

ном запасе точности  $\pm 0,33\%$  с учетом погрешности эталонного оборудования нестабильность напряжения должна составлять не более  $\pm 0,3\%$ .

Таким образом, стабилизатор напряжения, используемый в регулируемом высоковольтном источнике, должен обладать следующими характеристиками: колебания выходного напряжения не более  $\pm 0,33\%$  в течение времени измерения, коэффициент гармоник не более  $5\%$ .

Анализ существующих типов стабилизаторов показывает, что стабилизатор феррорезонансного типа в наибольшей мере отвечает требованиям по скорости и точности стабилизации, по вносимому коэффициенту гармоник и уровню надежности. По результатам маркетинговых исследований выбрана модель феррорезонансного стабилизатора, наиболее полно отвечающая приведенным выше требованиям и произведена закупка стабилизатора JK13 немецкой компании RUHSTRAT.

#### Исследование характеристик

С целью определения реальных технических характеристик приобретенного стабилизатора напряжения JK13 и его возможностей в составе высоковольтного источника напряжения проведено исследование его основных функциональных зависимостей:

- зависимости напряжения стабилизации от изменения входного напряжения  $\pm 10\%$  при постоянной нагрузке;
- временной стабильности выходного напряжения при неизменных входном напряжении и сопротивлении нагрузки;
- зависимости коэффициента гармоник от входного напряжения на стабилизаторе;
- спектральной диаграммы выходного напряжения;

- зависимости напряжения стабилизации от силы тока нагрузки при понижении входного напряжения от  $-10\%$  до  $-20\%$ ;

- зависимости напряжения стабилизации от силы тока нагрузки.

#### Заключение

По результатам проведенных исследований установлено, что стабилизатор модели JK13 немецкой компании RUHSTRAT отвечает всем требованиям к работе в составе источника высокого напряжения высоковольтной лаборатории БелГИМ и может использоваться для повышения стабильности выходного напряжения высоковольтного источника при колебаниях напряжения питающей сети. Наилучшая стабильность и минимальный коэффициент гармоник для данной модели стабилизатора обеспечиваются при нагрузках от  $0,95$  до  $1,15 P_{ном}$  и пониженном входном напряжении от минус  $10\%$  до минус  $20\%$  от  $U_{ном}$ . В случаях, когда снижение входного напряжения для минимизации гармонических искажений невозможно, в составе лаборатории могут применяться силовыенизкочастотные фильтры, разработка компонентов которых производится в настоящее время совместно с ОАО «МЭТЗ им. В.И. Козлова».

Для стабилизации напряжения высоковольтного источника при нагрузках до  $12$  или  $18$  кВт можно рекомендовать включение в параллельную работу двух или трех аналогичных стабилизаторов на одну нагрузку.

1. Стабилизатор напряжения модели JK13: брошюра производителя.
2. Стабилизаторы напряжения сети Б2-2. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Паспорт. ЕЭЗ.238.006 ТО.

УДК 533.6.089.68(047)(476)

## СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭТАЛОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ

**Манкевич О.Д., Ровнейко И.В.**

*Белорусский государственный институт метрологии*

*Минск, Республика Беларусь*

В докладе рассмотрены основные типы и принципы действия средств измерений скорости воздушного потока, а также эталонная база для проведения метрологического контроля этих средств измерений в Республике Беларусь. Описан состав и принцип действия аэродинамической установки, имеющейся в БелГИМ, приведены ее метрологические характеристики. Указаны перспективы развития эталонной базы Республики Беларусь в области измерения скорости воздушного потока.

Измерение скорости воздушного потока широко используется в следующих сферах деятельности:

- для санитарного, экологического и технического надзора в жилых и производственных помещениях,
- при мониторинге окружающей среды, контроле выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и контроле качества атмосферного воздуха,
- в системах кондиционирования, отопления и вентиляции,
- в шахтах и рудниках всех категорий на предприятиях химической, горно-рудной промышленности,
- для обеспечения безопасной работы на подъемниках, вышках, грузоподъемных кранах и

других объектах, оборудованных устройствами аварийной ветровой защиты,

- для аттестации рабочих мест,
- при проведении аэродинамических испытаний,
- для метеорологических измерений,
- в авиации, военно-воздушных силах, в аэропортах.

