

1655/05

2005

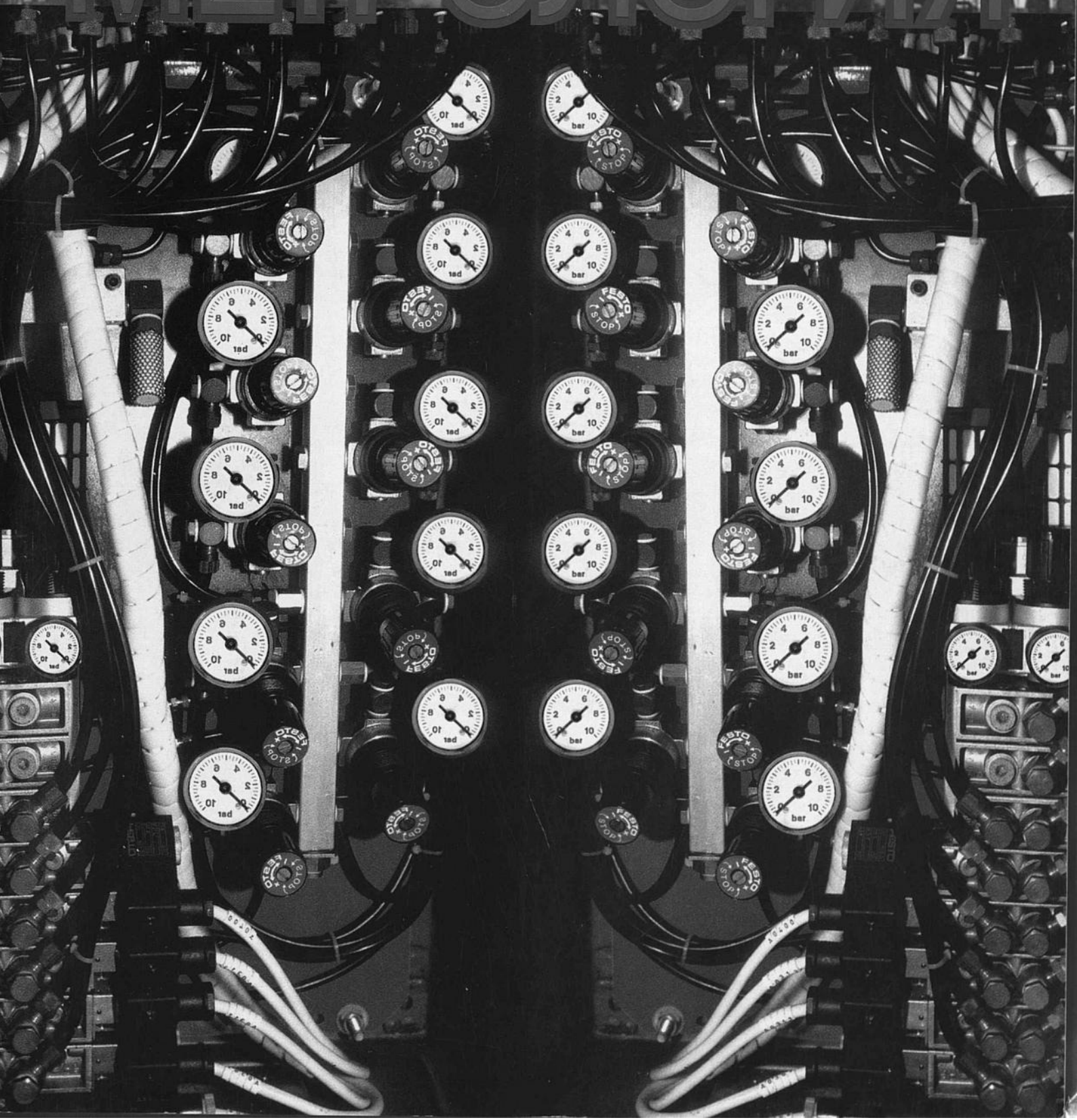
4

ISSN 0889-575X

artvik

Ваш проводник в мир точности

ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ МЕТРОЛОГИЯ



УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОДНОКАНАЛЬНЫЙ МНОГОЛУЧЕВОЙ РАСХОДОМЕР ГАЗА

(математическая модель измерения)

Н.Л.Егоров, А.М. Деревягин

В статье приводится математическая модель ультразвуковых измерений расхода газа и показано, что в широком диапазоне методическая погрешность составляет величину менее одного процента.

