

Для расходомерных устройств принципиально важна процедура корректного учета влияния на их статическую (градуировочную) характеристику факторов, обусловленных неизбежным отличием условий, при которых осуществляется их градуировка, от условий эксплуатации. Первичная градуировка метрологическая аттестация подразумевает, в основном, выяснение инструментальных погрешностей расходомера как средства измерения в специально созданных «идеальных», статических условиях поверочной лаборатории, в то время как в условиях эксплуатации на процедуру измерения расхода оказывает воздействия множество возмущающих факторов, таких, например, как: нестационарность расхода контролируемых сред; отличия их свойств от свойств среды, в которой осуществлялась поверка; повышенная турбулизация потока; неизометрические условия течения и ряд других [1, 2]. Весьма эффективным способом расширения диапазона практической применимости преобразователей расхода различных типов является проведение их гидро- и газодинамических испытаний с целью установления влияния каждого из перечисленных возмущающих воздействий на величину коэффициентов передачи с последующим введением в статические характеристики соответствующих поправочных функций. В представленной работе рассматриваются экспериментальная газодинамическая установка и диагностическое оборудование, нацеленные на решение указанных выше задач. Установка представляет собой аэродинамический контур с подогревом рабочего тела и предназначена для получения экспериментальных данных о микроструктуре турбулентных воздушных потоков и о ее трансформациях под воздействием динамической и тепловой нестационарности, неизотермичности, под воздействием изменения интенсивности турбулентных пульсаций скоростей на входе в предвключенный участок, изменения состояния стенок канала и ряда других возмущений, способных оказывать негативное влияние на работу расходоизмерительной техники. Основными элементами установки являются: фордкамера 10 с воздушным калорифером и выходным соплом 9, устройство 8 для формирования необходимых начальных условий на входе в опытный участок; опытный участок 5, который одновременно является предвключенным измерительным участком трубопровода; место для установки испытуемого расходомера 6; поствключенный участок трубопровода 7; пульсатор 4; ресивер 3 с набором образцовых расходомерных сопел 2, работающих в критическом режиме истечения; компрессор 1, работающий на всасывание. Рис. 1 - Принципиальная схема установки. Опытный участок содержит 18 отдельных секций, снабженных рубашками для охлаждения их водой. В каждой секции предусмотрены места для введения в канал термоанемометрического или пьезометрического зондов, а так же для установки датчиков трения (термоанемометрического и типа «трубка-выступ»). Рис. 2 - Конструкция отдельной из секций опытного участка. Одна из секций опытного участка выполнена из кварцевого стекла и предназначена для реализации

бесконтактного метода диагностики турбулентной структуры потока контролируемой среды. Основными параметрами, обеспечивающими корректное проведение эксперимента, являются расход рабочего тела, а также локальные скорости, температура и давление в различных контрольных точках пред- и поствключенных участках трубопровода. Установка оборудована автоматизированной системой обработки информации и управления, которая позволяет осуществлять регулирование всех основных режимных параметров, а так же осуществлять сбор и обработку измерительной информации из всех контрольных точек измерительного участка. Для управления работой установки, приемом и обработкой измерительной информации, поступающей от датчиков задействованных в экспериментах, а так же для управления процедурами поверки и динамических испытаний различных расходомерных устройств предполагается использовать микропроцессорный контроллер «Stardom-flow» компании Yokogawa со штатным программным обеспечением. Алгоритмы обработки результатов газодинамических испытаний реализуются отдельно на персональном компьютере. В качестве основного метода диагностики кинематической структуры потока при проведении газодинамических экспериментов выбран метод цифровой трассерной визуализации (МЦТВ) [3]. Этот метод основан на измерении перемещений частиц примеси, вводимой в контролируемый поток за фиксированные промежутки времени, и, таким образом, позволяет фиксировать мгновенные картины распределения скоростей в пространстве предвключенного участка, которое высвечивается световым ножом, создаваемым лазером и специальной оптической системой. Размер, плотность и объемная концентрация частиц-трассеров подбираются так, чтобы эффекты, связанные с двухфазностью потока и плавучестью частиц были минимальны. Измерительной областью потока считается плоскость «вырезаемая» световым ножом. Образы частиц регистрируются на электронный носитель (цифровую камеру). Рис. 3 – Схема реализации метода цифровой трассерной визуализации

