

С. В. Какаулин^{1}, В. Г. Меледин¹, И. К. Кабардин¹*

Апробация лазерного доплеровского анемометра ЛАД-08 на вторичном эталоне единицы скорости воздушного потока

¹ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: kakaulin_sergei@mail.ru

Аннотация. Фундаментальная метрология и обеспечение единства средств измерений являются ключевыми областями для развития научно-технического прогресса. Оптические информационные методы, системы и технологии бесконтактной диагностики динамических процессов имеют важное значение в этом контексте.

Для измерения профилей осевой скорости воздушного потока можно использовать лазерный доплеровский анемометр (ЛДА) с адаптивным временным выбором вектора скорости (LAD-08). Этот метод позволяет измерять скорость движения частиц воздуха, рассеянного на лазерных лучах. Измерения производятся посредством регистрации изменения частоты светового сигнала, который отражается от частиц воздуха.

Использование ЛДА позволяет изучать кинематику потока внутри рабочей секции и получать данные о его параметрах. Это позволяет проводить детальный анализ потока и оптимизировать конструкцию технических устройств, работающих в условиях движения воздушного потока. Также этот метод может быть использован для контроля качества и повышения эффективности производства в различных отраслях промышленности, где решаются задачи, связанные с потоками жидкости или газа.

В ходе работы профили осевой составляющей скорости были измерены в рабочей секции на вторичном эталоне единицы скорости воздушного потока. Для изучения кинематики потока внутри рабочей секции применяется лазерный доплеровский анемометр с адаптивным временным выбором вектора скорости (LAD-08).

Ключевые слова: эталон, кинематика потока, лазерный доплеровский анемометр

S. V. Kakaulin^{1}, V. G. Meledin¹, I. K. Kabardin¹*

Approbation of the Laser Doppler Anemometer LAD-08 on the Secondary Standard Test Rig for Air Flow Speed

¹ S. S. Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: kakaulin_sergei@mail.ru

Abstract. Fundamental metrology and ensuring the unity of measuring instruments are key areas for the development of scientific and technological progress. Optical information methods, systems and technologies for contactless diagnostics of dynamic processes are important in this context. To measure the axial velocity profiles of the air flow, a laser Doppler anemometer (LDA) with adaptive time selection of the velocity vector (LAD-08) can be used. This method makes it possible to measure the velocity of air particles scattered on laser beams. Measurements are made by recording changes in the frequency of the light signal, which is reflected from air particles. The use of LDA makes it possible to study the kinematics of the flow inside the working section and obtain data on its parameters. This allows for a detailed analysis of the flow and optimizes the design of technical devices operating in conditions of air flow movement. Also, this method can be used to control quality and

improve production efficiency in various industries where problems related to liquid or gas flows are solved. During the work, the profiles of the axial component of the velocity were measured in the working section on the secondary standard of the unit of air flow velocity. To study the flow kinematics inside the working section, a laser Doppler anemometer (LDA) with adaptive time selection of the velocity vector (LAD-08) is used.

Keywords: etalon, flow kinematics, laser doppler anemometer

Введение

Фундаментальная метрология измерительных приборов опирается на оптические информационные методы, системы и технологии бесконтактной диагностики динамических процессов. Первичные эталоны служат метрологической основой современной технологической цивилизации и определяют принадлежность страны к группе индустриализированных наций. В России обновление первичных государственных эталонов на основе последних научных достижений и элементной базы является актуальной проблемой. Всероссийский институт метрологии имени Д.И. Менделеева (ВНИИМ) в Санкт-Петербурге является одним из крупнейших мировых центров научно-практической метрологии. Его основной задачей является обеспечение единства измерений в стране на международном уровне через использование государственных эталонов единиц физических величин, улучшение существующих эталонов и создание новых с помощью фундаментальных и прикладных научных исследований. ВНИИМ имеет 54 первичных и 200 вторичных государственных эталонов Российской Федерации.

