

УДК 681.121

И.С. Петришын, Т.И. Присяжнюк, А.А. Бас

ГП «Ивано-Франковскстандартметрология», Ивано-Франковск, Украина

## УМЕНЬШЕНИЕ СУММАРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ ЕДИНИЦ ОБЪЕМА И ОБЪЕМНОГО РАСХОДА ГАЗА ЭТАЛОННЫМИ УСТАНОВКАМИ

Описан процесс воспроизведения единиц объема и объемного расхода газа эталонными установками путем обеспечения стабильности скорости движения подвижной части установки, неизменностью площади поперечного сечения контрольного участка установки и высокой точности измерения единицы времени. Уменьшение неопределенности воспроизведения обеспечивается тем условием, что единица времени измеряется на несколько порядков точнее чем осуществляется измерение геометрических величин, соответственно при применении предложенного подхода исключается необходимость измерения расстояния с помощью линейки. Экспериментально проверено данный подход в разработанной в ГП «Ивано-Франковскстандартметрология» установке поршневого типа.

**Ключевые слова:** неопределенность, объем, объемный расход газа, единица времени, поршневая установка.

### Введение

Воспроизведения единицы объемного расхода газа обеспечивается в комплексе с воспроизведением единицы объема газа. Применение формального подхода указывает на то, что только единица объема газа воспроизводится первично, необходимым условием чего является стабильность и неизменность геометрических размеров контрольного участка установки. Соответственно, воспроизведения единицы объемного расхода газа является функцией объема, который вытесняется из геометрического объема установки и времени, изменение которого достигается за счет изменения скорости движения подвижной части.

Таким образом, воспроизведения единицы объемного расхода возможно только при реализации передачи единиц, то есть при проведении калибровки (поверки) эталонного счетчика газа. Подавляющее большинство установок для воспроизведения единиц объема и объемного расхода газа составляют установки, принцип действия которых обычно построен на перемещении подвижной части: кольцевого типа, поршневого типа, PVTt типа и эквивалентного вытеснения жидкости.

### Изложение основного материала

Основной принцип построения эталонных установок в части обеспечения максимально возможного значения точности предусматривает минимальную длину цепочки прослеживаемости к базовым единицам системы СИ и использования лучших образцов средств измерительной техники, входящих в их состав. Для установок для воспроизведения

единиц объема и объемного расхода газа такими базовыми единицами являются единица длины «м» и времени «с». При проектировании установок имеет смысл применять технические решения, которые обеспечат прямую прослеживаемость через непосредственное калибрование с использованием первичных эталонов длины и времени.

Соответственно, основное уравнение измерения при воспроизведении единицы объемного расхода газа  $Q$  имеет следующий вид:

$$Q = V/t, \quad (1)$$

где  $V$  - контрольный воспроизводимый объем;  $t$  - время, в течение которого осуществлялось измерение.

Изменение значения измеренного времени варьируется в зависимости от скорости движения подвижной части.

Соотношение максимального значения времени замера до минимального определяет динамический диапазон работы установки. Скорость движения в пределах контрольного участка может изменяться в зависимости от: или частоты вращения привода или изменения передаточного числа редукционного узла (для установок с приводом) или от угла поворота при регулировании задвижки (для установок без привода).

Значение контрольного объема газа без учета приведения к нормальным условиям обычно определяется как:

$$V = h \cdot \pi \cdot d^2 / 4 \quad (2)$$

где  $h$  - длина участка в пределах которой измеряется контрольный объем;  $d$  - диаметр.

С учетом этого, при проведении метрологического анализа основным влиятельными факторами будут геометрические размеры, то есть диаметр и длина и время. В относительном выражении единица времени измеряется на несколько порядков точнее, чем другие единицы системы СИ, в частности геометрические величины.

Соответственно, для повышения точности, то есть уменьшение суммарной неопределенности воспроизведения единиц объема и объемного расхода газа имеет смысл предложить реализацию процесса воспроизведения основываясь на единицу времени и ее производные.

Таким образом, можно утверждать, что объемный расход может воспроизводиться согласно следующей зависимости:

$$Q = v \cdot \pi \cdot d^2 / 4, \quad (3)$$

где  $v$  - скорость движения подвижной части установки. Стабильность воспроизведения единицы объемного расхода газа обеспечивается неизменностью площади поперечного сечения контрольного участка установки, в рамках которого происходит воспроизведение контрольного объема газа и постоянство скорости движения, которая в свою очередь обеспечивается частотой оборотов привода. Таким образом полученное значение единицы объемного расхода газа не привязано к единице воспроизводимого контрольного объема газа, поскольку физическая единица объемного расхода газа воспроизводится независимо от единицы объема, то есть независимо от границ контрольного участка. Для обеспечения максимального значения стабильности скорости движения необходимо, чтобы преобразования энергии привода в прямолинейное движение подвижной части установки осуществлялось с максимальной точностью, то есть с минимальным количеством механических безлюфтных передач.

