

1. Петришин І.С. Стан та проблеми забезпечення обліку газу в Україні // Методи та прилади контролю якості. -1999. -№3. -С.49-51. 2. Пістун Є.П. Розробка Правил України "Вимірювання витрати та кількості природного газу за методом змінного перепаду тиску зі стандартними пристроями звуження потоку" //Методи та прилади контролю якості. -1999. -№3. -С.52-54.

3. Васильев Н.К. О возможности сокращения длин прямых участков расходомеров с сужающими устройствами //Измерительная техника. -1993. №7. -С.36-37. 4. Петришин І.С. Деякі питання підвищення точності обліку витрати та кількості природного газу //Український метрологічний журнал. -1999. -№4. -С.50-52.

УДК 389:681.121

## УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ СЧЕТЧИКИ ГАЗА "ГОБОЙ-1"

© Нетесин С.Г., 2001  
ДП "Прувер-Д", г. Днепропетровск

**Приведены основные параметры, характеристики, устройство, принцип работы, результаты экспериментальных исследований, а также требования к поверке газовых счетчиков «Гобой-1».**

Типоразмерный ряд (G10, G16, G25, G40, G65, G100) ультразвуковых счетчиков газа "Гобой-1" (в дальнейшем – счетчики) был разработан предприятием ДП "Прувер-Д" (г. Днепропетровск) по заказу ЗАО "Центрприбор" (г. Москва) и АООТ "Теплоприбор" (г. Рязань). В марте 2001 г. счетчики прошли испытания с целью утверждения типа и включены в Гореестр России. Серийный выпуск начнется со второй половины 2001 г. на АООТ "Теплоприбор".

Счетчики предназначены для измерения объема природного газа по ГОСТ 5542 – 87, приведенного к стандартным условиям ( $P_n=101,325$  кПа;  $T_n=293,15$ К) и для использования в жилых домах, административных и производственных помещениях при учетно-расчетных и технологических операциях и могут работать во взрывоопасных помещениях.

По устойчивости к климатическим воздействиям они соответствуют исполнению УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150, но для работы при температуре окружающей среды от  $-30$  до  $+50$  °С.

Счетчики имеют следующие исполнения:

- по пределам измерения объемного расхода газа – G10, G16, G25, G40, G65, G100;
- по пределам измерения абсолютного давления газа – от 90 до 150 кПа; и от 150 до 200 кПа;
- по пределам температуры окружающей среды – от  $-30$  до  $+50$ °С; от 0 до  $+50$ °С;
- по положению счетчика при установке на трубопроводе – вертикальное и горизонтальное.

### Основные параметры и размеры счетчиков газа "Гобой-1"

На 8-ми разрядном цифровом индикаторе счетчика отображается следующая информация:

- суммарный объем газа, приведенный к стандартным условиям,  $V_n$ , м<sup>3</sup>;
- объемный расход газа в рабочих условиях,  $Q_p$ , м<sup>3</sup>/ч;
- температура газа,  $t$ , °С;
- абсолютное давление газа,  $P$ , кПа;
- текущее время (часы, минуты) и текущая дата (год, месяц, число);
- время нахождения счетчика в нерабочем состоянии (часы);
- результаты самодиагностики каналов измерения расхода, давления и температуры;
- заводской номер счетчика.

Обозначение счетчиков по конструкторской документации, диаметр условного прохода ( $D_u$ ), исполнение, типоразмер, максимальный ( $Q_{max}$ ), номинальный ( $Q_n$ ), переходной ( $Q_i$ ) и минимальный ( $Q_{min}$ ) объемные расходы приведены в табл. 1.

Счетчики обеспечивают индикацию и хранение во внутренней энергонезависимой памяти в течение не менее 10 лет значения запрограммированных параметров и имеют возможность передавать информации на расстояние до 1200м по стандартным протоколам обмена. Изменение служебных параметров, влияющих на вычисление объема газа, защищено от несанкционированного вмешательства паролем.

