

В. М. Красавин, С. В. Раинчик, В. П. Ившин,
А. В. Красавин, И. А. Быков, С. С. Лобарев

ИСХОДНАЯ ЭТАЛОННАЯ УСТАНОВКА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦ ОБЪЕМНОГО И МАССОВОГО РАСХОДОВ ГАЗА ГЭТ 118-2006. ПРОЦЕДУРА КАЛИБРОВКИ КРИТИЧЕСКИХ СОПЕЛ

Ключевые слова: эталон, расход газа, критическое сопло, калибровка.

Рассмотрены принцип действия, состав и конструкция исходной эталонной установки государственного первичного эталона единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118-2006 и ее применение для калибровки критических сопел.

Keywords: standard, gas flow rate, critical nozzle, calibration.

Principle of operation, composition and structure of reference standard installation of state primary standard of volume and mass gas flow GET 118-2006 and its application to the calibration of critical nozzles are considered.

К настоящему времени в нашей стране сложилась и успешно функционирует достаточно развитая система метрологического обеспечения измерений расхода и количества газа.

Государственная поверочная схема для средств измерений объемного и массового расходов газа [1] возглавляется государственным первичным эталоном единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118-2006.

Первичный эталон представляет собой комплекс из трех эталонных установок:

- исходной эталонной установки;
- эталонной установки с набором эталонных критических сопел;
- эталонной установки с набором эталонных критических микросопел.

Исходная эталонная установка (ИЭУ) предназначена для калибровки критических сопел с диаметрами горла от 1,9 до 13,5 мм, что соответствует диапазону воспроизводимых на ней расходов от 2 до 100 м³/ч. В качестве рабочей среды используется воздух при атмосферном давлении.

Откалиброванные на ИЭУ эталонные критические сопла используются в составе других эталонных установок ГЭТ 118-2006, рабочих эталонов 1-го разряда (поверочных установок), рабочих критических расходомеров, в составе компараторов при сличениях ГЭТ 118-2006 с национальными эталонами других стран, а так же при аттестации и утверждении эталонов единиц величин [2].

Конструкция и состав исходной эталонной установки ГЭТ 118-2006 [3, 4] обеспечивает воспроизведение и измерение массового расхода газа абсолютным методом, который основан на уравнении, математически выражающем понятие массового расхода.

Принцип действия ИЭУ заключается в измерении массы газа $m^{(э)}$, протекающего через контрольное сечение и накопленного в газосборном сосуде (ГСС) в течение измеряемого промежутка времени

$$q_m^{(э)} = \frac{m^{(э)}}{T}, \quad (1)$$

где пометкой величин в формуле (1) верхним индексом (э) подчеркивается, что они измерены высокоточными средствами измерений из состава эталона.

Следует отметить, что отличительной особенностью ИЭУ является гидростатическое уравнивание массы подвижной части весоизмерительного узла выталкивающей силой Архимеда, действующей на понтон, погруженный в воду, см. рис.1. Это обстоятельство позволяет применять высокоточные весы с малым верхним пределом измерений и с их помощью взвешивать непосредственно массу газа перепущенного при калибровке эталонного критического сопла в ГСС.

В состав ИЭУ входят следующие узлы и элементы:

- измерительный участок;
- весоизмерительный узел;
- измерительно-вычислительный комплекс;
- вспомогательное оборудование

Измерительный участок – это входной и выходной трубопроводы, между которыми монтируется критическое сопло и в котором формируется поток атмосферного воздуха, засасываемого из окружающего пространства. Перед входом в измерительный участок расположены чувствительные элементы приборов для измерений атмосферного давления P_v , температуры t_v и влажности ϕ_v воздуха.

Заканчивается измерительный участок электромагнитным клапаном КВМ-63. Клапан открыт – есть поток на измерительном участке, закрыт – течения нет.

