

Государственный первичный эталон единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118—2013

А. В. МИНГАЛЕЕВ¹, А. И. ГОРЧЕВ¹, В. А. ФАФУРИН¹, Н. И. МИХЕЕВ²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии, Казань, Россия,
e-mail: nio13@vniir.org

² Исследовательский центр проблем энергетики КазНЦ РАН, Казань, Россия

Представлены описание, структура, принцип работы, технические и метрологические характеристики Государственного первичного эталона единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118—2013.

Ключевые слова: эталон, единицы расхода газа, критическое сопло.

The description, structure, operating principle, technical and metrological characteristics of GET 118—2013 State primary standard of volumetric and mass gas flow rate units are presented.

Key words: standard, gas flow rate units, critical nozzle.

В ведущих отраслях экономики России, таких как топливно-энергетический комплекс, металлургический и нефтехимический комплексы, широко применяют высокоточные средства измерений (СИ) единицы объемного расхода газа различных типов действия с пределами измерений свыше 10000 м³/ч. Многие промышленные предприятия России проводят модернизацию существующих систем учета газа, основанных на принципе измерений его расхода методом переменного перепада давления с применением сужающих устройств, заменяя их на расходомеры-счетчики объемного расхода газа. Большой объем потребления (транспортирования) газа промышленными предприятиями связан с установкой расходомеров-счетчиков с верхними пределами измерений объемного расхода газа до 16000 м³/ч. В настоящее время существующая система метрологического обеспечения измерения расхода и количества газа, основанная на ГЭТ 118—2006, не способна обеспечить прослеживаемость передачи единицы расхода высокоточным СИ в диапазоне 10000—16000 м³/ч [1, 2]. Подобные проблемы существуют и в области обеспечения передачи единицы измере-

ний средствам измерений при давлении газа, отвечающем условиям эксплуатации. Поверка и калибровка таких СИ проводится на зарубежных эталонах, что исключает прослеживаемость передачи единицы расхода от национального эталона России.

Высокие темпы роста и появление на рынке в последние пять лет рабочих СИ расхода газа, изменение номенклатуры современного парка приборов (в Государственный реестр СИ занесено более 600 типов приборов для измерений расхода и количества газа), разработка и применение в метрологической практике переносных и мобильных эталонов различной точности актуализирует задачу обеспечения единства измерений объемного и массового расходов газа (табл. 1).

В 2013 г. во ВНИИР создан и утвержден Государственный первичный эталон единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118—2013 с расширенным диапазоном воспроизведения единиц объемного (массового) расхода газа при атмосферном и избыточном давлениях измеряемой среды [3]. Работы по совершенствованию эталона проводили с вне-

Таблица 1

Расходомеры и счетчики газа

Наименование СИ (фирма-изготовитель, страна)	Диапазон расхода, м ³ /ч	Погрешность, %
Расходомеры газа ультразвуковые MPU 1200, MPU 600, MPU 200 (ООО «Саратовгазавтоматика», Россия)	270—17 000	±(0,5—4,0)
Расходомеры-счетчики вихревые ИРВИС-РС4 (НПП «Ирвис», Россия)	7,0—12 000	±(0,5—1,5)
Расходомеры-счетчики газа турбинные SM-RI-X-L (Elster Instromet, Германия)	800—16 000	±(0,5—2,0)
Счетчики газа ультразвуковые FLOWSIC 600 (SICK MAIHAK GmbH, Германия)	6,0—130 000	±(0,3—2,0)
Счетчики газа вихревые WBZ 08 (RMG Messtechnik GmbH, Германия)	3,0—40 000	±(0,3—1,5)
Счетчики газа турбинные TRZ (ООО «ЭЛЬСТЕР Газэлектроника», Россия)	5—6 500	±(1,0—2,0)
Преобразователи расхода вихревые ЭМИС-ВИХРЬ 200 (ЗАО «ЭМИС», Россия)	297—452 365	±(0,5—4,0)

