

УДК 533.6.07+681.518.3

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРА ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В АЭРОФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

¹Грек Г.Р., ¹Бойко А.В., ^{1,2}Гилев В.М., ¹Зверков И.Д., ¹Сорокин А.М.

¹Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
Новосибирск;

²Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск,
e-mail: gil@itam.nsc.ru

В данной работе представлена система, разработанная для автоматизированного проведения термоанемометрических измерений в аэрофизическом эксперименте. С помощью описываемой системы производится измерение и автоматизированный ввод в компьютер, как параметров среднего потока (U), так и пульсационной составляющей скорости течения (u'). Обработка полученных экспериментальных результатов осуществлялась специальной программой, написанной в среде MATLAB.

Ключевые слова: малотурбулентная аэродинамическая труба дозвуковых скоростей, термоанемометрические измерения, автоматизированная система сбора экспериментальных данных

THE AUTOMATED SYSTEM OF HOT-WIRE ANEMOMETER INFORMATION ACQUISITION IN THE AEROPHYSICAL EXPERIMENT

¹Grekh G.R., ¹Boyko A.V., ^{1,2}Gilyov V.M., ¹Zverkov I.D., ¹Sorokin A.M.

¹Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Novosibirsk;

²Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: gil@itam.nsc.ru

System developed for automated carrying out of hot-wire anemometrical measurements in the aerophysical experiment is presented in the given work. Measurements of the mean (U) and fluctuation (u') streamwise velocity components, their input in a computer and data processing it is carried out automatically with help of this system. Data processing of the experimental results are carried out by the special program written in MATLAB environment.

Keywords: low turbulence subsonic wind tunnel, hot-wire measurements, automated system of experimental data acquisition

В Институте теоретической и прикладной механики (ИТПМ) им. С.А. Христиановича СО РАН широким фронтом проводятся фундаментальные научные исследования по изучению устойчивости течений и процесса перехода их к турбулентности. Исследования подобных вопросов проводятся в аэродинамической трубе с низким уровнем турбулентности Т-324 [1]. При проведении экспериментальных исследований подобного типа важно получение количественных данных о распределении средней скорости потока (U) и пульсациях скорости (u') в пограничном слое. Для этой цели используется хорошо зарекомендовавший себя метод термоанемометрии [2]. Для повышения эффективности проведения подобных исследований в настоящее время на аэродинамической трубе Т-324 создается автоматизированный измерительный комплекс (АИК), с помощью которого обеспечивается автоматическое трехмерное сканирование поля течения в аэрофизическом эксперименте [3]. Использование АИК позволяет на несколько порядков увеличить количество считываемых точек [4]. Для проведения подобных экспериментов к настоя-

щему времени создана первая часть представляемой системы – автоматизированное сканирующее устройство, с помощью которого по заданной программе с высокой точностью производится перемещение датчика термоанемометра в рабочей части аэродинамической трубы [5 – 6]. В данной работе представлен следующий этап выполняемой работы – подсистема для автоматизированного считывания данных термоанемометра и занесения результатов эксперимента в компьютер для их последующей обработки и долговременного хранения.

Система считывания и обработки сигналов датчика термоанемометра

Передвижение датчика термоанемометра в рабочей части аэродинамической трубы и считыванием данных эксперимента производится с использованием компьютера. Средняя и пульсационная продольная составляющая скорости потока измерялись с помощью термоанемометра постоянной температуры AN-1003 (рис. 1) фирмы А.А. Labs (Израиль). AN-1003 представляет собой многофункциональный высокоточный анемометр для выполнения измерений скорости в газе и жидкостях.



Рис. 1. Термоанемометр AN-1003

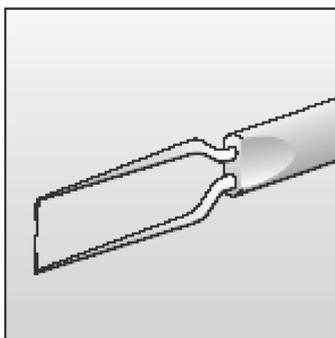


Рис. 2. Датчик термоанемометра

Анемометр может измерять скорости от нулевых значений до сверхзвуковых. В настоящее время он используется в различных ведущих институтах и университетах по всему миру, где за годы работы заслужил репутацию точного инструмента и стал надёжным орудием для учёных и инженеров. Он особенно подходит для фундаментального изучения течений, потому что содержит фильтр в каждом канале и аналоговый дифференциальный усилитель со смещением напряжения, который используется для отсекающей постоянной компоненты входного сигнала и улучшает динамический диапазон системы и её разрешение. Каждый канал имеет встроенную защитную цепь датчика, которая позволяет работать с высокочувствительными термоанемометрическими датчиками. Следующее преимущество AN-1003 – это его модульность. В него могут быть смонтированы или заменены до 10 каналов без влияния на настройку остальных, которые уже оттарированы под другой эксперимент.