Поэтому, значение контрольного объема с учетом (3) в свою очередь определяется как:

$$V = (v \cdot \pi \cdot d^2 / 4) \cdot t, \quad (4)$$

то есть для реализации процесса воспроизведения единицы объема газа в данном случае применяют единицу времени, а не расстояния. При достижении стабильного движения (постоянной скорости) подвижной части установки для воспроизведения единиц объема и объемного расхода газа задается значение времени, в течение которого осуществляется замер количества импульсов от эталонного счетчика. Иными словами, при передаче единицы объемного расхода газа к счетчику газа, единица объема формируется за счет прохождения контрольного значения объема газа за определенный промежуток времени, то есть в данном случае значения объемного

расхода газа физически ограничено временными рамками.

При реализации процесса воспроизведения и передачи единиц объема и объемного расхода газа предложенным способом нет необходимости осуществлять измерения длины контрольного участка с помощью линейки, которую при определенных обстоятельствах относительно трудно применить и, соответственно, провести измерения длины.

Для апробации предложенного подхода в ГП «Ивано-Франковскстандартметрологія» разработана и изготовлена расходоизмерительная установка поршневого типа единиц объема и объемного расхода газа на газовой среде при давлении до 1,6 МПа. Установка построена на принципе поршневого типа с принудительным перемещением механического поршневого разделителя и кольцевой схемой движения потока газа.

Предложен ряд технических решений, при применении которых разработана установка лишена большинства недостатков проанализированных аналогичных установок [1, 2]. Основные отличия заключаются в том, что при движении поршня отсутствуют перетоки газа благодаря реализации уплотнения поршневого разделителя избыточным давлением масла, это в свою очередь дает возможность обеспечивать работу установки в диапазоне избыточного давления от близкого к атмосферному до 1,6 МПа, кроме того установка конструктивно состоит из четырех одновременно работающих идентичных поршневых секций, что позволило увеличить контрольный объем и уменьшить случайную составляющую неопределенности [3].

Внешний вид установки представлен на рис. 1.

Технический аспект реализации поршневой установки процесса воспроизведения единицы объемного расхода газа при давлении до 1,6 МПа представляет собой сложную динамическую систему, ключевым элементом которой является узел электромеханического привода. Оптимальная конструкция такого узла по поводу это применение комплекса редукторов с зубчатыми передачами: цилиндрического редуктора с переменным передаточным отношением и конического редуктора, а для преобразования вращательного движения приводных валов конического редуктора в возвратно-поступательное движение поршней применено цепную передачу. Для компоновки узла привода использованы редукторы автомобильной трансмиссии иностранного производства.

Соответственно, принимая во внимание то, что применены средства из другой области промышленности, можно утверждать, что с учетом условий их работы, их метрологические характеристики на несколько порядков превышают типичные значения отечественных образцов.