Первичный преобразователь расходомера представляет собой участок трубопровода (рис.1), в котором установлены два пьезоэлектрических преобразователя ПП1 и ПП2, расположенные друг за другом на образующей цилиндрической поверхности перпендикулярно к стенке в меридиональной плоскости.

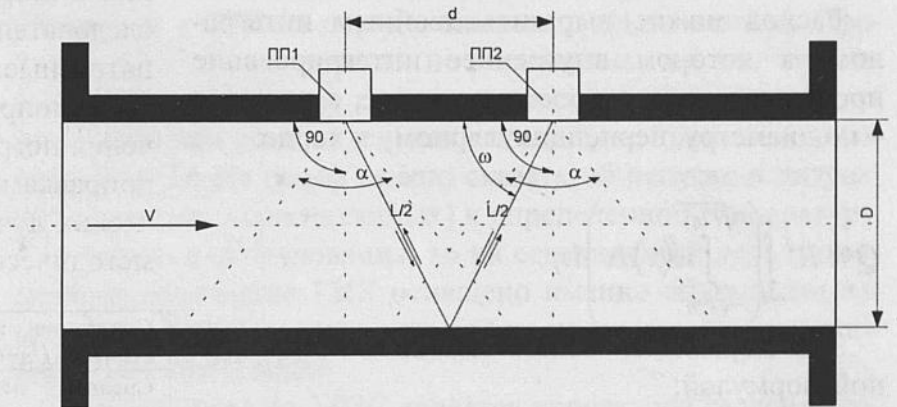


Рис.1

Благодаря широкой диаграмме направленности акустической волны и последовательным отражениям от стенки существует множество траекторий акустического луча, часть из которых проходит через приёмник. Эта часть представляет собой дискретный набор, который в проекции на поперечное сечение трубопровода даёт правильные многоугольники, в том числе вырожденный многоугольник в виде диаметра.

Введём следующее обозначение траекторий:

- V – однократное отражение от стенки;
- Δ – двукратное отражение от стенки;
- – трёхкратное отражение от стенки;
- ◇ - четырёхкратное отражение от стенки;
- ☆ - четырёхкратное отражение от стенки.

При прохождении луча по каждой траектории производится измерение разности ($\Delta\tau_i$) интервалов времени, соответствующих распространению акустических колебаний в направлении, попутном потоку, и обратно.

Каждому значению $\Delta\tau_i$ соответствует интеграл скорости потока по соответствующей хорде:

$$\Delta\tau_i = \frac{2Dctg\varphi_1}{c^2} \int_{-1}^1 w(x)dx;$$

Напрягайте мозг. Даю информацию к размышлению.

М. Зощенко



$$\Delta\tau_2 = \frac{3Dctg\varphi_2}{c^2} \int_{-\sqrt{3}/2}^{\sqrt{3}/2} w(x) dx;$$

$$\Delta\tau_3 = \frac{4Dctg\varphi_3}{c^2} \int_{-\sqrt{2}/2}^{\sqrt{2}/2} w(x) dx;$$

$$\Delta\tau_4 = \frac{5Dctg\varphi_4}{c^2} \int_{-\sin(\pi/5)}^{\sin(\pi/5)} w(x) dx;$$

$$\Delta\tau_5 = \frac{5Dctg\varphi_5}{c^2} \int_{-\sin(2\pi/5)}^{\sin(2\pi/5)} w(x) dx,$$

где c – скорость звука, φ_i – угол между акустическим лучом и осью трубопровода, x – безразмерная текущая длина хорды от оси трубопровода до окружности.