Критическое сопло, являясь объектом калибровки, обеспечивает при сохранении неизменными параметров атмосферного воздуха перед входным сечением сопла P_v , t_v , ϕ_v постоянство массового расхода потока, протекающего через измерительный участок и втекающего далее в ГСС. Постоянство $q_m = \text{const}$ сохраняется, пока не нарушается условие $P_{гсс} \leq (0,80 \div 0,85)P_v$. Это свой-

ство критического сопла [5] обуславливает правомерность применения уравнения (1).

Что касается контрольного сечения, то это понятие условное. Его можно совместить с любым нормальным сечением в пределах измерительного участка, в том числе с минимальным сечением сопла, которое принято отождествлять с его критическим сечением.

Газосборный сосуд, коромысло, стойки понтона, понтон, погруженный в бак с водой, другие конструктивные элементы, расположенные на ГСС, образуют подвижную часть весоизмерительного узла. В качестве ГСС используется цилиндрический сосуд со сферическими днищами вместимостью примерно 1 м^3 , рассчитанный на работу при избыточном давлении 2 МПа. Масса ГСС составляет около 300 кг. Свободное перемещение подвижной части весоизмерительного узла крайне незначительно и ограничивается чувствительным элементом используемых прецизионных весов.

Измерительно-вычислительный комплекс включает средства измерений атмосферного давления P_v (барометр цифровой прецизионный DPI 740), температуры t_v и влажности Φ_v окружающего воздуха (измерительный преобразователь температуры и влажности ИВТМ-7М), разрежения в газосборном сосуде $P_{гсс}$ (вакуумметр ВО), весы «MettlerToledo» PB1502-S/A, программируемый контроллер, компьютер и необходимые средства сопряжений.

Систему измерений времени t образуют встроенные в отсечной клапан КВМ-63 фотодиоды, которые срабатывают при определенных положениях запирающего клапана и выдают электрические импульсы на таймерное устройство (счетчик импульсов СИ-8) для начала и окончания отсчета времени t открытого состояния клапана.

Вся информация со средств измерений поступает в компьютер в виде частотных, аналоговых или цифровых сигналов, обрабатывается согласно заданной программе, результаты измерений и выполненных расчетов выводятся на экран монитора и, при необходимости, на принтер.

Вспомогательное оборудование – это вакуумный насос со средствами управления и контроля, кондиционер, экраны и ограждения и др.

Исходная эталонная установка ГЭТ 118-2006 хранится и применяется в отгороженной части изолированного закрытого помещения, снабженного шлюзовой камерой и находящегося внутри большего помещения. С помощью кондиционера создается искусственный микроклимат. Для исключения влияния сотрясений почвы и вибраций весоизмерительный узел расположен на отдельном фундаменте и своими стойками опирается на него через слой речного песка. Для исключения влияния колебаний воздуха на результаты взвешивания двери в отгороженной части помещения во время измерений должны быть закрыты. Присутствие оператора в отгороженной части помещения во время измерений не допускается.

Калибровка критических сопел на ИЭУ должна производиться в строгом соответствии с Правилами содержания и применения эталона

ГЭТ 118-2006. Применение ИЭУ по назначению во время различного рода природных «катаклизмов», которые характеризуются большими скоростями изменений атмосферного давления, температуры и относительной влажности, высокой ветровой нагрузкой, колебаниями и толчками почвы при землетрясениях категорически запрещается.

Перед проведением калибровки критического сопла производится его осмотр. На поверхностях проточной части не должно быть царапин, вмятин, отложений инородных веществ. При необходимости проточный канал промыть спиртом, протереть чистой ветошью, продуть струей сухого воздуха. Дефекты на внешних поверхностях не должны препятствовать его правильному и герметичному креплению на испытательном участке ИЭУ.

Необходимо измерить диаметр горловины сопла d , (мм) и убедиться в том, что его диаметр находится в диапазоне (1,9÷13,5) мм. Пропускная способность сопла по объемному расходу может быть оценена по приближенной формуле

$$(q_{vst})_{расч} \approx 0,55 \cdot d^2, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Затем эталонное критическое сопло устанавливается и закрепляется в разьеме испытательного участка. В соответствии с методикой калибровки эталонных критических сопел на исходной эталонной установке последняя также должна быть подготовлена к работе. Согласно руководствам по эксплуатации подготавливаются к работе измерительные приборы и измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) ИЭУ.