### Характеристики счетчиков газа "Гобой-1"

Предел основной допускаемой относительной погрешности измерения объема газа, приведенного к стандартным условиям, при выпуске из производства и после ремонта не превышает:

- $\pm 1,0$  % в диапазоне расходов газа от  $Q_i$  включительно до  $Q_{max}$ .
- $\pm (1,0 + 5Q_{min} / Q_i)$  % в диапазоне расходов газа

от  $Q_{min}$  до  $Q_l$ .

Дополнительная погрешность счетчиков, вызванная изменением физических свойств и параметров измеряемой среды, составляет не более  $\pm 0,5\%$ .

Порог чувствительности счетчиков не превышает  $0,1 Q_{min}$ .

Предел допускаемой абсолютной погрешности счетчиков при измерении времени наработки и времени нахождения в неисправном состоянии не превышает  $\pm 5$  с за 24 часа.

Рабочий диапазон канала измерения абсолютного давления составляет от 90 до 200 кПа.

Предел допускаемой относительной погрешности канала измерения давления при индивидуальной его градуировке в рабочем диапазоне давлений и в рабочем диапазоне температур окружающего воздуха и рабочей среды не превышает  $\pm 0,25\%$ .

Рабочий диапазон канала измерения температуры составляет от  $-30$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

Предел допускаемой относительной погрешности канала измерения температуры при индивиду-

альной его градуировке в рабочем диапазоне температур окружающего воздуха и рабочей среды не превышает  $\pm 0,25\%$ .

Предел допускаемой относительной погрешности счетчиков при вычислении объема газа, приведенного к стандартным условиям, не превышает  $\pm 0,25\%$ .

Счетчики обеспечивают приведенные выше метрологические характеристики при следующих параметрах измеряемого газа:

температура - от 260 до 330 К;

абсолютное давление - от 90 до 200 кПа;

плотность при стандартных условиях - от 0,67 до 0,97 кг/м<sup>3</sup>;

молярная концентрация азота - от 0 до 10 %;

молярная концентрация диоксида углерода - от 0 до 4 %.

Максимальное избыточное давление в счетчиках не должно превышать 300 кПа. Потеря давления на счетчиках при номинальном расходе газа не превышает 300 Па.

Таблица 1 – Обозначения счетчиков “Гобой-1”.

Обозначение по КД	$D_u$ , мм	Типоразмер	$*Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /ч	$Q_n$ , м <sup>3</sup> /ч	$Q_l$ , м <sup>3</sup> /ч	$Q_{min}$ , м <sup>3</sup> /ч
ЦПП8-1.01.00	25	G 10	16 (25)	10	1,0	0,1
ЦПП8-1.01.01	32	G 16	25 (40)	16	1,6	0,16
ЦПП8-1.01.02	40	G 25	40 (65)	25	2,5	0,25
ЦПП8-1.01.03	50	G 40	60 (100)	40	4,0	0,4
ЦПП8-1.01.04	65	G 65	100 (160)	65	6,5	0,65
ЦПП8-1.01.05	80	G 100	160	100	10,0	1,0

Примечание: \*) Счетчики могут выпускаться с расширенным диапазоном измерения расхода.

Счетчики не измеряют объем газа, протекающий в направлении обратном от указанного на корпусе преобразователя расхода и показания счетчиков не изменяются, если через них не протекает газ.

Электропитание счетчиков осуществляется от автономных источников питания и обеспечивает их работоспособность в течение не менее 2-х лет. Замена источника питания происходит без нарушения работоспособности и полного распломбирования счетчиков.

При установке счетчиков в газовые магистрали длина прямых участков должна быть не менее  $5D_u$  до счетчика и  $3D_u$  после него.

#### Устройство счетчиков газа “Гобой-1”

Счетчик состоит из первичного преобразователя расхода (ПР) с двумя пьезоэлектрическими

преобразователями (ПЭП), установленными по оси потока, а также встроенных преобразователей давления (ПД), температуры (ПТ) и измерительно-вычислительного блока (ИВБ)

Размещение ПЭП по оси потока и наличие на входе в измерительный участок специально спроектированных конфузора и диффузора создают условия для независимости измерений от профиля скоростей, т.е. от наличия гидравлических сопротивлений на входе в счетчик, по крайней мере на расстоянии до  $5D_u$ .