Для измерения скорости воздушного потока применяются такие средства измерений, как анемометры (от греческого «анемос» – ветер и «метрео» – измеряю) и напорные трубки (Пито и НИИОГАЗ). На территории Республики Беларусь эксплуатируются анемометры чашечного типа, крыльчатые, ультразвуковые и термоанемометры. Принцип действия чашечных анемометров основан на преобразовании вращения крыльчатки чашечного типа под действием воздушного потока в электрический сигнал, представляющий собой последовательность электрических импульсов с частотой, пропорциональной скорости вращения крыльчатки. Основная область применения анемометров чашечного типа – обеспечение безопасной работы на грузоподъемных кранах и объектах, требующих оборудования устройствами аварийной ветровой защиты. При этом некоторые модели этого типа имеют аварийную звуковую или световую сигнализацию при достижении предельного значения скорости или длительности порыва ветра.

Главное отличие крыльчатого анемометра от чашечного состоит в том, что чувствительный элемент, на который воздействует скорость воздушного потока, выполнена в форме вентилятора. Поток воздуха, попадая на вентилятор, вращает лопасти и по скорости их вращения измеряется скорость потока. Основная область применения крыльчатых анемометров – системы отопления и кондиционирования, строительство, метеорология, аэродинамика, авиация, а также измерения скорости воздушного потока в шахтах.

Принцип действия термоанемометров заключается в нагревании выше температуры измеряемой среды и последующем охлаждении воздушным потоком открытой тонкой нити накаливания. Сопротивление нити изменяется при изменении температуры и определенным образом зависит от скорости потока. Термоанемометры используются для измерения скорости воздушного потока в жилых и производственных помещениях, системах кондиционирования, отопления, вентиляции, для экологического и технологического контроля производств и многих других сферах деятельности.

Принцип действия ультразвуковых анемометров основан на приеме ультразвуковых волн, распространяющихся в воздуховоде между двумя пьезоэлектрическими преобразователями. Эти преобразователи поочередно становятся то

излучателем, то приемником. Осуществляется измерение разности времени прохождения ультразвуковых волн по потоку и против него и вычисление скорости звука. Ультразвуковые анемометры используются для интеграции в системы автоматики, при измерениях в вентиляционных системах и в метеорологии.

Трубки напорные модификация Пито и НИИОГАЗ являются приемниками полного и статического давления. Трубка напорная модификации НИИОГАЗ конструктивно представляет собой спаянные между собой по длине две стальные трубки. Трубка для приема полного давления изогнута навстречу потоку и заканчивается коническим наконечником. Отверстие во второй трубке воспринимает статическое давление. Трубки напорные предназначены для измерения скорости воздушного потока в комплекте с дифференциальными манометрами или микроманометрами и используются в газоходах, вентиляционных системах и авиации.

Учитывая тот факт, что вышеперечисленные области применения относятся к сфере законодательной метрологии, средства измерений скорости воздушного потока подлежат обязательному метрологическому контролю. До января 2016 года в Республике Беларусь метрологический контроль анемометров и трубок напорных осуществлялся при помощи двух аэродинамических стендов: АС-0,2/50, принадлежащий СП «Природоохранные и энергосберегающие технологии» и АДС300/45-3, принадлежащий ЧНПУП «ДЭКОС-Плюс». В основе этих двух стендов лежит аэродинамическая труба замкнутого типа. Аэродинамическая труба состоит из воздухопроводов с поворотными патрубками, вентилятора, форкамеры (выходного воздуховода), выпрямителя потока, диффузора, измерительного сопла и щита управления. Принципиальное отличие между стендами состоит в выборе эталонных средств измерений. Так при работе аэродинамического стенда АДС300/45-3 измерение скорости воздушного потока на выходе измерительного сопла осуществляется с помощью эталонного анемометра ЭА-70(0) в диапазоне скоростей от 0,1 до 4 м/с и напорной трубки Пито в комплекте с эталонным микроманометром МКВ-250 при измерении скорости свыше 4 м/с. При работе аэродинамического стенда АС-0,2/50 для измерения скорости в различных диапазонах в качестве сужающих устройств используются 3 конфузора с различными диаметрами измерительного сопла и экспериментально определенными коэффициентами конфузора. При этом эталонным средством измерений является микроманометр МКВ-250, с помощью которого осуществляется измерение перепада давления на