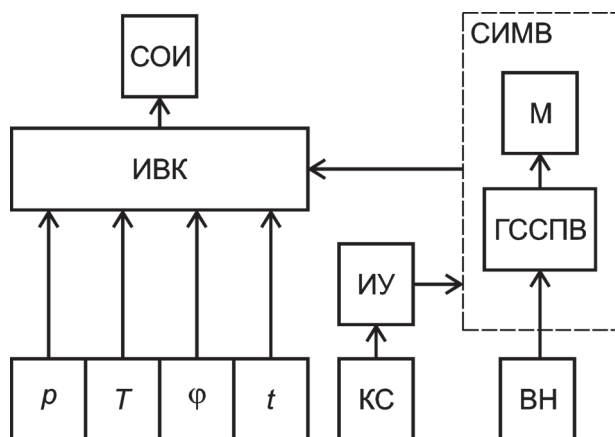


Рис. 1. Структурная схема ЭУ-1:

p , T , φ — преобразователи абсолютного давления, температуры и относительной влажности; t — счетчик времени; КС — критическое сопло; ИУ — испытываемый участок; ВН — вакуумный насос; ГССПВ — газосборный сосуд с системой подачи воздуха через критическое сопло; М — весы; СИМВ — система измерения массы воздуха; ИВК — измерительно-вычислительный комплекс; СОИ — система обработки информации

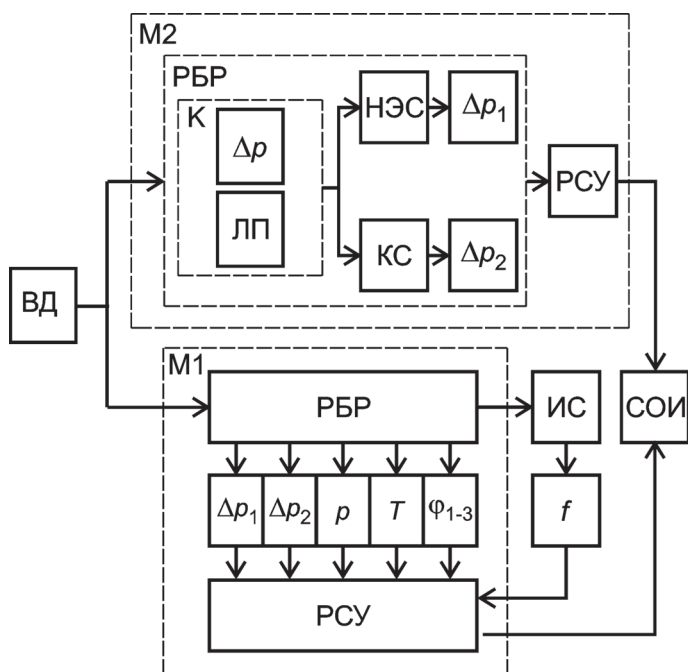


Рис. 2. Структурная схема ЭУ-2:

ВД — воздуходувка; М1, М2 — эталонные модули; РБР — расходомерный блок с эталонными соплами и ресивером; ИС — испытываемый счетчик (расходомер); Δp_1 — преобразователь перепада давления между ресивером и расчетным сечением измерительной магистрали, Δp_2 — для контроля критического режима сопла; p , T , φ_{1-3} — преобразователи абсолютного давления, температуры и влажности (3 шт.) в ресивере; f — частотный сигнал с поверяемого счетчика (расходомера); К — компаратор расхода; Δp — преобразователь перепада давления на компараторе; ЛП — ламинаризатор потока; НЭС — набор эталонных сопел; КС — калиброванное сопло; РСУ — распределенная система управления; СОИ — система обработки информации

дрением лучших отечественных и зарубежных достижений в области измерений расхода газа, а также с учетом результатов международных сличений и информации, полученной в рамках сотрудничества по линии КОOMET и с Физико-техническим институтом Германии (PTB).

Состав и описание эталона. Эталон состоит из четырех эталонных установок: ЭУ-1 — исходной; ЭУ-2 и ЭУ-3 с наборами эталонных критических сопел; ЭУ-4 с набором эталонных критических сопел для воспроизведения объемного и массового расходов при избыточном давлении измеряемой среды.

Воспроизведение единиц массового расхода газа на ЭУ-1 (рис. 1) основано на статическом измерении массы воздуха, прошедшего через критическое сопло и поступившего в гидростатически уравновешенный газоприемный резервуар за фиксированный интервал времени [4]. В результате измерений массового расхода газа, параметров воздуха (давления p , температуры T , влажности φ) и рассчитанных по этим параметрам физических свойств воздуха определяется воспроизводимый объемный расход газа.

