

Голованова Е. В., канд. физ.-мат. наук, доц.,  
Толстомятов С. Н., канд. физ.-мат. наук, доц.

Белгородская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Я. Горина

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАНИЙ РАСХОДОМЕРА ОТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДАТЧИКА АНЕМОМЕТРА В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

golovanova711@mail.ru

В статье рассмотрены физические основы работы термоанемометра и проблемы, связанные с точностью показаний датчика газового расходомера в зависимости от его расположения в трубопроводе.

В работе впервые приведены данные измерений числа импульсов планарного никелевого термоанемометра в зависимости от угла поворота при средней скорости воздушного потока 12 м/с. Получены эмпирические уравнения параболического распределения числа импульсов от угла поворота датчика в трубопроводе.

Используя полученные результаты, сделаны рекомендации по установке датчика в трубопроводе.

**Ключевые слова:** термоанемометр, расходомер, чувствительный элемент, датчик.

Задача измерения расхода веществ является важнейшей в сферах народного хозяйства, связанных с использованием и транспортированием газов и жидкостей: систем вентиляции на промышленных предприятиях, предприятиях агропромышленного комплекса, в технологических узлах контроля газа. В связи с тем значением, которое в настоящее время приобретает учет энергоресурсов, особенно в связи с принятием новой редакции закона об энергосбережении, актуальной задачей является задача разработки таких средств измерений, как расходомеры-счетчики.

В настоящее время для измерения расхода газа широко используется термоанемометрический метод, использующий зависимость между скоростью потока и теплоотдачей чувствительного элемента (рис.1), помещенного в поток и нагретого электрическим током.



Рис.1 Чувствительный элемент

Электронный газовый расходомер-счетчик, в отличие от турбинных расходомеров, не имеет вращающихся элементов и допускает работу прибора в загрязненной газовой среде. Миниатюрные размеры датчика позволяют спроектировать переносной вариант расходомера. Для постоянного контроля расхода газа датчик можно оставить на любое время в трубопроводе. Блок питания и индикации имеет универсальное питание: 220 В переменного тока (стационарный вариант) и 12 В постоянного (аккумулятор). При внезапном отсутствии стационарного энергопитания данные сохраняются с помощью встроенного миниаккумулятора.

Изготовленный датчик является датчиком дифференциального типа, то есть, он измеряет величину, пропорциональную  $\rho v$  в одной точке. Поэтому, необходимо знать зависимость показаний датчика от его местоположения. Естественно, эту зависимость можно снять только экспериментально. Данные измерений достоверны в реальном потоке, если он имеет ламинарный характер. Случайные отклонения от ламинарности (поперечные колебания) в области датчика можно уменьшить, если его поместить в небольшое кольцо шириной 10 мм. Таким образом, «вырезается» тонкая трубка в потоке и есть основания полагать, что возникающие поперечные колебания в основном потоке будут гаситься на внешней поверхности кольца. Теоретические расчеты проводились в предположении применимости задачи об обтекании плоскопараллельным потоком пластины. В реальных газозвудушных средах обтекание пластины отличается от теоретического непараллельностью потока и возмущениями в местах крепления датчика к несущему стержню. Окаймление дат-

чика цилиндрическим ободком позволяет, во-первых, создать в зоне чувствительного элемента мини-трубу, вырезающую часть потока и уменьшающую поперечную скорость потока вблизи датчика; во-вторых, создает механическую защиту чувствительного элемента. Вместе с тем, при этом возникает проблема изучения погрешностей показаний расходомера из-за различия местоположения датчика при тарировке и в реальном трубопроводе. Зависимость показаний расходомера от величины смещения датчика относительно центра трубы была рассмотрена авторами в работе [1].

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований показаний датчика в зависимости от угла, образованного плоскостью датчика анемометра и вектором

скорости потока воздуха. Очевидно, что при отсутствии ободка показания будут максимальными, когда плоскость датчика перпендикулярна вектору скорости потока. При наличии цилиндрического ободка зависимость будет более сложной. Результаты экспериментальных исследований для двух датчиков при скорости потока  $v = 12,6$  м/с в трубе Ду150 и их обработка приведены в таблице 1.

Графическое изображение экспериментальных данных (рис.2) дает основание о предположении квадратичной зависимости числа импульсов от угла поворота чувствительного элемента к воздушному потоку. Поэтому эмпирическое уравнение будем искать в виде

$$x(\varphi) = a + b\varphi + c\varphi^2$$

Таблица 1

Оценка параметров эмпирической формулы

Угол, $\varphi^0$	Число импульсов/с,х	$\varphi^2$	$\varphi x$	$\varphi^3$	$\varphi^4$	$x \varphi^2$
0	0,1	0	1	0	0	0
10	0,133	100	1,33	1000	10000	13,3
20	0,142	400	2,84	8000	160000	56,8
30	0,142	900	4,26	27000	810000	127,8
40	0,146	1600	5,84	64000	2560000	233,6
50	0,142	2500	7,1	125000	6250000	355
60	0,133	3600	7,98	216000	12960000	478,8
70	0,05	4900	3,5	343000	24010000	245
80	0,011	6400	0,88	512000	40960000	70,4
90	0,011	8100	0,99	729000	65610000	89,1
$\Sigma$	1,01	28500	35,72	2025000	153330000	1669,8