Требующиеся для термоанемометра датчики изготавливались в ИТПМ СО РАН. Датчик имеет высокую чувствительность к скорости потока, а также наивысший частотный отклик. Он состоит из стального нержавеющей корпуса с выведенными

сквозь него коническими державками, которые имеют диаметр на конце порядка 0.1 миллиметра. Чувствительный элемент датчика – вольфрамовая проволока диаметром 5 микрон, которая приваривается методом точечной сварки к заострённому концу датчика. Длина чувствительного участка 1,2 мм. Такой датчик специально разработан для измерения степени турбулентности газовых потоков.

В компьютере устанавливается 12-и разрядная плата АЦП типа РС1-6023Е (рис. 3), которая содержит 8 каналов. Это даёт возможность собирать данные с нескольких термоанемометров, а также с датчиков температуры, датчика барометрического давления и дифференциального давления. Все это позволяет быстро проводить тарировку датчиков термоанемометра, а также с помощью микронасадка статического давления в автоматическом режиме проводить сканирование распределения давления по поверхности модели.

Чтобы исключить электрические помехи, используется специальный экранированный кабель, соединяющий компьютер с блоком ВНС-выходов (BNC block NI BNC-6120). Данный блок обеспечивает функции генератора сигналов, импульсного датчика положения, температурной по-

правки при соединении с термопарой или с резистивным температурным датчиком, который используется при проведении исследований в области газовой динамики методом компенсации перегрева нити при изменении температуры окружающей среды. Термоанемометр и соединительный блок подключается с помощью стандартного коаксиального кабеля длиной 5 метров, имеющего BNC разъема.

Накопленные данные обрабатываются на персональном компьютере в среде MATLAB. Выбор среды был обусловлен тем, что она содержит множество процедур, необходимых для сбора данных, обработки сигнала и визуализации. Выходной сигнал снимается с нити термоанемометра с помощью платы АЦП. Практически все драйверы, необходимые для работы с платой АЦП, содержатся в MATLAB, как часть Data Acquisition Toolbox.

Нить термоанемометра тарируется в потоке, она устанавливается рядом с трубкой Пито-Прандтля. Трубка соединяется с датчиком очень низкого перепада давления Omega PX2650-10D5V. Датчик имеет встроенное устройство смещения напряжения, которое позволяет исключить электрический шум, значительно влияющий

на точность измерения среднего давления. Точность измерения составляет $\pm 1\%$ измеряемой величины давления.

При тарировании термоанемометра обычно применяется закон Кинга

$$U=(A+BE^2)^{1/n},$$

где E – это напряжение с анемометра, U – соответствующая скорость набегающего потока, A , B , и n – константы, которые выбираются из расчёта наилучшего приближения к тарировочным данным. В данной программе тарировки используется модифицированная функция

$$U=k_1(E^2-E_0^2)^{1/n} + k_2(E-E_0)^{1/2},$$

где E_0 – напряжение с анемометра при нулевой скорости, и k_1 , k_2 , – подбираемые константы. Величина $1/n$ обычно близка к 2. Второй полуэмпирический член учитывает вклад от свободной конвекции при малых скоростях и делает возможным проведение корректных измерений нитью термоанемометра вблизи стенки. Точность определения средней скорости потока лежит в пределах 2% от скорости в набегающем потоке. На рис. 4 приведена типичная кривая, полученная в результате тарировки датчика термоанемометра.



Рис. 3. National Instruments 12-digit A/D converter NI 6023E

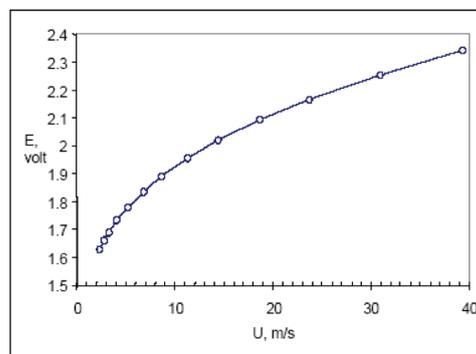


Рис. 4. Типичная тарировочная кривая датчика термоанемометра

Перемещением датчика, генерацией периодических сигналов и сбором данных управляет программа, написанная в среде MATLAB и специально настроенная для проведения таких экспериментов (рабочее окно программы представлено на рис. 5). Программа имеет два окна: первое служит для установки конфигурации входных портов как сигнальных, так и сбора данных, с помощью этого окна устанавливается диапазон сигнала и порядок, а также режимы буферизации и триггеризации. С использо-

ванием программы производится съём данных во всех необходимых точках и запись их в файл данных. В любой момент экспериментатор может прервать считывание данных без их потери. Начало считывания данных производится с любой, выбранной заранее задержкой, либо по сигналу триггера. Интерфейс программы управления разработан таким образом, что экспериментатор может перемещать датчик по любой координате последовательно или одновременно по нескольким направлениям.