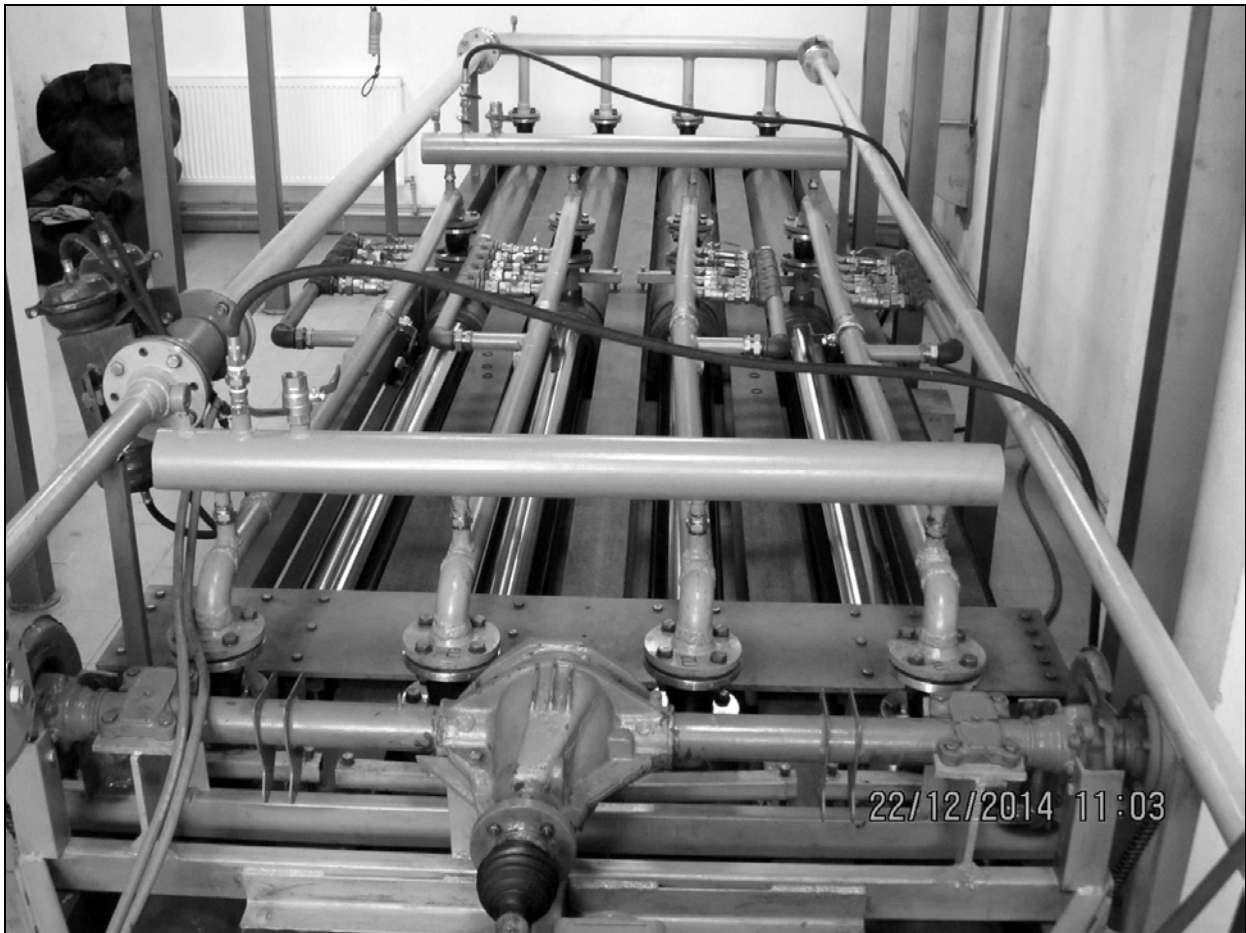


Рис. 1. Внешний вид расходоизмерительной установки поршневого типа единиц объема и объемного расхода газа на газовой среде при давлении до 1,6 МПа

На основе математического согласования исходной угловой скорости электродвигателя с линейной скоростью поршневых разделителей, которая определяется в зависимости от необходимого объемного расхода газа, получено уравнение измерения единицы объемного расхода газа  $Q_f$  поршневой установкой в зависимости от переменной частоты питания электродвигателя  $f$  и выбора передачи цилиндрического редуктора:

$$Q_f = \frac{\pi \cdot (1 - R_E) \cdot f}{u_E \cdot i_{Gk} \cdot i_M \cdot i_V} \cdot \frac{t_z}{\sin(\pi/z_z)} \cdot S, \quad (5)$$

где  $R_E$  – коэффициент скольжения электродвигателя;  
 $u_E$  – количество пар полюсов обмотки ротора;  
 $i_{Gk}$ ,  $i_M$ ,  $i_V$  – передаточные отношения редукторов;  
 $t_z$ ,  $z_z$  – шаг и количество зубцов звездочки цепи;  
 $S$  – площадь поперечного сечения цилиндров.

Соответственно, уравнение измерения единицы объема газа имеет следующий вид:

$$V = Q_f \cdot t. \quad (6)$$

Метрологический анализ и определение суммарной неопределенности необходимо проводить с

учетом частных производных всех влияющих факторов и коэффициентов корреляции между механическими звеньями привода, каковыми являются цилиндрический редуктор.

Внутренняя структура редуктора включает две последовательно установленные зубчатые передачи.