Основным измеряемым параметром счетчика является объем газа, приведенный к стандартным условиям. Для решения этой задачи в счетчике созданы три измерительных канала - канал измерения объемного расхода газа в рабочих условиях, канал измерения абсолютного давления и канал

измерения температуры. На основании измерений производится вычисление за заданный интервал времени объема газа, приведенного к стандартным условиям с учетом изменения коэффициента сжимаемости газа.

Преобразователь давления ПД служит для измерения абсолютного давления газа. Чувствительный элемент преобразователя давления размещен во входной части ПР. Измеряемое давление подается на чувствительный элемент через отверстие, выполненное в корпусе ПР. В качестве ПД используются серийно выпускаемые преобразователи абсолютного давления тензорезистивного типа ИПН-А-2кл.0,5/100кПа-9е2.832.001 ТУ с термокомпенсацией в рабочем диапазоне температур со следующими техническими характеристиками:

диапазон давления – от 0 до 400 кПа;

выходной сигнал – от 0 до  $(50 \pm 0,5)$  мВ;

погрешность –  $\pm 0,25$  % (при индивидуальной градуировке в составе канала измерения);

диапазон рабочих температур – от -40 до +85С.

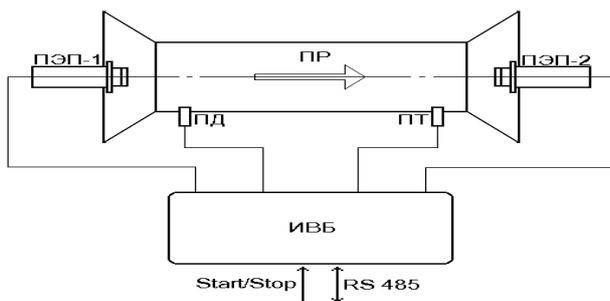


Рис.1. Структурная схема счетчиков газа "Гобой-1".

Преобразователь температуры ПТ предназначен для измерения температуры газа. Чувствительный элемент преобразователя температуры размещен в защитной гильзе, выполненной из материала с высокой теплопроводностью. Гильза с чувствительным элементом вводится в поток газа через отверстие в выходной части ПР. В качестве чувствительного элемента используются серийно выпускаемые чувствительные элементы полупроводникового типа ТМР36 со следующими техническими характеристиками:

диапазон измерения – от -40 до +125 °С;

выходной сигнал – от 0 до 750 мВ;

погрешность –  $\pm 0,25$  % (при индивидуальной градуировке в составе канала измерения).

ИВБ, размещенный в корпусе счетчика, состоит из платы модуля измерений и платы индикации и имеет мембранную клавиатуру с 8-ми разрядным жидкокристаллическим индикатором. Питание ИВБ осуществляется от встроенного в герметичном отсеке литиевого элемента питания. Для подклю-

чения к внешним устройствам используется разъемный соединитель, установленный на корпусе счетчика. На лицевой панели размещаются надписи маркировки счетчика, а так же поясняющие назначение элементов индикации, управления и коммутации.

### Принцип работы счетчиков газа "Гобой-1"

По способу измерения объемного расхода газа в рабочих условиях в счетчике реализован ультразвуковой времяимпульсный метод. Принцип работы основан на измерении времени прохождения импульсов ультразвуковых колебаний (УЗК) по направлению потока газа в трубопроводе и против него. Возбуждение зондирующих импульсов производится ПЭП, установленными в ПР. При наличии в трубопроводе потока газа происходит сложение векторов скорости УЗК ( $C$ ) и скорости потока газа ( $W_T$ ), приводящее к изменению времени распространения УЗК между ПЭП, при этом по направлению потока газа время  $T_1$  уменьшается, против потока  $T_2$  – возрастает. ИВБ посредством попеременного возбуждения в движущийся газ УЗК и их приема осуществляет измерение времен распространения  $T_1$ ,  $T_2$  и вычисления скорости потока  $W_T$  и мгновенного расхода газа в рабочих условиях  $Q_{TP}$  по формулам:

$$W_T = \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{T_1 - \tau_1} - \frac{1}{T_2 - \tau_2} \right]; \quad (1)$$

$$Q_{TP} = \pi D^2 W_T / 4; \quad (2)$$

где:  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  – статические задержки УЗК в акустическом и электронном трактах счетчика при распространении УЗК по потоку и против него, определяемые в процессе калибровки счетчика при отсутствии потока;  $D$  – внутренний диаметр измерительного участка счетчика;  $L$  – расстояние между торцами ПЭП.