По пропускной способности калибруемого сопла определяется расчетное время заполнения ГСС

$$T_{расч} = 3600 \frac{0,8V_{гсс}}{(q_{vst})_{расч}},$$

где $V_{гсс} \approx 1 \text{ м}^3$ – объем ГСС.

Полученное значение $T_{расч}$ вводится в память компьютера ИВК.

Полный цикл измерений при калибровке критического сопла на ИЭУ включает следующие операции:

1. Вакууммирование ГСС при отстыкованных весах до абсолютного давления $5 \div 10 \text{ кПа}$.
2. Взвешивание «пустого» ГСС при отсоединенном вакуумном насосе.
3. По команде «Пуск» открывается клапан КВМ-63, запускается таймерное устройство и начинается заполнение ГСС через калибруемое критическое сопло рабочей средой с одновременной регистрацией ее давления, температуры и влажности.
4. По истечении времени $T_{расч}$ клапан закрывается, заполнение ГСС и отсчет времени заполнения t прекращаются.
5. Взвешивание заполненного ГСС после затухания колебаний подвижной части весоизмерительного узла ИЭУ.

Обработка результатов измерений при калибровке критического сопла на ИЭУ ГЭТ 118-2006 предполагает определение массы воздуха, заполнившего ГСС

$$m^{(3)} = m_2 - m_1,$$

где m_1 – показания весов при «пустом» ГСС, кг;

m_2 – показания весов после заполнения ГСС воздухом, кг.

Массовый расход воздуха через калибруемое сопло находится по уравнению (1).

Плотность влажного воздуха при заполнении ГСС определяется по формуле

$$\rho_{(P_B; T_B; \varphi_B)} = 2,893 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{(P_{st}; T_{st}; \varphi=0)} \times \left(\frac{P_B - \varphi \cdot P_{B, n. max}}{T_B} + \varphi \cdot \rho_{B, n. max} \right), \text{ кг/м}^3$$

где $\rho_{(P_B; T_B; \varphi_B)}$ – плотность влажного воздуха при условиях измерений, кг/м³;

$\rho_{(P_B; T_B; \varphi_B)}$ – плотность сухого воздуха ($\varphi = 0$) при стандартных давлении P_{st} и температуры T_{st} , кг/м³;

$P_{B, n. max}$ и $\rho_{B, n. max}$ – давление и плотность насыщенного водяного пара, Па, кг/м³;

P_B и T_B – атмосферное давление и температура воздуха в помещении эталона, соответственно, Па и К;

φ – относительная влажность воздуха.

Объемный расход воздуха через сопло находим согласно формуле

$$q_{v(P_B; T_B; \varphi_B)}^{(3)} = \frac{q_m^{(3)}}{\rho_{(P_B; T_B; \varphi_B)}}.$$

Пропускные способности калибруемого критического сопла по объемному и массовому расходам при стандартных условиях определяют согласно зависимостям

$$q_{vst}^{(3)} = q_{v(P_B; T_B; \varphi_B)}^{(3)} \cdot \sqrt{\frac{T_{st}}{T_B}} \cdot k_{qv}, \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$q_{mst}^{(3)} = q_{vst}^{(3)} \cdot \rho_{st}, \text{ кг/ч},$$

где k_{qv} – поправочный множитель по объемному расходу, учитывающий влажность воздуха. Данные о численных значениях k_{qv} приводятся в руководствах по эксплуатации любой поверочной установки на эталонных критических соплах;

T_{st} – стандартная температура, $T_{st} = 293,15 \text{ K}(20^\circ\text{C})$;

