

УДК 531.1, 681.121.84

**Насыбуллин А.А.** – инженер

E-mail: [airobis@mail.ru](mailto:airobis@mail.ru)

**Правник Ю.И.** – инженер

E-mail: [Gust.Sim.@mail.ru](mailto:Gust.Sim.@mail.ru)

**Антропов Д.Н.** – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: [antropov@mesys.ru](mailto:antropov@mesys.ru)

**Садиков Р.А.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [Sadykov\\_R\\_A@mail.ru](mailto:Sadykov_R_A@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

**Ерёмин С.А.** – главный инженер

E-mail: [keo@i-set.ru](mailto:keo@i-set.ru)

**МУП ПО «Казэнерго»**

Адрес организации: 420021, Россия, г. Казань, ул. Тукая, д. 162

### Электронный датчик давления, температуры и расхода

#### Аннотация

В статье приводится описание датчика. Дается программное обеспечение измерения. Определяются возможная точность измерения расхода. С помощью трубы Вентури конструктивно решается вопрос создания ламинарного течения потока рабочей среды в месте, где производится измерение полного давления. Вводится поправка на сжимаемость газа в месте контакта газового потока с торцом трубки Пито. Предусмотрена возможность турбулентного течения потока.

**Ключевые слова:** датчик, температура, полное и статическое давление, расход, микропроцессор, ламинарное и турбулентное течение, труба Вентури.

#### Введение

Существует потребность в повышении качества контроля, управления, обеспечения безопасности обслуживания теплоэнергетических установок, снижения затрат на этапах обслуживания и эксплуатации. Потребность в датчиках давления, температуры и расхода возрастает в связи с заменой устаревшей автоматизации в котельных и других теплоэнергетических комплексах. Электронный датчик давления, температуры и расхода служит для измерения указанных параметров в газовой и жидкой среде небольшой вязкости сразу в одной точке, одновременно и может использоваться в газовом хозяйстве, теплоэнергетике, химической промышленности, машиностроении и т.д.

#### Описание многопараметрического датчика

Электронный датчик давления, температуры и расхода (далее датчик) заменяет собой три датчика и позволяет сократить затраты при изготовлении, снизить по совокупности стоимость и упростить техническое обслуживание теплогенерирующего оборудования. Преимущество перед механическими датчиками заключается в том, что электронный многопараметрический датчик имеет интеллектуальный цифровой интерфейс, который позволяет использовать значение измеряемых параметров в системах управления технологическими процессами и других устройствах. Точность электронного многопараметрического датчика многократно превосходит точность механических, благодаря более точной электронной обработке сигнала. В датчике заложены функциональные возможности: встроенная самодиагностика датчика с передачей информации о его состоянии, перенастройка диапазона измерений с коррекцией нелинейностей измерений. Электронный многопараметрический датчик давления, температуры и расхода может работать и как реле давления. При равенстве величин статического и полного давлений (это означает, что поток рабочей среды остановился) сигнал от него может поступать на управление и будет произведено ответное действие. Применение новой автоматике с использованием таких датчиков уменьшает потребление газа на 5-10 %, что особенно актуально в связи с постоянно увеличивающимися ценами на энергоносители.

Электронный датчик давления, температуры и расхода (рис.) включает: трубу Вентури 1, к которой приварен штуцер 2, с размещённым в нём датчиком 3. Датчик 3 крепится к штуцеру 2 через втулку 4 гайкой 5. В датчике 3 вмонтированы чувствительные элементы канал полного давления 6 (Г-образная трубка – трубка Пито), канал статического давления 7 и капсула 8, с размещённым в ней чувствительным элементом термодатчика.

Оба канала давления в верхней части имеют припаянные мембраны 9, деформация которых от давления в электронной части 10 встроенным микропроцессором превращается в электрический сигнал. От разрушения мембран 9 при превышении давлений предохраняют гайки – упоры. В каналах давлений перед мембранами 9 имеются специальные пробки 11 для стравливания воздуха при заполнении каналов рабочей средой в процессе монтажа датчика на рабочем месте. Оба канала 6 и 7 расположены в одной плоскости по оси трубы Вентури 1 (канал 7 расположен перед каналом 6 по потоку рабочей среды) в её узкой части. Канал 6 располагается входным торцом в среднем сечении узкой части трубы Вентури, строго по её оси, входом против течения рабочей среды, что обеспечивается штифтами 12 и 13. Датчик 3 может быть демонтирован без остановки рабочего процесса, благодаря запорному устройству в виде подпружиненной крышки 14 закреплённой в нижней части втулки 4 и ориентированной штифтом 12 так, чтобы крышка 14, находилась бы с тыльной стороны датчика 3 (после чувствительных элементов по потоку). При демонтаже корпуса датчика 3 крышка 14 пружиной плотно приткнётся к седлу втулки 4 по мягкой уплотнительной вставке, обеспечивающей герметичный контакт. Уплотнительные кольца 15 обеспечивают герметичность втулки 4, штуцера 2 и датчика 3. Микропроцессор, получающий информацию от чувствительных элементов и обеспечивающий переработку информации и её визуализацию, находится в электронном блоке 10.