Теоретический объемный расход отличается от действительного за счет погрешностей при измерении геометрических параметров ПР и статических задержек, а также за счет наличия динамических задержек, возникающих в акустическом тракте счетчика при движущемся потоке газа и неучтенных при калибровке счетчика. Формула для вычисления действительного расхода газа, реализованная в счетчике, имеет вид:

$$Q_P = A_q \pi / 4 D^2 W_T / 4 + B_q. \quad (3)$$

Коэффициенты коррекции  $A_q$  и  $B_q$  определяются в процессе градуировки счетчиков. Для достижения высоких метрологических характеристик счетчиков его динамический диапазон разбит на два поддиапазона с точкой перегиба градуировочной характеристики при расходе  $Q_n$

$=0,05Q_{max}$ , при градуировке канала измерения расхода производится определение корректирующих коэффициентов -  $A_{q1}$  и  $B_{q1}$ ;  $A_{q2}$  и  $B_{q2}$ .

Аналогично производится аппроксимация градуировочных характеристик каналов измерения давления и температуры.

Объем газа, приведенный к стандартным условиям, вычисляется по формуле:

$$V_c = \Delta\tau \times C \times \sum_{i=1}^n Q_{pi}; \quad (4)$$

где:  $\Delta\tau$  - интервал времени интегрирования объемного расхода газа;  $n$  - число измерений на интервале интегрирования;  $C$  - коэффициент приведения объема газа в рабочих условиях к стандартным, вычисляемый по формуле:

$$C = 2.8932P / TK; \quad (5)$$

где:  $P$  - абсолютное давление газа, кПа;  $T$  - температура газа, К;  $K$  - коэффициент сжимаемости природного газа, определяемый по аппроксимирующему уравнению.

Коэффициенты аппроксимирующего уравнения были получены на основании модифицированного уравнения состояния GERG - 91 мод. (ГОСТ 30319.1-96; ГОСТ 30319.2 -96) путем ограничения диапазона давлений и неучета влияния на коэффициент сжимаемости молярных концентраций азота и диоксида углерода.

Экспериментальные исследования счетчиков газа "Гобой-1"

В процессе отработки счетчиков, а также при испытаниях счетчиков для целей утверждения типа, проводимых ГЦИ СИ ВНИИМС, был проведен большой объем экспериментальных исследований. Ниже приведены некоторые основные результаты испытаний.

### Основная погрешность

Случайная составляющая погрешности измерения

объемного расхода газа (воспроизводимость) составляет не более  $\pm 0,2\%$ .

По результатам экспериментальных исследований были получены типовые зависимости коэффициентов преобразования  $q = f(Q_p/Q_{mp})$  для счетчиков G10; G25; G100 от расхода газа, приведенные на рис. 2.

После ввода в память счетчиков коэффициентов  $A_q$  и  $B_q$  проводились испытания их с целью определения основной погрешности на расходоизмерительных установках класса 0,3%. В установках в качестве эталона расхода использовались сопла критического истечения, калиброванные на Государственном эталоне России. Результаты испытаний приведены на рис. 3, 4 и 5. Анализ результатов испытаний показывает, что основная погрешность счетчиков в основном определяется систематической погрешностью, которая передается счетчику от эталона. Повышая точность эталона до  $\pm(0,1\div 0,15)\%$ , можно производить счетчики с относительной погрешностью не более  $\pm(0,3\div 0,5)\%$ .