Воспроизведение единиц объемного и массового расходов газа на ЭУ-2 (рис. 2) и ЭУ-3 основано на сличении измеренных расходов воздуха, прошедшего последовательно через установленные поверяемое СИ и набор эталонных преобразователей расхода (критических сопел). В герметичном канале обеспечивается одинаковый массовый расход воздуха через эталонное и поверяемое СИ. Для перехода к объемным расходам измеряют абсолютное давление в сечении перед эталонным преобразователем расхода и перепад давления между этим и расчетным сечениями поверяемого СИ. Для перехода к объемному расходу также используют параметры воздуха T и φ . Их измеряют в ресивере (корпусе) установки перед эталонными преобразователями расхода.

Воспроизведение единиц объемного и массового расходов газа на ЭУ-4 (рис. 3) основано на таком же методе, как в ЭУ-2 и ЭУ-3. В тракте ЭУ-4 обеспечивается одинаковый массовый расход воздуха через эталонное и поверяемое СИ. Для перехода к объемным расходам измеряют p и T в сечениях перед критическим соплом и на поверяемом СИ расхода газа. Для перехода к объемному расходу в испытательном участке перед поверяемым СИ также используют коэффициенты сжимаемости воздуха при условиях измерения.

Критическое сопло. При совершенствовании эталона был выбран уже применявшийся в предыдущих эталонах способ передачи единицы объемного и массового расходов с использованием критических сопел [5] как наиболее рациональный во всех отношениях и доказавший свою состоятельность в составе государственных первичных эталонов во многих странах мира [6]. Критическое сопло — это техническое средство, разгоняющее проходящий по нему газовый поток до местной скорости звука. При достижении критического перепада давления на сопле возникающие на выходе возмущения не могут передаваться на его вход, и как следствие скорость газа и расход перед соплом становятся стабильными. Объемный расход газа на входе критического сопла определяется только параметрами сопла и температурой газа на входе. Таким образом, каждое сопло обеспечивает одно, строго определенное значение расхода. При этом расход устанавливается автоматически без всяких регулировок в соответствии с физикой процесса и не зависит от всевозможных внешних колебаний.

Основными преимуществами установок на критических соплах являются высокая точность; простота конструкции и, следовательно, невысокая стоимость; возможности длительных испытаний и измерений расхода в широком диапазоне; высокая метрологическая надежность, так как основной элемент (сопло) не имеет движущихся частей и острых кромок, т. е. не изнашивается; отсутствие регулировок и настроек, удобство обслуживания.

Компаратор расхода. Принцип работы эталона при калибровке критических сопел основан на сличении расходов воздуха через эталонное сопло (набор эталонных сопел) и калибруемое [7]. Непосредственное сличение расходов трудно осуществить из-за необходимости поддерживать критический режим истечения, связанный с большим перепадом давления. По этой причине сличение осуществляется через компаратор расхода на базе турбинного и ротационного счетчиков газа.

В ГЭТ 118—2013 вместо компараторов на базе турбинного и ротационного счетчиков газа впервые применены преобразователи расхода с гидравлическим сопротивлением, работающие в ламинарном режиме течения воздуха [8]. Данный метод обеспечивает линейную зависимость между расходом воздуха и перепадом давления, измеряемым на каждом компараторе, что необходимо при проведении калибровки критического сопла.

Компаратор расхода с гидравлическим сопротивлением содержит систему плоских каналов высотой $h = 0,8$ мм и длиной $L = 200$ мм, в которых поддерживается ламинарный режим течения воздуха. В корпусе перед компаратором установлен струевыпрямитель для выравнивания потока перед входным сечением компаратора.

Принцип действия компараторов расхода с гидравлическим сопротивлением поясняет рис. 4. На входе в канал компаратора энергия газа затрачивается на образование равномерного профиля скоростей. Далее на определенной длине (не более L_1) формируется характерный для ламинарного течения параболический профиль скоростей, который ниже по потоку остается практически неизменным. На этом участке стабилизированного течения давление линейно изменяется по длине канала, а перепад давления на некоторой длине L_2 линейно зависит от расхода через канал. Для измерения перепада давления удобна длина участка $L_2 \approx 140$ мм, на которой максимальный перепад давления при течении атмосферного воздуха в канале высотой $h = 0,8$ мм в области ламинарных режимов составляет $\Delta p = 1000$ Па.

Компараторы расхода с гидравлическим сопротивлением имеют ряд преимуществ по сравнению с компараторами расхода на базе турбинного и ротационного счетчиков газа: отсутствие пульсаций давления и скорости в компараторе, высокую метрологическую надежность из-за отсутствия движущихся элементов, простоту в обслуживании, исключение различных регулировок и настроек.