выходе измерительного сопла соответствующего конфузора. Основные метрологические и технические характеристики вышеназванных стендов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование характеристики	АС-0,2/50	АДС300/45-3
Диапазон воспроизведения скорости воздушного потока, м/с	от 0,1 до 50	от 0,1 до 45
Пределы абсолютной погрешности, м/с	$\pm(0,01 + 0,02V)$	$\pm(0,015 + 0,015V)$
Диаметр измерительного сопла, мм	150; 50; 18	300

Характеристики вышеназванных аэродинамических стендов не в полной мере удовлетворяют потребностям промышленных предприятий страны в метрологическом контроле средств измерений скорости воздушного потока в части погрешности воспроизведения скорости воздушного потока и диаметра рабочей части. Поэтому в 2015 году БелГИМ заказал и приобрел комплект аппаратуры для измерения скорости воздушного потока на базе установки аэродинамической замкнутого типа WK845050-G производства фирмы «Westenberg Engineering» (Германия) и лазерного доплеровского анемометра производства фирмы ILA GmbH (Германия). Внешний вид аэродинамической установки WK845050-G и ее структурная схема приведены на рисунке 1.

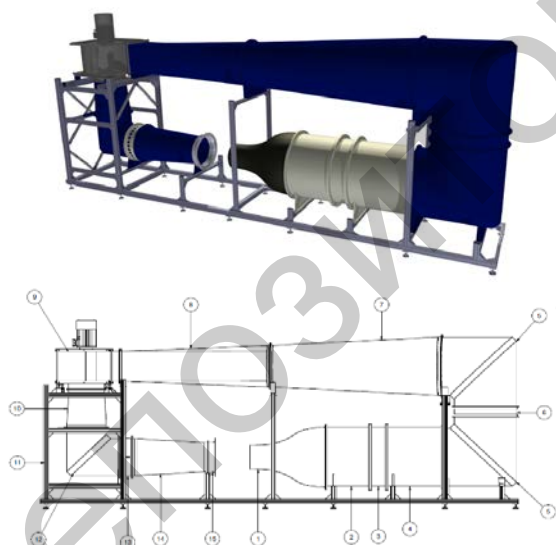


Рисунок 1 – Внешний вид и структурная схема аэродинамической установки WK845050-G

На структурной схеме показаны следующие элементы конструкции аэродинамической установки:

1 – измерительное сопло, служащее для передачи воздуха с заданной скоростью. Измерительное сопло в виде конфузора приводит к ускорению потока воздуха, поступающего из подготовительной камеры. Отношение диаметра

подготовительной камеры и выходного отверстия сопла равно 1:6;

2, 3, 4 – подготовительные камеры стабилизации потока. При этом в камере 4 расположен сотовый струевыпрямитель, который обеспечивает достижение постоянного потока, а также снижает чувствительность установки к внешним влияниям. В подготовительной камере 3 расположен дополнительный струевыпрямитель в виде сита. Он служит для обеспечения однородности линий воздушного потока, а также гашения оставшихся возмущений потока;

5, 12 – аэродинамические углы, обеспечивающие минимизацию трения во время прохождения воздуха. Причем потери давления при использовании аэродинамических углов значительно меньше, чем в конструкциях стендов с применением колен;

6, 7, 8 – воздухопроводы;

9 – вентилятор, служащий для создания потока воздуха;

10, 14 – диффузоры, служащие для замедления скорости потока путем увеличения диаметра трубопровода;

11 – металлическая рампа;

13 – регулятор давления, представляющий собой ряд отверстий, расположенных по диаметру трубопровода;

15 – входное сопло.

Диаметр измерительного сопла установки составляет 450 мм, что позволяет производить метрологический контроль средств измерений скорости воздушного потока с диаметром крыльчатки свыше 250 мм, что до настоящего времени технически не обеспечивалось на существующих в РБ аэродинамических стендах.