Существует несколько алгоритмов реализации данного метода, но для решения задач, поставленных перед данной установкой, наиболее подходящим оказался адаптивный кросскорреляционный алгоритм [3]. На установке предполагается проведение трех видов работ: а) Метрологическая аттестация и поверка различных средств измерения расхода газа; б) Динамические испытания расходомеров; в) Газодинамические исследования кинематических структур потоков газа на пред- и поствключенных участках расходоизмерительной линии. Операции метрологической аттестации и поверки должны проводиться в соответствии со специальными нормативными документами при строго стационарных режимах течения рабочего тела. В качестве образцового средства при проведении данных операции предполагается использовать набор расходомерных критических сопел. В качестве образцового средства измерения расхода при динамических

испытаниях расходомера предусматривается использование термоанемометрической аппаратуры с датчиком, установленным в центре измерительного створа сопла 9. Градуировка этой аппаратуры при различных статических режимах её работы осуществляется так же с использованием критических сопел 2. Целью исследования подробной кинематической структуры турбулентных потоков на пред- и поствключенных участках измерительной линии с применением метода цифровой трассерной визуализации является установление механизмов влияния различных внешних возмущающих воздействий на работу конкретных преобразователей расхода. Для тестирования МЦТВ при стационарных режимах течения воздуха предполагается использовать набор критических сопел, а для тестирования при нестационарных режимах – термоанемометрическую аппаратуру. При динамических испытаниях преобразователей расхода определяют их частотные характеристики, отображающие реакцию указанных средств измерения на гармонические воздействия различной частоты [4]. Частотные характеристики включают в себя амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики. Они имеют наглядный физический смысл и могут быть получены экспериментальным и расчетным путем. При экспериментальном определении частотных характеристик на вход средства измерения с помощью генератора подают гармонические, например, синусоидальные колебания (1): $(1) \sin(\omega t + \varphi_0)$ где φ_0 – начальная фаза, рад; ω – угловая скорость, рад/с. Если исследуемое средство измерения является линейной динамической системой, то колебания выходной величины в установившемся режиме будут также синусоидальными (2): $(2) A \sin(\omega t + \varphi)$ Амплитуда выходных колебаний и их фазовый (временной) сдвиг зависят от свойств средств измерений и частоты входных колебаний. Зависимость $A(\omega)$, показывающая, как изменяется с частотой отношение амплитуды выходных колебаний A_y линейной динамической системы к амплитуде выходных колебаний A_x , называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) этой системы (3): $(3) A(\omega) = A_y / A_x$ Зависимость от частоты сдвига по фазе между входным и выходными колебаниями называется фазо-частотной характеристикой (ФЧХ) системы (4): $(4) \varphi(\omega)$ Значение амплитудно-частотной характеристики исследуемого расходомера для данной частоты колебаний ω_k (5): $(5) A(\omega_k)$ Сдвиг по фазе (φ_k) между колебаниями $y(t)$ и $x(t)$ для значения ω_k определяется по формуле: $\varphi_k = \Delta t \cdot \omega_k$ где Δt – время, соответствующее, сдвигу (отставанию) по фазе между входными и выходными колебаниями, как показано на рисунке 4, с; $T_k = 2\pi / \omega_k$ – период колебаний, с. Рис. 4 – Отклонение выходной величины от входной в динамическом режиме при синусоидальном изменении входной. Данные характеристики полностью описывают динамические свойства средств измерений и позволяют, в частности, установить область частот нормальной их работы и рабочую полосу пропускания.