

УДК 532.528.5.08

## МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВОК ОБЪЕМА И РАСХОДА ГАЗА КОЛОКОЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОПЕЛ ВЕНТУРИ КРИТИЧЕСКОГО ИСТЕЧЕНИЯ

Гулюк В.А.

Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии»  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Представлены результаты работы по модернизации установок объема и расхода газа колокольного типа, позволивших обеспечить метрологический контроль сопел Вентури критического истечения. Описан принцип работы модернизированных установок объема и расхода газа колокольного типа и полученные в результате модернизации их основные технические и метрологические характеристики.

**Введение.** Высокая точность измерения расхода и количества природного газа приобретают определяющую роль как в успешном решении проблем рационального использования природных энергетических ресурсов отдельными предприятиями и отраслями народного хозяйства в целом, так и в бесперебойном обеспечении населения по социально-ориентированным ценам одним из важнейших энергетических ресурсов – природным газом. Для обеспечения этих целей создаются и эксплуатируются расходомерные установки, обеспечивающие передачу единицы измерения объемного расхода и объема газа рабочим средствам измерений – расходомерам и счетчикам газа различного принципа действия и различных диапазонов измерения. В настоящее время в Республике Беларусь примерно 70 % расходомерных установок, предназначенных для метрологического контроля бытовых счетчиков газа, в качестве рабочих эталонов объемного расхода воздуха используют сопла Вентури критического истечения. До декабря 2018 метрологический контроль сопел Вентури критического истечения, применяемых на территории Республики Беларусь осуществлялся ФГУП «Государственный научный метрологический центр Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии» (ВНИИР), г. Казань, Российская Федерация и ГП «Ивано-Франковский научно-производственный центр стандартизации, метрологии и сертификации», г. Ивано-Франковск, Украина. На территории Республики Беларусь метрологический контроль сопел Вентури критического истечения не осуществлялся. Это было обусловлено рядом технических проблем применения имеющегося эталонного оборудования для обеспечения передачи единицы измерения объемного расхода воздуха соплам Вентури критического истечения, а именно обеспечение режима критического истечения воздуха через сопло. В период с октября 2017 по май 2018 была проведена модернизация имеющихся у БелГИМ установок объема и расхода газа колокольного типа

РЕОВГ-02 № 009 и РЕОВГ-004 № 001, позволившая обеспечить режим критического истечения воздуха через сопло на установках и освоить калибровку сопел Вентури критического истечения, применяемых субъектами хозяйствования на территории Республики Беларусь, в диапазоне объемных расходов воздуха от 0,016 до 10 м<sup>3</sup>/ч.

**Воспроизведение и передача единицы измерения объемного расхода газа соплам Вентури критического истечения от установок объема и расхода газа колокольного типа.** Воспроизведение единицы измерения объемного расхода газа установками объема и расхода газа колокольного типа подробно описано в [1] и [2]. Передача единицы измерения объемного расхода газа соплам Вентури критического истечения от установок объема и расхода газа колокольного типа возможна при условии обеспечения режима критического истечения воздуха через сопло. Это возможно при соблюдении условия, выраженного уравнением:

$$\left(\frac{p_2}{p_0}\right)_{\max} = 0,8 \left[ \left(\frac{p_2}{p_0}\right)_i - r_* \right] + r_*, \quad (1)$$

где  $p_2$  – давление газа на выходе сопла, Па;  $p_0$  – давление торможения газа на входе сопла, Па;  $r_*$  – определяется по формуле

$$r_* = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (2)$$

где  $k$  – изэнтропический показатель (показатель адиабаты) газа. Таким образом, при отношении давлений на выходе сопла к давлению на входе сопла, соответствующему (1), расход газа через горловину сопла становится максимальным и скорость истечения газа через горловину сопла становится равной местной скорости звука. Такой режим истечения газа через сопло называется режимом критического истечения. Данное условие регламентируется в международном стандарте [3] и в действующем в нашей стране национальном стандарте [4]. Для обеспечения режима критического истечения через сопло при передаче единицы измерения объемного расхода газа от установок объема и расхода газа колокольного типа необходима их модернизация. Суть модернизации сводится к подключению к измерительному участку установки с установленным в нем соплом системы, создающей и поддерживающей вакуум. Эта система должна не нарушать режим работы

установки и не воздействовать на затворную жидкость эталонного колокола установки. В этом случае, определение объемного расхода газа сопла Вентури критического истечения можно выполнить методом прямых измерений. Суть метода заключается в определении значения номинального объемного расхода сопла путем пропускания через него контрольного объема воздуха, воспроизводимого установкой объема и расхода газа колокольного типа, и измерения времени протекания этого объема через сопло. При этом сопло устанавливается входным конфузором к выходному патрубку установки, а выходным диффузором к системе создания вакуума, которое обеспечивает создание и поддержание критического режима истечения через сопло. Перед соплом не должно быть источников завихрения потока. Геометрические размеры сопел Вентури критического истечения регламентируются в [3] и [4]. Внешний вид разреза сопла Вентури критического истечения представлен на рисунке 1.