Помимо аэродинамической установки в состав комплекта аппаратуры для измерения скорости воздушного потока, приобретенного БелГИМ, входят следующие средства измерений и вспомогательное оборудование:

- трубка ПИТО в комплекте с преобразователями дифференциального давления и системой вычисления и управления потоком;
- термоэлектрический анемометр типа 8455-300-1 с системой вычисления и управления потоком;
- преобразователи абсолютного давления, температуры и влажности измеряемой среды;
- система позиционирования 3-координатная;
- LDA система типа flowPOIN 50f-us с фокусным расстоянием 500 мм и лазерным лучом на объективе 45 мм. Мощность лазера Nd-VAG составляет 75 мВт, длина волны – 532нм. Зонд LDA размещается на автоматическом 3D слайде с диапазоном перемещений 700 мм по каждой оси;
- аэрозольный генератор AGF;
- компрессор;
- персональный компьютер.

Блок-схема комплекта аппаратуры для измерений скорости воздушного потока приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Блок-схема комплекта аппаратуры для измерения скорости воздушного потока

Специалистами БелГИМ была разработана программа и методика метрологической аттестации установки аэродинамической эталонной измерительной WK845050-G и проведена ее метрологическая аттестация. По результатам метрологической аттестации получены следующие значения воспроизведения скорости воздушного потока:

- в диапазоне от 0,1 до 0,5 м/с  $\pm(0,009 + 0,009 * V)$ ;
- в диапазоне от 0,5 до 1,0 м/с  $\pm(0,004 + 0,01 * V)$ ;
- в диапазоне от 1,0 до 40 м/с  $\pm(0,004 + 0,009 * V)$ .

УДК 621.317.732.082(045)(476)

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА ПОВЕРИТЕЛЯ ПРИ ПОВЕРКЕ МНОГОЗНАЧНЫХ МЕР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Сентемова Д. В.

Белорусский государственный институт метрологии  
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время трудно себе представить какой либо вид деятельности без автоматизации. Необходимость автоматизировать процесс возникает, если этот процесс довольно трудоемок, а его время выполнения становится неудовлетворительным. Автоматизация позволяет упростить сложные операции, связанные с расчетами, а также исключить человеческий фактор.

Автоматизация – также одно из направлений повышения эффективности метрологических работ, призванное обеспечить высокие темпы научно-технического прогресса за счет:

- получения более полных данных об исследуемых средствах измерений;
- сокращения сроков метрологических исследований и снижения затрат на основе уменьшения трудоемкости измерений, ускорения экспериментов, уменьшения ошибок;
- оптимизации измерительного эксперимента, повышения точности измерений, оптимизации работ по ведению учета средств измерений и измерительного оборудования;

Как следует из вышеизложенного, погрешность воспроизведения скорости воздушного потока установкой WK845050-G является наименьшей по сравнению с имеющимися в РБ стендами. Установка аэродинамическая эталонная измерительная WK845050-G введена в эксплуатацию 04.01.2016 г. и в настоящее время на ней выполняются работы по метрологическому контролю средств измерений скорости воздушного потока различных типов и принципов действия (testo, ТКА-ПКМ, ИСП-МГ4, АСП-3, МЭС-200А, ТТМ-2, трубки напорные ПИТО и НИИОГАЗ). В соответствии с заданием 2.8 ГНТП «Эталоны Беларуси» в 2016-2017гг. планируется исследовать метрологические характеристики лазерного доплеровского анемометра, входящего в состав приобретенного комплекта оборудования для измерения скорости воздушного потока и с его помощью провести исследования аэродинамической установки. Это позволит создать Национальный эталон единицы скорости воздушного потока, который позволит достигнуть наивысшей точности в метрологическом обеспечении в данной области измерений.

1. WK 845050-G Wind Tunnel. Manual. V1.00
2. ГОСТ 8.542-86 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений скорости воздушного потока.

- создания базы данных, содержащих сведения о предыдущих результатах исследуемых средств измерений [1].

Предлагаю вам рассмотреть автоматизацию рабочего места поверителя при поверке многозначных мер электрического сопротивления (далее – ММЭС), разработанную на базе поверочной лаборатории БелГИМ.

ММЭС уже долгое время используются в метрологии для поверки и калибровки измерителей электрического сопротивления, омметров и мегомметров, многофункциональных калибраторов и мультиметров, а также поверки и калибровки термопреобразователей сопротивления. Фактически ММЭС представляет собой последовательно соединенный набор отдельных резисторов, которые можно включать или отключать от схемы, регулируя необходимое суммарно воспроизводимое сопротивление. Внешний вид одного из типов многозначных мер электрического сопротивления Р33 представлен на рисунке 1.