### Дополнительная погрешность

Для определения дополнительной погрешности, обусловленной отличием физических свойств воздуха и природного газа, проводились испытания счетчиков G10; G25 на природном газе на расходоизмерительной установке УРС-10пг (г. Днепропетровск). По результатам испытаний было установлено, что мультипликативный коэффициент  $A_q$  не зависит от скорости звука в рабочей среде счетчика, в то же время аддитивный коэффициент  $B_q$  зависит от скорости звука, причем эта зависимость носит обратно пропорциональный характер. Такая физическая картина позволила сделать вывод, что влияние скорости звука, которая в свою очередь зависит от физических свойств рабочей среды, на погрешность измерения в основном должно проявляться на малых расходах.

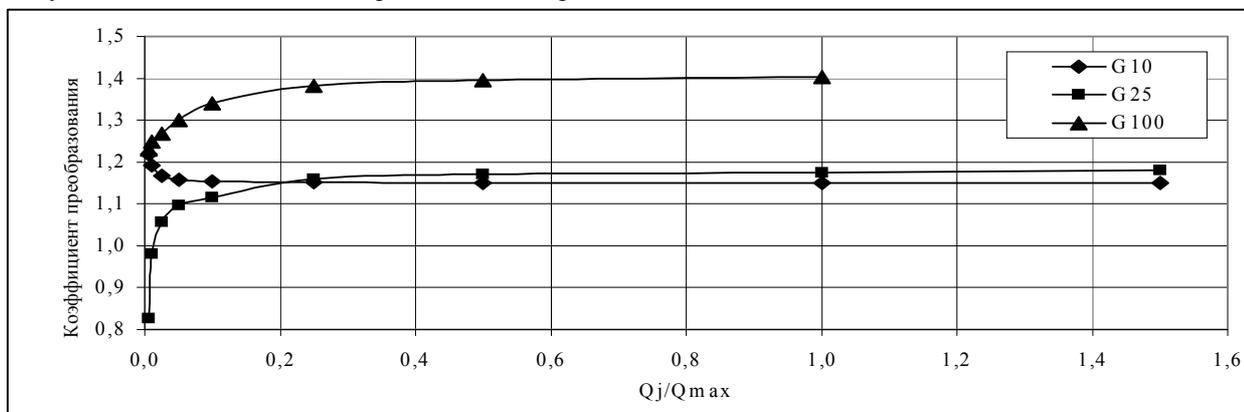


Рис. 2. Зависимость коэффициента преобразования от  $Q_j / Q_{max}$ .

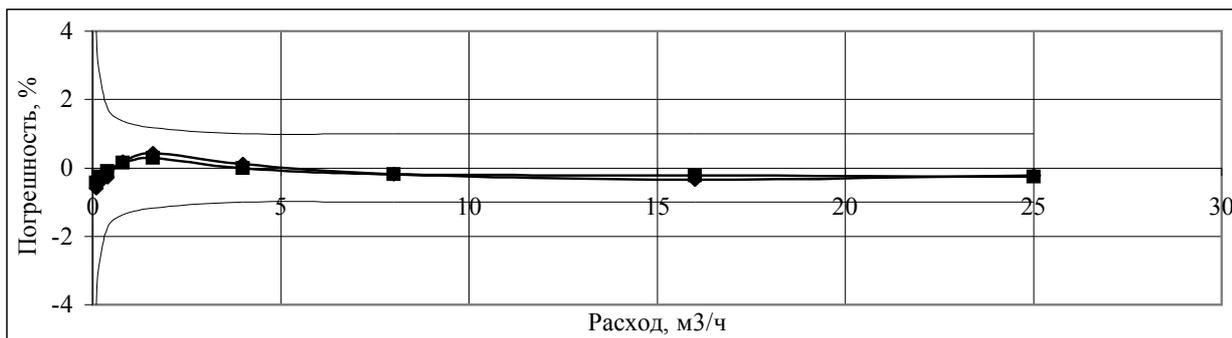


Рис. 3. Счетчики газа G10 №№1, 2.