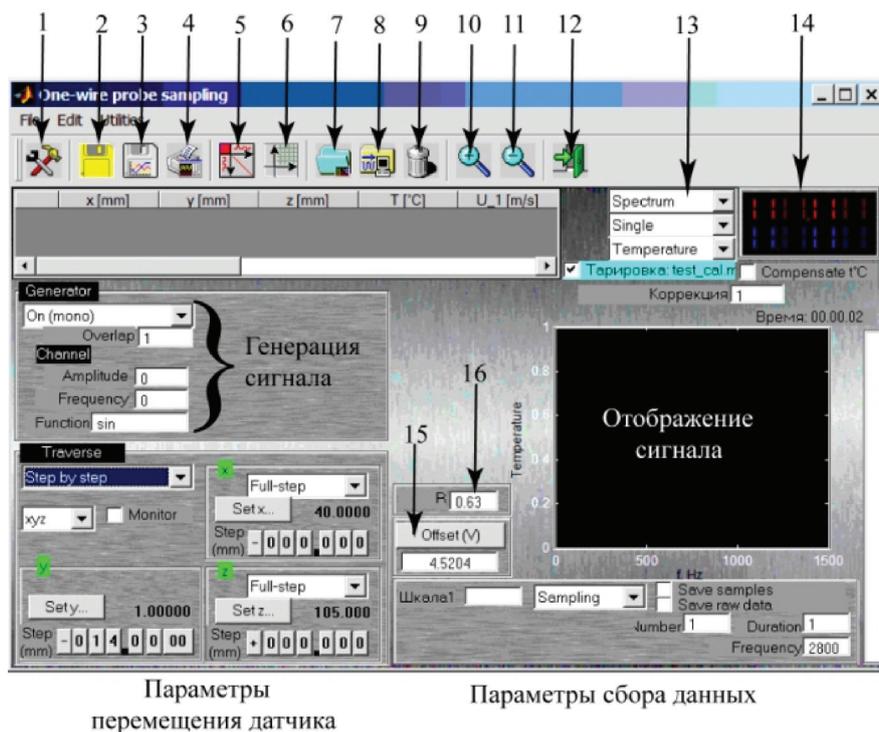


Рис. 5. Окно программы сбора данных. Кнопки:

- 1 – перезагрузка АЦП; 2 – сохранение данных; 3 – сохранение графика; 4 – печать экрана; 5 – начать перемещение; 6 – создать файл координат; 7 – открыть тарировку; 8 – начать сбор; 9 – удалить данные; 10 – увеличить график; 11 – уменьшить график; 12 – выход из программы; 13 – вывод меню; 14 – текущие локальные скорости потока; 15 – ввод смещения; 16 – сопротивление RTD кабеля для точных температурных измерений

Заключение

Таким образом, в рамках создаваемого автоматизированного измерительного комплекса к настоящему времени подготовлены программно-аппаратные средства, как для перемещения датчика термоанемометра в рабочей части аэродинамической трубы, так и для проведения с его помощью измерений скорости потока, а также их пульсаций.

Данная работа выполнялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты РФФИ № 12-07-00548-а и 13-07-00616-а), а также гранта Президента РФ НШ-2924.2014.1.

Список литературы

1. Boiko A.V., Grek G.R., Dovgal A.V., Kozlov V.V. The Origin of Turbulence in Near-Wall Flows: Monography, 2002, Springer-Verlag, 263 p.

2. Valery G. Chernoray, Alexander V. Dovgal, Genrich R. Grek, Victor V. Kozlov, Yury A. Litvinenko, Lennart Lofdahl. Instability of a swept-wing boundary layer modulated by stationary flow perturbations // Visualization of Mechanical Processes, 2013, Vol. 3, Issue 1, P. 13.

3. Victor V. Kozlov, Genrich R. Grek, Alexander V. Dovgal, Yury A. Litvinenko. Stability of the Subsonic Jet Flows // Journal of Flow Control, Measurement & Visualization (JFCMV), 2013, Vol. 3, Issue 1, P. 94-101.

4. Грек Г.Р., Гилев В.М., Зверков И.Д., Сорокин А.М. Структура автоматизированной системы пространственно-временной термоанемометрической визуализации течений в аэрофизическом эксперименте // Международный журнал экспериментального образования. – 2013, № 11 (часть 1). – С. 155–156.

5. Бойко А.В., Гилев В.М., Грек Г.Р., Зверков И.Д., Сорокин А.М. Создание координатного устройства для аэродинамической трубы // Южно-сибирский научный вестник, – 2014. – № 1 (5). – С. 13–16. – Режим доступа: http://s-sibsb.ru/images/articles/2014/1/3_13-16.pdf.

6. Грек Г.Р., Бойко А.В., Гилев В.М., Зверков И.Д., Сорокин А.М. Автоматизированное управление координатным устройством аэродинамической трубы // Международный журнал экспериментального образования. – 2013, № 11 (часть 1). – С. 115–117.