Для обеспечения научных исследований и измерения скорости потока воздуха в промышленности Россия эксплуатирует большой парк рабочих измерительных приборов, около 500 тысяч штук. В связи с растущим вниманием к вопросам повышения эффективности и безопасности в энергетическом секторе, промышленности и транспорте, а также экологическим проблемам, потребность в средствах измерения скорости потока воздуха постоянно возрастает. В 2012 году были разработаны и созданы точные лазерные информационно-диагностические инструменты для первичной стендовой испытательной установки для скорости потока воздуха GET-150-2012. Основывались они на методах точной полупроводниковой лазерной доплеровской анемометрии. Оптическая информационно-диагностическая система стандарта содержит доплеровский анемометр на основе полупроводникового лазера со стабилизатором фронтов волн, анаморфную оптическую схему с улучшенной пространственно-временной однородностью оптического поля зонда, фотодетектор на одиночные фотоны с расширенным динамическим диапазоном и программируемую систему для автоматического проведения экспериментов и калибровок. Расширенная неопределенность первичного государственного специального стандарта единицы скорости потока воздуха GET-150-2012 обеспечивается на уровне 0,14–0,3 % при измерении скорости потока воздуха в диапазоне от 0,05 до 100 м/с.

В России используется четырехзвенная структура схемы верификации при передаче размерности единицы на рабочие измерительные приборы: первичный государственный эталон, вторичные эталоны, рабочие эталоны 1-го и 2-го клас-

сов и рабочие измерительные приборы. Более 20 стандартных аэродинамических установок используются для испытания рабочих измерительных приборов в Государственных региональных центрах стандартизации, метрологии и испытаний Росстандарта. Вторичные эталоны, которые являются копиями эталонов, находятся в Центральном аэрогидродинамическом институте имени Н.Е. Жуковского, а набор эталонных измерительных приборов находится в ФБСУ ГГО имени А.И. Воейкова. Испытания лазерного доплеровского измерителя LAD-08S проводились на государственном вторичном эталоне единицы скорости потока в НИО-7 ЦАГИ на стенде вторичного эталона для скорости потока воздуха – установке ЕМС 0,05/100. Целью испытаний было проверить технические возможности измерительной системы на вторичном эталоне единицы скорости потока путем измерения профилей скорости потока воздуха в рабочем сечении государственного вторичного эталона единицы скорости потока в диапазоне от 10 до 290 мм от внутренней поверхности рабочего сечения с аэродинамическими скоростями потока в диапазоне от 1,34 до 10,03 м/с с накоплением времени в измерительном потоке, не превышающим 60 с, и количеством измерений в точке, не превышающим 4000.

Методы и материалы

Вторичный стенд испытаний для скорости потока воздуха (рис. 1) [2] представляет собой открытый аэродинамический тоннель с закрытой испытательной секцией.



Рис. 1. Фотография испытательной установки

Размер секции составлял 300×300 мм. Максимальная скорость могла достигать значения 100 м/с. Функциональная блок-схема стенда испытаний представлена на рис. 2. Стенд испытаний включает: аэродинамический контур, электропривод вентилятора и измерительную систему аэродинамического контура.

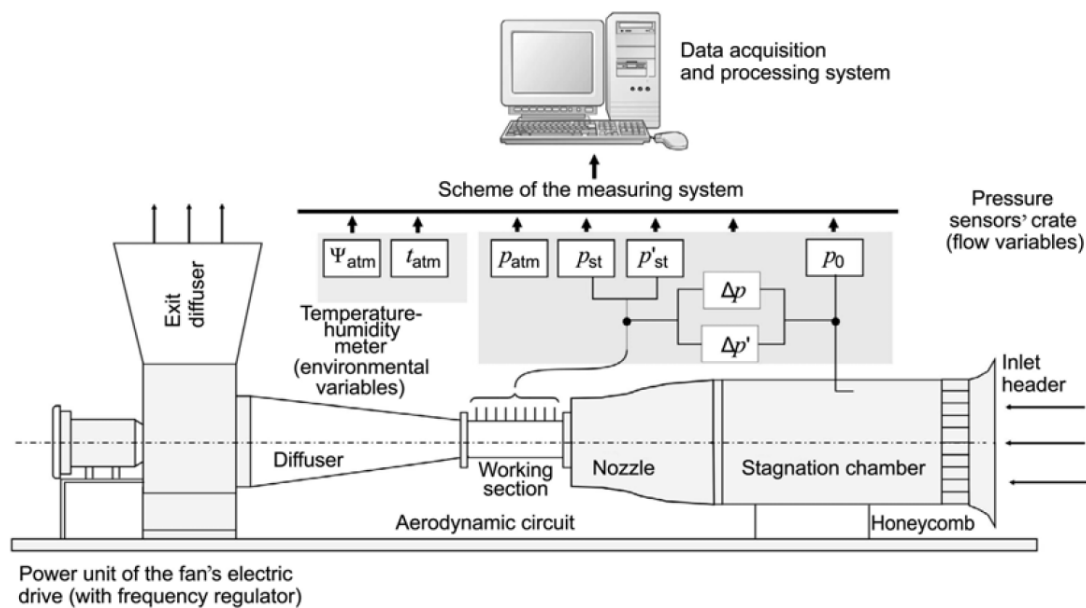


Рис. 2. Функциональная блок-схема испытательного стенда [3]