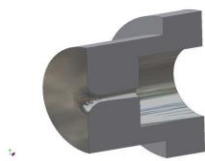


Рисунок 1 – Сопло Вентури критического истечения

Значения номинального объемного расхода сопел Вентури критического истечения определяют с учетом влажности, температуры и давления воздуха под колоколом и перед соплом, и приводят к температуре 20 °С и относительной влажности 0 % или 60 %. В общем виде определение объемного расхода сопла Вентури критического истечения путем пропускания через него контрольного объема воздуха, воспроизводимого установкой объема и расхода газа колокольного типа, и измерения времени протекания этого объема через сопло можно выразить уравнением:

$$Q_v = Q_{эт} \cdot \frac{\rho_a}{\rho_c} \cdot k_v \cdot \sqrt{\frac{293,15}{T_c}}, \quad (3)$$

УДК 681.586

### ГЛУБИНА ЗОНЫ КОНТРОЛЯ СЕНСОРА ОТКРЫТОГО ТИПА Джежора А.А.<sup>1</sup>, Рубаник В.В.<sup>2</sup>, Жизневский В.А.<sup>1</sup>, Завацкий Ю.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Государственное научное учреждение «Институт технической акустики НАН Беларуси»  
Витебск, Республика Беларусь

Разработка электроемкостного метода неразрушающего контроля связана с созданием электроемкостных сенсоров, позволяющих локализовать электрические поля на желаемом участке контролируемого изделия. Решение данной задачи сопровождается рядом трудностей,

где  $Q_{эт}$  – эталонный объем, воспроизводимый установкой, м<sup>3</sup>;  $\rho_a$  и  $\rho_c$  – значения плотностей измеряемого воздуха на эталоне и перед соплом соответственно, кг/ м<sup>3</sup>;  $T_c$  – температура воздуха на входе сопла, К.

Модернизированные установки колокольного типа РЕОВГ-02 и РЕОВГ-004, принадлежащие БелГИМ, воспроизводят контрольные объемы воздуха методом вытеснения при погружении колокола в жидкость (масло трансформаторное). Основные технические и метрологические характеристики модернизированных установок колокольного типа, принадлежащих БелГИМ, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические и метрологические характеристики установок колокольного типа, принадлежащих БелГИМ

Установки колокольного типа	Воспроизводимые объемы воздуха, м <sup>3</sup>			Диапазон воспроизводимых расходов воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Максимальная относительная расширенная неопределенность (k=2), %
	0,08	0,12	0,20		
РЕОВГ-02	0,08	0,12	0,20	от 0,06 до 16	0,11
РЕОВГ-004	0,01	0,02	0,04	от 0,016 до 2,5	0,23

**Заключение.** Модернизированные установки объема и расхода газа колокольного типа РЕОВГ-02 и РЕОВГ-004, принадлежащие БелГИМ, позволяют обеспечить метрологический контроль сопел Вентури критического истечения, применяемых в качестве рабочих эталонов при проверке бытовых счетчиков газа, в диапазоне объемного расхода воздуха от 0,016 до 10 м<sup>3</sup>/ч.

#### Литература

1. R. Paton Calibration and Standards in Flow Measurement / Handbook of Measuring System Design- John Wiley & Sons, 2005 – 191p.
2. Final report on intercomparison measurements in the field of gas flow and volume, which are realized at two levels: the first level (A\*) – Metrologia 45 (2008), P. 7–17.
3. ISO 9300:2005 / Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles.
4. СТБ ISO 9300-2018 /Измерение расхода газа с помощью сопел Вентури критического истечения.

значительно ограничивающих использование всех возможностей электроемкостного способа по точности и информативности.

В ряде сенсоров, а к ним относятся плоский конденсатор Maxwell, цилиндрический конденсатор, зеркально-симметричный конденса-