Эталон сравнения. Основная задача, возложенная на государственный первичный эталон, — передача единицы расхода непосредственно рабочим эталонам и СИ как путем сличения и (или) калибровки критических сопел, так и передачи единицы расхода и объема с помощью эталона сравнения [1]. Передача единицы измерений путем калибровки эталонных критических сопел на ГЭТ 118—2013 не всегда приемлема, так как в некоторых рабочих эталонах применяют эталонные расходомеры, а не набор эталонных

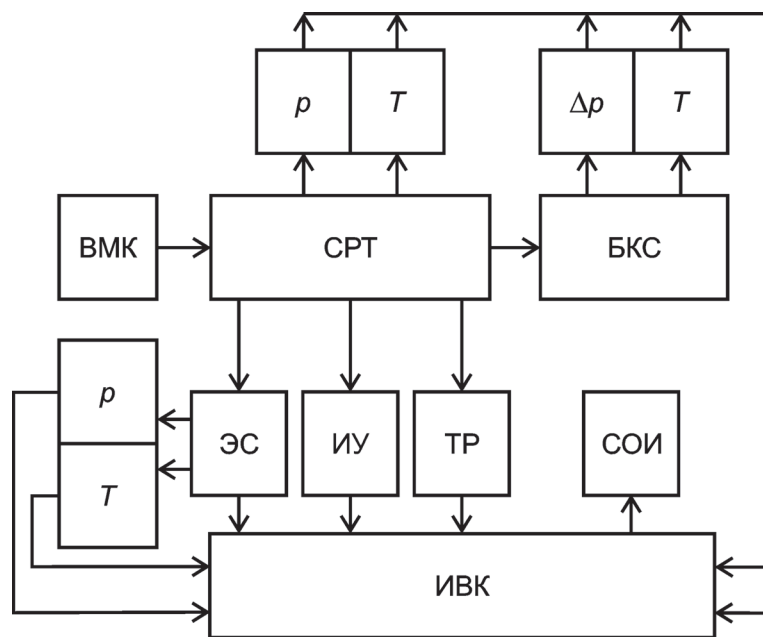


Рис. 3. Структурная схема ЭУ-4:

p , T — преобразователи абсолютного давления и температуры; Δp — преобразователь перепада давления для контроля критического режима сопла (5 шт.); БКС — блок критических сопел; ЭС — эталонный счетчик (расходомер); ИУ — испытываемый участок; ТР — термомассовый расходомер; СОИ — система обработки информации; ИВК — измерительно-вычислительный комплекс; CPT — система ресиверов и трубопроводов; ВМК — винтовой маслянонаполненный компрессор

критических сопел. Передача единицы расхода с помощью эталона сравнения позволяет полностью учесть конструктивные и эксплуатационные характеристики поверочных установок.

Для решения этих задач создан эталон сравнения расхода на базе ротационного счетчика IRM-Duo фирмы «Instromet» модульного типа с двумя парами роторов, вращающихся в противофазе. Почти все ротационные счетчики создают возмущение при определенных условиях, которые связаны с вращением роторов, и вызывают резонансные колебания с прилегающими трубами. Эти нежелательные эффекты увеличиваются с ростом давления и расхода. Пре-

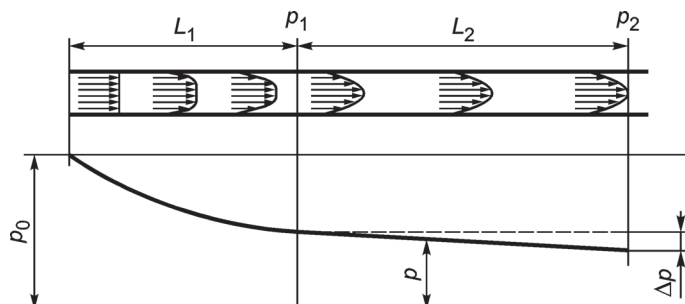


Рис. 4. Принцип действия компараторов расхода:

L_1 , L_2 — участки канала, на которых соответственно формируется и поддерживается ламинарный режим течения воздуха; p_0 — давление воздуха на входе в канал компаратора; p_1 , p_2 — давления в местах отбора воздуха; Δp — перепад давления на участке длиной L_2