Электронный датчик давления, температуры и расхода работает следующим образом. Рабочая среда проходит по каналам 6 и 7 к чувствительным элементам мембранам 9, деформация которых оказывает влияние на величину электрического сигнала. Одновременно рабочая среда через капсулу 8 воздействует на чувствительный элемент измерения температуры, преобразуя в электрический сигнал. Предварительно вводят в программу микропроцессора диаметр узкой части трубы Вентури, стандартное значение плотности и вязкости рабочей среды, которые в процессе измерения преобразуются в соответствующие режиму значения. Заданная программа осредняет величину максимальной скорости потока рабочей среды, вычисленную по замеренным полному и статическому давлениям. Секундный расход рабочей среды таймером переводят в суммарный.

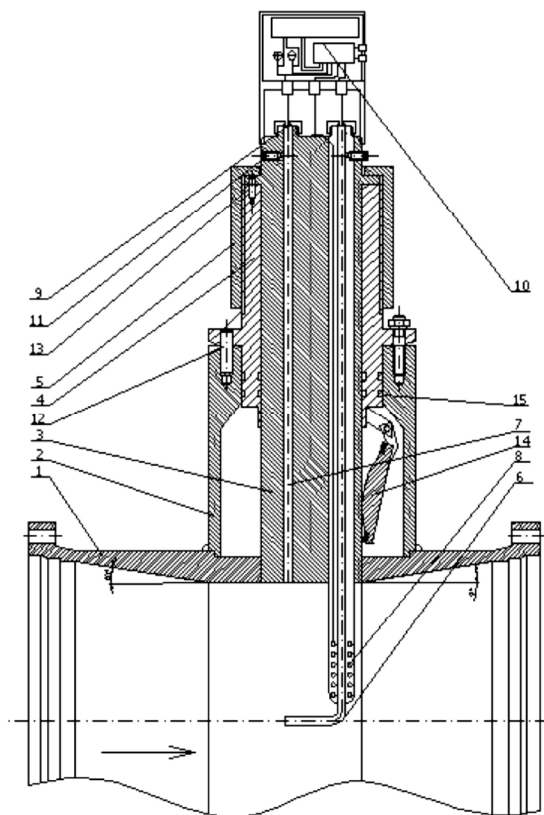


Рис. Электронный датчик давления, температуры и расхода:  
1 – труба Вентури; 2 – штуцер; 3 – датчик; 4 – втулка; 5 – гайка;  
6 – канал полного давления, трубка Пито; 7 – канал статического давления;  
8 – капсула термодатчика; 9 – мембраны; 10 – электронная часть датчика; 11 – пробки;  
12 и 13 – штифты; 14 – крышка; 15 – кольца уплотнительные

Микропроцессор обрабатывает электрические сигналы, производит программные операции, выводит данные на электронное табло и осуществляет контроль над рабочим процессом и изменениями значений параметров рабочей среды, а также позволяет выполнять другие операции.

При необходимости демонтировать датчик 3 надо отворачивать накидную гайку 5 до момента закрытия крышки 14 (отмечена нитка резьбы на втулке 4 пропилом), через пробки 11 стравить давление рабочей среды с каналов 6 и 7, окончательно выкрутить накидную гайку 5 и вынуть датчик 3. Крышка 14, упёртая в седло втулки 4, дополнительно подпираемая давлением рабочей среды, обеспечивает изоляцию рабочего тракта от внешних влияния.

Для установки датчика 3 на рабочее место нужно ввести его во втулку 4, наворачивая накидную гайку 5 до момента открытия крышки 14, через пробки 11 стравить воздух из каналов 6 и 7 до появления устойчивой струи рабочей среды и затянуть пробки 11 обратно. Накидную гайку 5 затянуть до упора. В момент открытия крышки 14 корпус 1 датчика должен находиться в контакте с уплотнительными кольцами 15. Необходимо обязательно соблюдать точность взаиморасположения элементов конструкции, гарантирующую правильное расположение канала 6 в рабочей среде по глубине и направлению.