Аэродинамический контур содержит:

- 1) входной коллектор. В нем происходит сбор воздуха из помещения;
- 2) камеру стагнации. В этой камере смешиваются потоки воздуха, и создается равномерно турбулентная структура потока;
- 3) медный фильтр;
- 4) сопло. Оно предназначено для создания качественного потока воздуха в испытательной секции;
- 5) испытательную секцию. Эта секция имеет в сечении восьмиугольник. Расстояние между противоположными сторонами восьмиугольной секции – 300 мм. Она предназначена для размещения измерительных приборов во время испытаний;
- 6) диффузор. Благодаря ему аккуратно соединяются круглый вход вентилятора и восьмиугольная испытательная секция. Поток идет через соединение, не отрываясь;
- 7) выходной диффузор. Он имеет квадратное сечение с углом полукубуса 7° . Это снижает пульсации давления вентилятора. Поток из-за этого плавно выходит в помещение.

Электропривод выполнен в виде радиального вентилятора. Асинхронный трехфазный двигатель осуществляет привод вентилятора. Запитывается двигатель с помощью частотного преобразователя, который обеспечивает частоту питания в пределах от 1 до 50 Гц с шагом 0,1 Гц. Скорость потока воздуха для таких пределов частоты составляет от 1 до 100 м/с.

Система измерения, определяющая метрологические характеристики, позволяет осуществлять одновременные и независимые измерения общего давления p_0 , статического давления p и их разности $\Delta p = p_0 - p$ в потоке. Также для учета

изменений плотности воздуха необходимо измерять температуру, влажность воздуха и атмосферное давление. Этот набор параметров достаточен для оценки скорости потока.

Кинематика потока внутри рабочей секции исследуется с помощью лазерного доплеровского анемометра (ЛДА) с адаптивным временным выбором вектора скорости (LAD-08). Данное измерительное устройство было разработано и изготовлено в Институте теплофизики им. Кутателадзе СО РАН в Новосибирске. Рис. 3 демонстрирует принцип работы комплекса LAD-08. Подробное описание принципа работы ЛДА содержится в работе [4]. Внешний вид устройства показан на рис. 4.