Метрологические и технические характеристики ГЭТ 118—2013

Характеристика	ЭУ-1	ЭУ-2	ЭУ-3	ЭУ-4
Диапазон воспроизведения расхода, м ³ /ч (кг/ч)	3·10 ⁻³ —100 (3,6·10 ⁻³ —120)	1—16000 (1,2—19200)	3·10 ⁻³ —6 (3,6·10 ⁻³ —7,2)	10—2300 (12—2700)
Диапазон абсолютного давления рабочей среды, кПа	96—104	96—104	96—104	до 1000
Среднее квадратическое отклонение, %	3,5·10 ⁻²	4·10 ⁻²	5·10 ⁻²	5·10 ⁻²
Неисключенная систематическая погрешность, %	4·10 ⁻²	4·10 ⁻²	4·10 ⁻²	4·10 ⁻²
Относительная стандартная неопределенность, %:				
по типу А	3,5·10 ⁻²	4·10 ⁻²	5·10 ⁻²	5·10 ⁻²
по типу В	2,3·10 ⁻²	2,3·10 ⁻²	2,3·10 ⁻²	2,3·10 ⁻²
суммарная	4,2·10 ⁻²	4,6·10 ⁻²	5,5·10 ⁻²	5,5·10 ⁻²
Расширенная неопределенность при коэффициенте охвата $k=2$, %	8,4·10 ⁻²	9,2·10 ⁻²	11,0·10 ⁻²	11,0·10 ⁻²

имуществами ротационного счетчика IRM-Duo являются отсутствие паразитных резонансных явлений [9], возникающих при применении счетчика с одной парой роторов, и минимальная чувствительность к характеру течения среды, в связи с чем использование данного типа счетчика не требует изготовления протяженных прямолинейных участков.

Метрологические и технические характеристики эталона сравнения

Номинальный диаметр 100 мм
 Диапазон измерений расхода 20—360 м³/ч
 Диапазон измерений температуры 0—50 °С
 Диапазон измерений давления 0—130 кПа
 Диапазон измерений относительной влажности 0—90 %
 Среднее квадратическое отклонение результата измерения 0,1 %

В табл. 2 приведены характеристики государственного первичного эталона единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118—2013, предназначенного для хранения и воспроизведения единиц объемного и массового расходов газа и передачи их рабочим эталонам 1-го разряда и рабочим СИ в целях обеспечения единства измерений объемного и массового расходов газа [1].

Метод передачи единиц объемного и массового расходов газа реализован с учетом требований международных стандартов. По основным метрологическим характеристикам и техническому оснащению ГЭТ 118—2013 соответствует лучшим зарубежным аналогам.

Литература

1. **ГОСТ Р 8.618—2006.** ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений объемного и массового расходов газа.

2. **Федеральный закон** от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

3. **Приказ** Росстандарта № 55 от 27 января 2014 г. «Об утверждении Государственного первичного эталона единиц объемного и массового расходов газа».

4. **Красавин В. М. и др.** Исходная эталонная установка государственного первичного эталона единиц объемного и массового расходов газа ГЭТ 118—2006. Процедура калибровки критических сопел // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 10. С. 285—288.

5. **Герасимов А. П., Иванов В. П., Красавин В. М., Лахов В. М., Раинчик В. С., Семенова О. К.** Свойства потоков газа при различных режимах течения через сопла Лаваля // Измерительная техника. 2005. № 4. С. 40—44; **Gerasimov A. P., Ivanov V. P., Krasavin V. M., Lakhov V. M., Rainchik V. S., Semenova O. K.** The Properties of Gas Flows for Different Flow Conditions Through Laval Nozzles // Measurement Techniques. 2005. V. 48. N. 4. P. 367—373.

6. **Раинчик В. С. и др.** Опыт применения критических сопел в поверочных установках для расходомеров и счетчиков газа // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2014 № 1. С. 5—11.

7. **Герасимов А. П., Красавин А. В.** Калибровка критических сопел на эталонах единиц расхода газа // Измерительная техника. 2013. № 10. С. 36—39; **Gerasimov A. P., Krasavin A. V.** Calibration of Critical Nozzles on Standards of the Units of the Rate of Flow of a Gas // Measurement Techniques. 2013. V. 56. N. 10. P. 1146—1149.

8. **Кремлевский П. П.** Расходомеры и счетчики количества: Справ. пособие. Л.: Машиностроение, 1989.

9. **Официальный сайт** ООО «Эльстер-Инструмент». [Электрон. ресурс]. www.instromet.ru/doc/view.php?ID=50.

Дата принятия 29.14.2014 г.