### Программное обеспечение датчика

Труба Вентури имеет входную коническую часть под углом  $21^\circ$ , цилиндрическую малого диаметра (горловину), в которой и размещён собственно датчик, и расширяющуюся (диффузор) под углом  $15^\circ$ . Длина цилиндрической части должна быть не менее её диаметра. По середине длины цилиндрической части, в одной поперечной плоскости размещаются: входная часть канала полного и ось канала статического давлений. Чтобы избежать ошибки при монтаже, фланцы входа и выхода должны отличаться либо размерами диаметров, либо числом крепёжных элементов. Труба Вентури подбирается такой, чтобы отношение диаметра её горловины к диаметру трубопровода находилось в пределах 0,6 и чтобы при измеряемом расходе рабочей среды в узкой её части скорость потока была ламинарной, что соответствует числу Рейнольдса: для жидких сред  $Re_{кр} \leq 2000$  [1]. Для газа критическое значение Рейнольдса –  $R_{кр}$  достигается при значительно больших скоростях потока, чем у жидкостей, поскольку у первых больше кинематическая вязкость (в 10...15 раз). Средняя скорость  $W$  потока в случае ламинарного течения будет равняться половине максимальной скорости  $W_{max}$ . Поэтому она, измеряемая статической и динамической составляющей, делится пополам [1]. Скорость  $W$  для несжимаемой жидкости будет:

$$W = W_{max} / 2 = 0,5 \sqrt{2(P^* - P) / r},$$

для газов [2]:

$$W = 0,5 \sqrt{2(P^* - P) / r(1 + e)},$$

где:  $e$  поправка на сжимаемость газа при входе в канал полного давления

$$e = aW_{max} / 4$$

Расход рабочей среды весовой –  $G$  и объёмный –  $V$  рассчитывается по формулам:

$$G = F \cdot W \cdot r = 0,785 \cdot d^2 \cdot W \cdot r,$$

$$V = F \cdot W = 0,785 d^2 W.$$

Здесь:  $d$  – диаметр горловины трубы Вентури, введённый в программу микропроцессора при монтаже датчика на рабочем месте;

$r$  – плотность рабочей среды, соответствующая её температуре, введённая стандартной величиной в программу микропроцессора датчика при его монтаже на рабочем месте;

$P^*$  – полное давление рабочей среды, измеряемое трубкой Пито;

$P$  – статическое давление, измеряемое каналом статического давления датчика;

$a$  – скорость звука в газовой среде:

$$a = \sqrt{\kappa g R T},$$

где:  $\kappa$  – показатель адиабаты газа;

$g$  и  $R$  – ускорение свободного падения и газовая постоянная, соответственно, вводятся в программу микропроцессора при монтаже на рабочем месте;

$T$  – температура ( $^{\circ}\text{K}$ ) газовой среды;

$F = 0,785d^2$  – площадь проходного сечения горловины трубы Вентури, вводимая в программу микропроцессора при монтаже датчика на рабочем месте.

По критерию Рейнольдса определяется метод определения расхода потока рабочей среды. Учитывая, что критерий Рейнольдса есть:  $Re_{кр} = W_{\max} d / \nu$ , то при монтаже датчика на рабочее место необходимо в программу микропроцессора ввести и коэффициент кинематической вязкости  $\nu$  рабочей среды. Программа микропроцессора должна обеспечивать перевод плотности рабочей среды и её вязкости в значения, соответствующие температуре в данное время. Программа должна обеспечивать измерение секундного расхода рабочей среды, показания количества расхода и перевод в стандартные значения этих величин с выводом их на дисплей.

Монтаж датчика должен осуществляться с учётом требований ГОСТ 8.586.1-2005...ГОСТ 8.586.5-2005 [3, 4].

В случае невозможности добиться ламинарного течения в горловине трубы Вентури для турбулентного течения средняя скорость будет [1]:

$$W = W_{\max} - 4w.$$

Или для жидкости:

$$W = \sqrt{2(P^* - P)/r} - 4w,$$

для газа:

$$W = \sqrt{2(P^* - P)/(1 + er)} - 4w$$

где:  $w$  – динамическая скорость

$$w = \sqrt{g \cdot d / 4}$$

#### **Ожидаемая погрешность измерения расхода датчиком**

В настоящее время измерение давления и температуры датчиками производится с погрешностью  $\pm 0,5\%$ . Такой же показатель может быть достигнут и в данном датчике.

