперативно деталізувати цікаві ділянки.



Рисунок 8 – Окно программы управления режимами и регистрации измерительных данных малого аэродинамического стенда

Выводы.

1. Разработанная электронная система малого аэродинамического стенда за счет высокой степени автоматизации процесса измерений и регистрации экспериментальных данных позволяет существенно упростить и ускорить исследования импульсных термоанемометров.
2. Разработанный малый аэродинамический стенд в виду простоты его конструкции, несложного обслуживания, мобильности, безопасности и малого энергопотребления является разумной альтернативой большим аэродинамическим трубам в лабораторном практикуме и научно-исследовательских работах студентов и аспирантов.

Литература

1. Перспективы термоанемометрических методов измерения расхода газа или жидкости / М.А. Ураксеев, А.Ф. Романченко, Д.Р. Абдрашитова, С.А. Шилова // Электронный журнал "Исследовано в России". – 2001. – Вып. 51. – С. 587 – 593.
2. Чуйко В.А. Экспериментальные исследования градуировочной характеристики импульсного терманеометра / В.А. Чуйко, Д.Н. Кузнецов // Вычислительная техника и автоматика: сб. науч. труд. Нац. тех. ун-та. «ДонНТУ». – Вып. 3. – Донецк., – 2005. – С. 312-317.
3. Кузнецов Д.Н., Украинский Ю.Д., Морозов А.А. Особенности градуировки термоанемометров с нестационарным режимом разогрева термочувствительного элемента. Научно-технический журнал «Радиоелектронні і комп'ютерні системи». Випуск 3(30). – Харків: ХАІ, 2008. – С.23–28.
4. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1974, – 480 с.

Abstract

Kuznetsov D., Lebedev V., Levchenko A. Electronic system of small aerodynamic stand calibration and studies of pulsed hot-wire anemometers. The article considered the basic functional nodes of electronic measurement systems and management of small aerodynamic stand, the results of research of its basic characteristics are given recommendations on the application of the stand designed for studies of pulsed hot-wire anemometers in the laboratory workshop.

Keywords: *electronic system, aerodynamic stand, graduation, pulse anemometers.*

Аннотація

Кузнецов Д.М., Лебедєв В.М., Левченко А.М. Електронна система малого аеродинамічного стенда градування і досліджень імпульсних термоанемометрів. У статті розглянуті основні функціональні вузли електронної системи вимірювань і управління малим аеродинамічним стендом, приведені результати досліджень її основних характеристик, дані рекомендації по застосуванню спроектованого стенда при дослідженнях імпульсних термоанемометрів і в лабораторному практикумі.

Ключові слова: *електронна система, аеродинамічний стенд, градування, імпульсний термоанемометр.*

Здано в редакцію:
10.03.2010р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Зорі А.А..