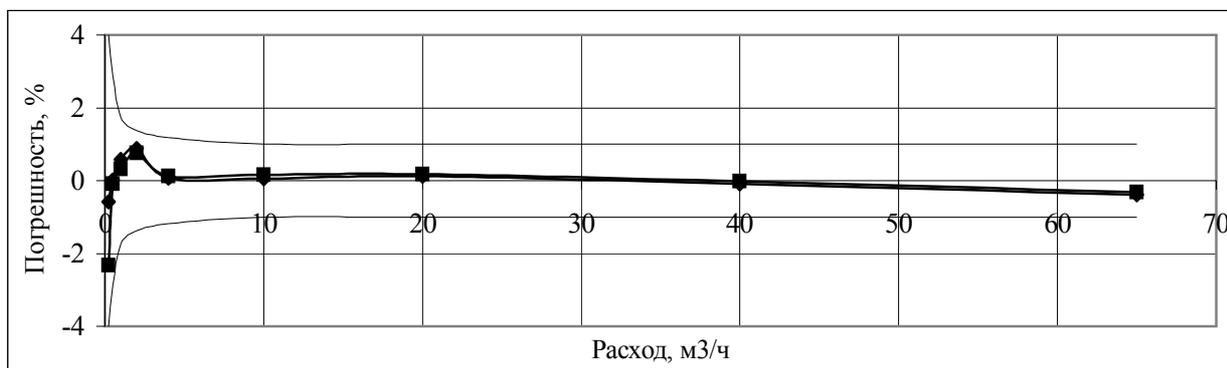


Рис. 4 Счетчики газа G25 №№4; 5.

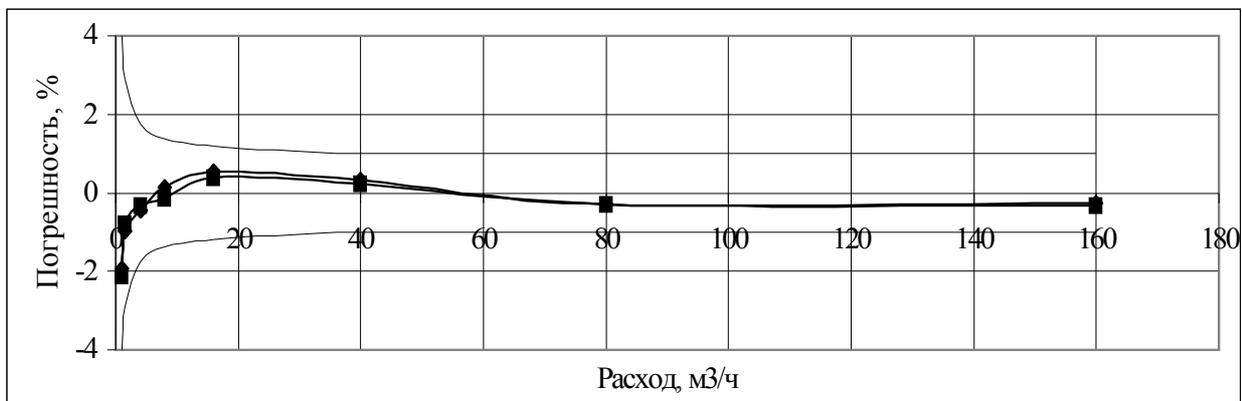


Рис. 5 Счетчики газа G100 №№8; 9.

Влияние длины прямолинейных участков на входе счетчика

Исследовалось влияние на характеристики счетчиков наличия на входе в счетчики G10 поворотов потока воздуха на  $90^{\circ}$  в одной и двух взаимоперпендикулярных плоскостях, а также влияние задвижки, закрытой на 50%. Даже при одновременном наличии всех трех видов характерных гидравлических сопротивлений, характеристики счетчиков не изменились.

#### Поверка газовых счетчиков “Гобой-1”

Периодическая поверка счетчиков должна проводиться один раз в два года в соответствии с

“ГСИ. Счетчики газа ультразвуковые “Гобой-1”. Методика поверки. РИОУ 407251.001ИМ1”, утвержденной ВНИИМС.

Для проведения поверки необходимо, кроме известного оборудования: для поверки каналов измерения давления и температуры, расходоизмерительная установка с диапазоном измерения объемного расхода воздуха от 0,1 до 160 м<sup>3</sup>/ч и погрешностью измерения объема не менее  $\pm(0,3 - 0,4)\%$  в зависимости от диапазона измерения расхода