Тогда ожидаемая погрешность измерения расхода  $d_G$  датчиком будет [5]:

$$d_G = \pm \sqrt{0,25(d_p^2 + d_T^2 + d_{\Delta p}^2) + d_{\Sigma}^2} = \pm 0,74\%,$$

где:  $d_p = 0,5$  – погрешность измерения статического давления;

$d_T = 0,5$  – погрешность измерения температуры;

$d_{\Delta p} = 0,5$  – погрешность измерения полного давления;

$d_{\Sigma} = 0,6$  – общая погрешность, включающая ввод в микропроцессор диаметра трубы Вентури, плотности рабочей среды, кинематической вязкости и операции вычислений, производимых электронным блоком датчика.

#### **Заключение**

В процессе доводочных работ характеристики датчика могут быть улучшены. В результате будет создан высоконадёжный, недорогой интеллектуальный электронный многопараметрический датчик давления, температуры и расхода для массового применения в теплоэнергетике.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № 14.В37.21.0336 в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы).

**Список литературы**

1. Мхиторян А.М. Гидравлика и гидромеханика. – Киев: Техлитература УССР, 1958. – 374 с.
2. Самойлович Г.С. Гидродинамика. – М.: Машиностроение, 1980. – 290 с.
3. ГОСТ 8.563.1-97. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Диафрагмы, сопла ИСА 1932 и трубы Вентури, установленные в заполненных трубопроводах круглого сечения. – М.: ИПК. Издательство стандартов, 1998.
4. ГОСТ 8.586.1-5-2005 Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2007.
5. Даев Ж.А. Сравнительный анализ методов и средств измерения расхода газа. // Нефтегазовое дело, 2009. <http://www.ogbus.ru> (дата обращения: 20.06.12).

**Nasybullin A.A.** – engineer

E-mail: [airobis@mail.ru](mailto:airobis@mail.ru)

**Pravnik Y.I.** – engineer

E-mail: [Gust.Sim.@Mail.ru](mailto:Gust.Sim.@Mail.ru)

**Antropov D.N.** – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: [antropov@mesys.ru](mailto:antropov@mesys.ru)

**Sadykov R.A.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: [Sadykov\\_R\\_A@mail.Ru](mailto:Sadykov_R_A@mail.Ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Eremin S.A.** – main engineer

E-mail: [keo@i-set.ru](mailto:keo@i-set.ru)

**MCC IN «Kazenergo»**

The organization address: 420021, Russia, Kazan, Tukai st., 162

**Pressure sensor, temperature and flow****Resume**

Electronic multivariable pressure transmitter, temperature and flow replace three sensors and allows to measure at one point and at the same time and allows to control and participate in the management process. Manufacture of the sensor can reduce costs, reduce its cost of collection and simplify the maintenance of heat generating equipment. The design allows to make change of the sensor without shutting down the process of working through a spring-loaded lid after the device installation into the system. The advantage over the mechanical sensors that the electronic multivariable transmitter has an intelligent digital interface. The accuracy of electronic multiparameter sensor accuracy surpasses by more precise mechanical electronic signal processing. The sensor incorporated features: Built-in self-tests the sensor with the transfer of information about his condition, reconfiguration of range-corrected measurements of nonlinearities. The sensor can operate as a pressure switch. In case of equal values of static and total pressure (which means that the flow has stopped working environment), the signal can come from it to manage and will produce a response action.

**Keywords:** sensor, temperature, total and static pressure, flow rate, the microprocessor, the channels total and static pressures, Venturi tube.

**References**

1. Samoilovich G.S. Hydrodynamics. – Moscow: Mashinostroenie, 1980. – 290 p.
2. Mhitoryan AM Hydraulics and Fluid Mechanics. – Kiev. Tehliteratura USSR, 1958. – 374 p.
3. Standard 8.563–97 Standard – Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by variable pressure drop. Diaphragms, ISA 1932 nozzle and Venturi tube installed in filled pipes of circular cross section, PKI, Standards Publishing House, 1998.
4. Standard 8.586.1-5–2005 Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. – Moscow: Publishing House of the IEC standards, 2007.
5. Daev J.A. Comparative analysis of methods and means of measuring gas flow. Oil and Gas Business, 2009, <http://www.ogbus.ru> (reference date: 20.06.12).