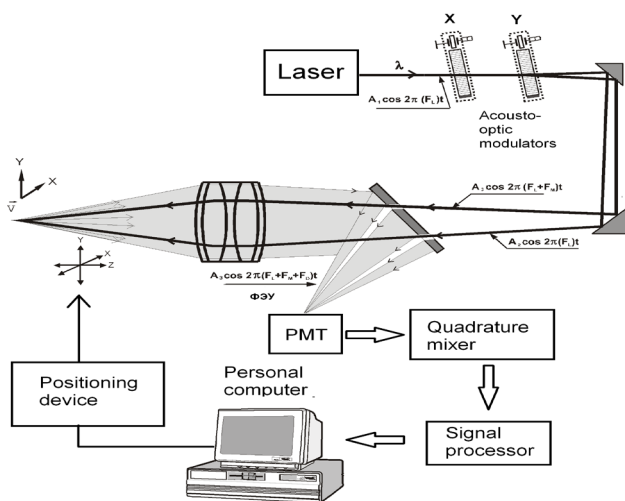


Рис. 3. Схема, иллюстрирующая принцип работы комплекса LAD-08

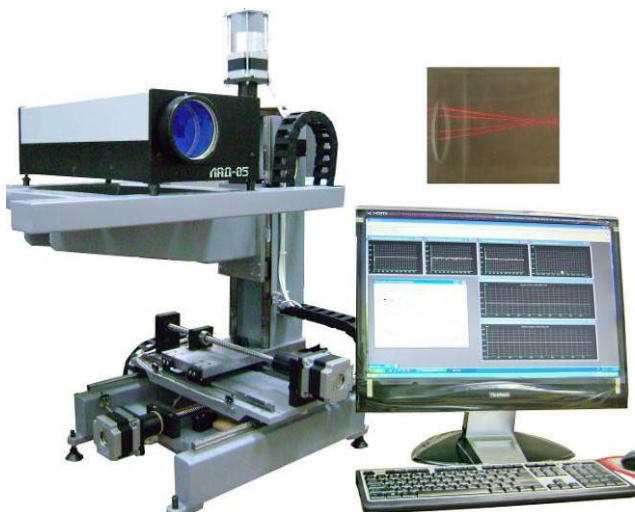


Рис. 4. Фотография измерительного комплекса LAD-08

Результаты

Профили компоненты осевой скорости были измерены в диапазоне от 10 до 270 мм от внутренней поверхности рабочей секции вторичной стандартной испытательной установки для скорости потока воздуха при скорости в потоке ядра 1,48 м/с, 4,18 м/с, 7,11 м/с, 10,03 м/с (рис. 5). Относительная ошибка измерения средних значений компоненты осевой скорости в точке измерения 10 мм не превышала 4,1 % (рис. 6).

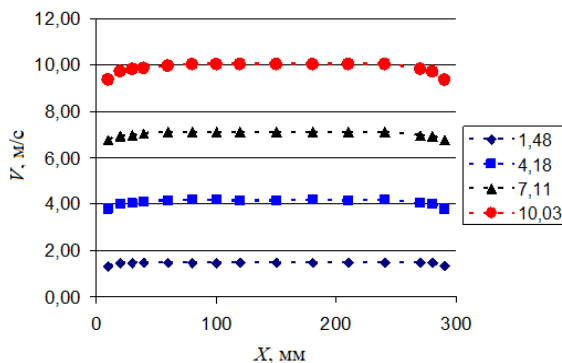


Рис. 5. Профиль среднего значения компоненты осевой скорости

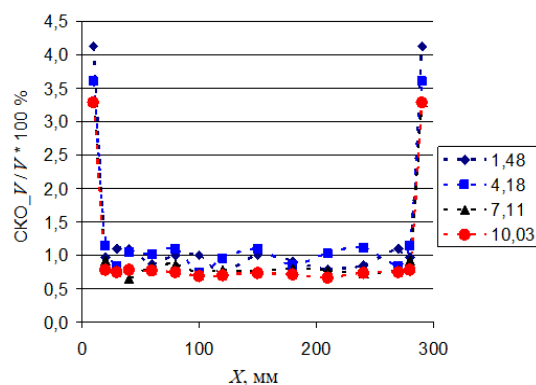


Рис. 6. Профиль относительной погрешности измерения средней осевой скорости

В диапазоне от 20 до 290 мм от отверстия, относительная ошибка измерения средних значений компоненты осевой скорости не превышала 1,1 %.

Заключение

Роль оптических информационных методов, систем и технологий бесконтактной диагностики достаточно актуальна в области фундаментальной метрологии. Профили осевой компоненты скорости измерялись в диапазоне от 10 до 270 мм от внутренней поверхности рабочей секции вторичной стандартной испытательной установки для скорости потока воздуха при скорости в потоке ядра 1,48 м/с, 4,18 м/с, 7,11 м/с, 10,03 м/с. Кинематика потока внутри рабочей секции изучалась с помощью лазерного доплеровского анемометра с адаптивным временным выбором вектора скорости (LAD-08). Относительная ошибка измерения средних значений осевой компоненты скорости в точке измерения 10 мм не превышала 4,1 % (рис. 6). В диапазоне от 20 до 290 мм от люка относительная ошибка измерения средних значений осевой компоненты скорости не превышала 1,1 %.

Благодарности

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИТ СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. V.G. Meledin. Informational electron-optic diagnostic: Science and innovative industrial technologies (Novosibirsk-Academizdat). – 2015. - 142 p.
2. Idelchik I. Ye. Handbook of hydraulic resistance. 3rd ed. (Moscow: Mechanical Engineering). - 1992. - 672 p.
3. Samoilenko A.I., Maskaev V.K. Standard test rig for air flow speed / Automation and remote control // EMS-0.1/60. – 2010. – Vol. 71, No. 11. - P.2483–2490.
4. Kabardin I.K., Meledin V. G., Yavorsky N. I., Gordienko M. R., Pravdina M. Kh., Kulikov D. V., Polyakova V. I., Pavlov V. A. LDA Diagnostics of velocity fields inside the Ranque tube // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 2018. – Vol. 980, No. 1. – P. 012043.

© С. В. Какаулин, В. Г. Меледин, И. К. Кабардин, 2023