Графическое изображение экспериментальных данных (рис.2) дает основание о предположении квадратичной зависимости числа импульсов от угла поворота чувствительного элемента к воздушному потоку. Поэтому эмпирическое уравнение будем искать в виде

$$x(\varphi) = a + b\varphi + c\varphi^2$$

Неизвестные параметры  $a, b, c$  найдем методом наименьших квадратов из решения системы уравнений

$$\begin{cases} an + b \sum_{i=1}^n \varphi + c \sum_{i=1}^n \varphi^2 = \sum_{i=1}^n x \\ a \sum_{i=1}^n \varphi + b \sum_{i=1}^n \varphi^2 + c \sum_{i=1}^n \varphi^3 = \sum_{i=1}^n x\varphi \\ a \sum_{i=1}^n \varphi^2 + b \sum_{i=1}^n \varphi^3 + c \sum_{i=1}^n \varphi^4 = \sum_{i=1}^n x\varphi^2 \end{cases},$$

которая в данном случае примет вид:

$$\begin{cases} 10a + 450b + 28500c = 1,01 \\ 450a + 285b + 2025000c = 35,72 \\ 28500a + 2025000b + 1533300000c = 1669,8 \end{cases}.$$

Решая систему методом Гаусса, найдем значения параметров:  $a = 0,0878; b = 0,00384; c = -0,000056$ . Тогда эмпирическая формула зависимости числа импульсов от угла поворота датчика анемометра примет вид

$$\tilde{x} = 0,0878 + 0,00384\varphi - 0,000056\varphi^2.$$

Оценку полученной эмпирической формулы проведем с помощью средней относительной ошибки аппроксимации по формуле  $A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x - \tilde{x}}{x} \right|$ . Для этого составим следующую расчетную таблицу.

Анализируя обработанные данные можно сделать рекомендации о допустимых границах изменения угла поворота : при  $\varphi \in (0,90)$  суммарное отклонение теоретических расчетов от эмпирических составляет 62,74%; при  $\varphi \in (0,60)$  - 11,11%; при  $\varphi \in (0,40)$  - 5,73%; при  $\varphi \in (0,10)$ -менее 1,5%.

Таблица 2

## Оценка точности эмпирической формулы

$\varphi$	$x$	$\tilde{x}$	$\left  \frac{x - \tilde{x}}{x} \right $
0	0,1	0,0878	0,122
10	0,133	0,1206	0,093
20	0,142	0,1422	0,001
30	0,142	0,1526	0,074
40	0,146	0,1518	0,039
50	0,142	0,1398	0,015
60	0,133	0,1166	0,123
70	0,05	0,0822	0,0644
80	0,011	0,0366	2,327
90	0,011	0,0202	2,836
$\Sigma$	1,01	1,0504	6,274

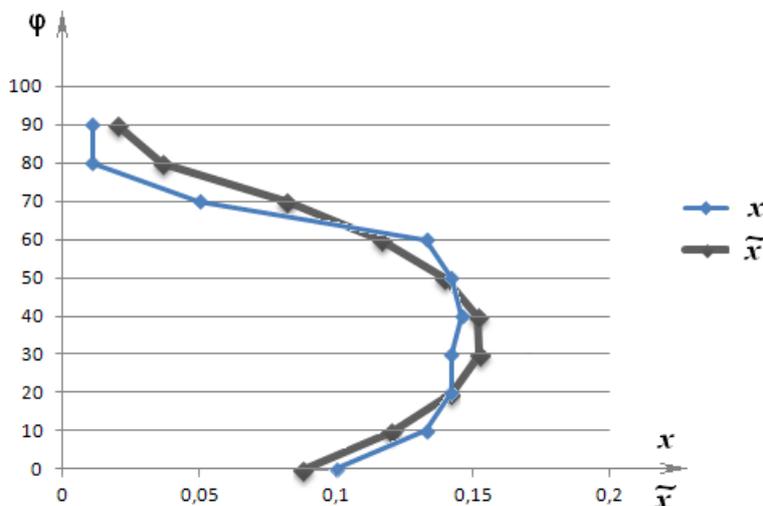


Рис.2

В результате обработки проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Применение защитного кольца для датчика-термоанемометра технологически оправдано.

2. При установке датчика в тарировочной трубе отклонение плоскости датчика от вектора скорости потока в интервале  $0-10^\circ$  вызывает относительную ошибку в показаниях прибора  $\leq 1,5\%$ .

3. При установке датчика в трубе в производственных условиях необходимо обеспечение соосной плоскости датчика и потока в пределах  $0-10^\circ$ .

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экспериментально-теоретическое исследование планарного никелевого термоанемометра в качестве датчика газового расходомера /Е.В.Голованова, С.Н. Толстопятов, С.В.Дахов, А.В. Полухин // Вестник БГТУ. 2013. №4. С. 194-197

2.Перспективы термоанемометрических методов измерения расхода газа или жидкости / М.А.Ураксеев, А.Ф.Романченко, Д.Р.Абдрашитова, С.А.Шилова // Электронный журнал «Исследовано в России». 2001.51. С. 587–593.

3.Средства измерения расхода и количества. Источник: <http://www.5ka.ru/69/16577/1.html>

4.Приборы контроля и регистрации расхода// Энергия mgn<http://energy-mgn.nm.ru/oboned8.htm>

5.Сравнительный анализ методов и средств измерения расхода газа/ Ж.А. Даев //Нефтегазовое дело.2009.С. 38-42.

6.Особенности эффективного использования термоанемометрических расходомеров газовоздушных сред. Д.Н.Перельгин, С.Н.Толстопятов, В.Ф.Павлов, Е.Д.Дериглазова // Международная научно-практическая конференция Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века. Ч.4. БелГТАСМ. 2000.С.207-210.