Соответственно расчет суммарной неопределенности воспроизведения единицы объемного расхода газа поршневой установкой производится по следующей формуле:

$$u_Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_f}{\partial f} u_f\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_f}{\partial i_{Gk}} u_{iGk}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_f}{\partial i_M} u_{iM}\right)^2 + R_i \left(\frac{\partial Q_f}{\partial i_{Gk}} u_{iGk}\right) \left(\frac{\partial Q_f}{\partial i_M} u_{iM}\right) + \left(\frac{\partial Q_f}{\partial i_V} u_{iV}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_f}{\partial t_z} u_{t_z}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_f}{\partial z_z} u_{z_z}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_f}{\partial S} u_S\right)^2} \quad (7)$$

где  $u_f$  – суммарная неопределенность выставления значения частоты частотным регулятором оборотов электродвигателя;

$u_{iGk}$ ,  $u_{iM}$ ,  $u_{iV}$  – суммарные неопределенности зубчатых передач редукторов;

$R_i$  – коэффициент корреляции между зубчатыми передачами цилиндрического редуктора;

$u_{tz}$  – суммарная неопределенность междушарнирного шага цепи;

$u_{zz}$  – суммарная неопределенность шага ведущей звездочки;  $u$

$s$  – суммарная неопределенность измерения площади поперечного сечения цилиндров с учетом суммарной неопределенности измерения диаметров четырех цилиндров.

С учетом предыдущих утверждений суммарная неопределенность воспроизведения единицы объема газа будет рассчитана как:

$$u_V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial Q_f} u_Q\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial t} u_t\right)^2}, \quad (8)$$

где  $u_t$  – неопределенность измерения времени.

## Вывод

Предложено применение единицы времени для воспроизведения единиц объема и объемного расхода газа за счет обеспечения стабильности скорости движения подвижной части установки и неизменностью площади поперечного сечения. Такой подход дает возможность не проводить измерения расстояния с помощью линейки, а ограничивается лишь заданием временной продолжительности замера.

Уменьшение неопределенности в свою очередь обеспечивается тем условием, что неопределенность измерения единицы времени на несколько порядков меньше неопределенность измерения геометрических величин.

В качестве примера представлена разработана в ГП «Ивано-Франковскстандартметрологія» расходоизмерительная установка поршневого типа, в которой реализовано предлагаемой подход в порядке эксперимента.

## Список литературы

1. Mickan B. *Highest Precision for Gas Meter Calibration Worldwide: The High Pressure Gas Calibration Facility pignar with Optimized Uncertainty* / B. Mickan, R. Kramer, H. Müller, V. Strunck // *7th International Symposium of Fluid Flow Measurement, Anchorage, Alaska, 12-14 August. – 2009. – P. 1 – 19.*
2. Van der Beek M.P. "Gas-Oil Piston Prover", a new concept to realize reference values for High-Pressure Gas-Volume in the Netherlands / M.P. van der Beek, R. van den Brink and I.J. Landheer // *FLOMEKO 2003, Groningen, the Netherlands. – 2003. – P. 41 – 49.*
3. Бас А.А. Конструктивные и метрологические аспекты газоизмерительных установок поршневого типа / О.А. Бас // *Технологический аудит та резерви производства. – 2014. – № 1/4 (15). – С. 11 – 13.*

Поступила в редколлегию 4.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. П.М. Райтер, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск.

## ЗМЕНШЕННЯ СУМАРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВІДТВОРЕННЯ ОДИНИЦЬ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ ЕТАЛОННИМИ УСТАНОВКАМИ

І.С. Петрішин, Т.І. Присяжнюк, А.А. Бас

*Описано процес відтворення одиниць об'єму та об'ємної витрати газу еталонними установками шляхом забезпечення стабільності швидкості руху рухомої частини установки, незмінністю площі поперечного перерізу контрольного ділянки установки і високої точності вимірювання одиниці часу. Зменшення невизначеності відтворення забезпечується тією умовою, що одиниця часу вимірюється на кілька порядків точніше ніж здійснюється вимір геометричних величин, відповідно при застосуванні запропонованого підходу виключається необхідність вимірювання відстані за допомогою лінійки. Експериментально перевірено даний підхід в розробленій в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» установці поршневого типу.*

**Ключові слова:** невизначеність, обсяг, об'ємний витрата газу, одиниця часу, поршнева установка.

## REDUCING THE TOTAL MEASUREMENT UNCERTAINTY PROVER GAS VOLUME AND VOLUME FLOW RATE REPRODUCTION

I.S. Petrushun, T.I. Prisyajnyuk, O.A. Bas

*The process of reproduction of units of volume and volume flow rate of gas prover by ensuring the stability of the speed of movement of the movable part of the prover, the immutability of the cross-sectional area prover and control of high precision time measurement units. Reducing uncertainty reproduction is provided by the condition that the unit of time is measured by several orders more accurate than the geometric quantities carried, respectively, in the application of the proposed approach eliminates the need to measure the distance with a ruler. Experimentally tested this approach in gas piston prover developed by the State Enterprise "Ivano-Frankivskstandartmetrologiya".*

**Keywords:** uncertainty, volume, volume flow, a unit of time, gas piston prover.