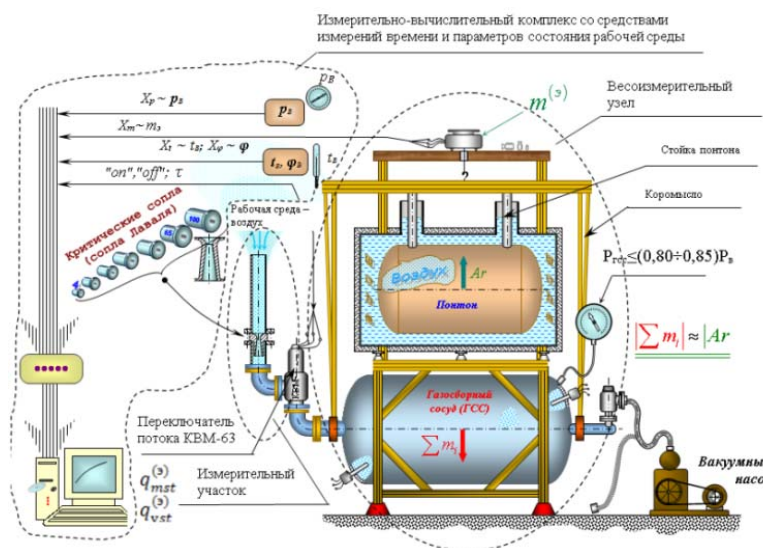
ρ_{st} – плотность воздуха при стандартных условиях,

$P_{st} = 760 \text{ мм.рт.ст. (101325 Па)}$; $T_{st} = 293,15 \text{ K}$

(20°C) ; $\varphi_{st} = 0,6$.

Каждому критическому соплу присущи свои индивидуальные значения $q_{vst}^{(3)}$ и $q_{mst}^{(3)}$. Использование же критических сопел, откалиброванных на ИЭУ ГЭТ 118-2006, в составе рабочих эталонов позволяет передавать размер единицы от государственного первичного эталона рабочим средствам измерений, обеспечивая единство и требуемую точность измерений расхода и количества газа во многих отраслях народного хозяйства страны.

Оценивание неопределенностей измерений при проведении калибровок критических сопел на исходной эталонной установке государственного первичного эталона единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118-2006 является предметом рассмотрения следующей статьи.



Ar – архимедова сила; $\sum m_i$ – суммарная масса конструктивных элементов подвижной системы весоизмерительного узла

Рис. 1 – Принципиальная схема исходной эталонной установки ГЭТ 118-2006

Литература

1. ГОСТ Р 8.618-2006. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений объемного и массового расходов газа. М.: Изд-во стандартов, 2006.

2. Горюнова С.М., Хамраева Д.К., Сопин В.Ф. Организация процедур аттестации и утверждения эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений // Вестник Казанского технологического университета, 16, С.236 (2012).

3. Герасимов А.П., Иванов В.П., Красавин В.М., Раинчик С.В., Семёнова О.К., Государственный первичный эталон единиц объемного и массового расходов газа, Мир измерений, 7 (2006).
4. Герасимов А.П., Иванов В.П., Красавин В.М., Лахов В.М., Раинчик С.В., Семёнова О.К., Область приме-

ния сопел Лавалья в расходоизмерительной технике, Измерительная техника, 4, С. 48 (2005).

5. Герасимов А.П., Иванов В.П., Красавин В.М., Лахов В.М., Раинчик С.В., Семёнова О.К., Свойства потоков газа при различных режимах течения через сопла Лавалья, Измерительная техника, 4, С. 40 (2005).

© **В. М. Красавин** - канд. техн. наук, доц., ФГУП ВНИИР, kras.84@mail.ru; **С.В. Раинчик** - ст. науч. сотр. ФГУП ВНИИР; **В. П. Ившин** - канд. техн. наук, доц.каф. АССОИ КНИТУ, ivshin2007@yandex.ru; **А. В. Красавин** - асп. каф. САиУТП КНИТУ; **И. А. Быков** - асп. каф. САиУТП КНИТУ; **С. С. Лобарев** - техник 2-й категории, ФГУП ВНИИР.