Расход можно выразить двойным интегралом, в котором внутреннее интегрирование производится от скорости по хорде, а внешнее – по диаметру, перпендикулярному к хорде:

$$Q = R^2 \int_{-l}^l \left(\int_{-\sqrt{l-\eta^2}}^{\sqrt{l-\eta^2}} w(x) dx \right) d\eta.$$

Это выражение можно заменить квадратурной формулой:

$$Q = R^2 \frac{c^2}{L} \cdot \left(\Delta\tau_1\omega_1 + 2 \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta\tau_2\omega_2 + 2 \frac{\sqrt{2}}{2} \Delta\tau_3\omega_3 + 2 \sin \frac{\pi}{5} \Delta\tau_4\omega_4 + 2 \sin \frac{2\pi}{5} \Delta\tau_5\omega_5 \right)$$

или

$$Q = \frac{c^2 D^2}{4L} * \Sigma$$

$$\Sigma = \left(\Delta\tau_1\omega_1 + 2 \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta\tau_2\omega_2 + 2 \frac{\sqrt{2}}{2} \Delta\tau_3\omega_3 + 2 \sin \frac{\pi}{5} \Delta\tau_4\omega_4 + 2 \sin \frac{2\pi}{5} \Delta\tau_5\omega_5 \right)$$

Для различных сочетаний акустических лучей имеем следующие выражения для величины Σ :

Сочетание 1 (V, Δ , \square , \diamond):

$$\Sigma_1 = 0,511876\Delta\tau_1 + 0,858853\Delta\tau_2 - 0,273767\Delta\tau_3 + 0,461469\Delta\tau_4.$$

Сочетание 2 (V, Δ , \square):

$$\Sigma_2 = 0,647619\Delta\tau_1 + 0,351908\Delta\tau_2 + 0,538747\Delta\tau_3.$$

Сочетание 3 (V, Δ , \square , \star):

$$\Sigma_3 = -0,28331\Delta\tau_1 - 0,976721\Delta\tau_2 + 0,849518\Delta\tau_3 + 1,957655\Delta\tau_5.$$

Сочетание 4 (V, Δ , \square , \diamond , \star):

$$\Sigma_4 = 0,48432\Delta\tau_1 + 0,792708\Delta\tau_2 - 0,23371\Delta\tau_3 + 0,445294\Delta\tau_4 + 0,069423\Delta\tau_5.$$

Сочетание 5 (V, Δ , \diamond , \star):

$$\Sigma_5 = 0,317356\Delta\tau_1 + 0,410434\Delta\tau_2 + 0,34917\Delta\tau_4 + 0,478703\Delta\tau_5.$$

Погрешности квадратурных формул (%) при вычислении расхода для некоторых видов течения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сочетание акустических лучей	1	2	3	4	5
Прямоугольный профиль скорости	-0,79	-2,06	-1,53	-0,81	-0,96
Ламинарное течение	0,041	0,24	0	0,047	0,061
Турбулентное течение $Re = 4 \cdot 10^3$ $Re \geq 2 \cdot 10^6$	-0,47 -0,74	-1,15 -1,57	-1,67 -1,76	-0,51 -0,78	-0,77 -0,98

Эти погрешности являются методическими. Как видно из таблицы, при турбулентном течении в широком интервале чисел Рейнольдса и, следовательно, расхода, все погрешности отрицательные. Стало быть, они могут быть исключены поправками. В табл. 2 даны средние значения погрешностей, подлежащих исключению поправками, для различных сочетаний акустических лучей, а также границы неисключённой методической погрешности.

Таблица 2

Сочетание акустических лучей	1	2	3	4	5
Среднее значение методической погрешности, %	-0,6	-1,35	-1,7	-0,65	-0,88
Границы неисключённой методической погрешности, %	$\pm 0,13$	$\pm 0,22$	$\pm 0,06$	$\pm 0,13$	$\pm 0,10$

Методическая поправка может быть выражена поправочным коэффициентом, включённым в формулу измерения:

$$Q = \frac{c^2 D^2}{4L} K_m * \Sigma.$$

Значения коэффициента K_m приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сочетание акустических лучей	1	2	3	4	5
K_m	1,006	1,0135	1,017	1,0065	1,0088

Полученная формула измерения позволяет определять значение расхода по измеренным временным интервалам распространения ультразвуковых импульсов без использования априорной информации о профиле скорости. В работе показано, что в широком интервале изменения профиля скорости от прямоугольного до параболического методическая погрешность для оптимального сочетания акустических лучей составляет величину менее одного процента и может быть учтена введением поправочного коэффициента.