

Вячеслав РОМАДОВ,  
Технический директор  
ООО «Теплоком-Сервис»,  
к. т. н.

## Типы промышленных счетчиков воды (окончание).

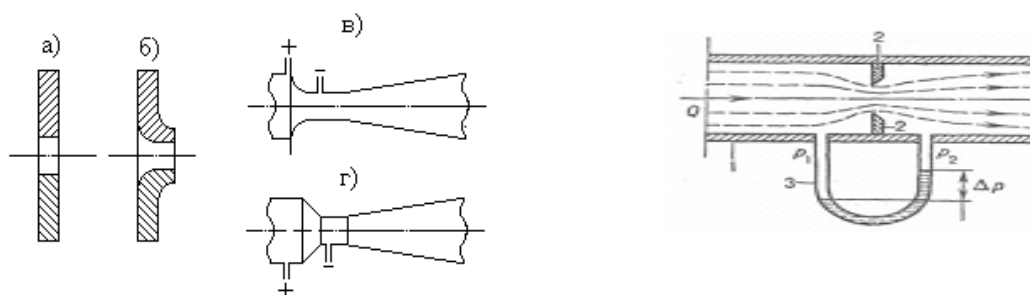
### 2. Механические счетчики

К механическим относят счетчики, показания которых могут быть считаны непосредственно со шкалы или табло роликового счетного механизма без применения электронных блоков.

#### 2.1. Расходомеры переменного перепада давления

Расходомеры переменного перепада давления нашли широкое применение в системах контроля расхода (количества) из-за простоты изготовления, низкой стоимости, отсутствия движущихся частей и необязательности градуировки на расходомерном стенде.

У расходомеров данного типа первичный преобразователь расхода представляет собой препятствие (сужающееся устройство), создающее перепад давления. На рис.2.1 представлены различные типы первичных преобразователей расходомеров переменного перепада давления.



- а) стандартная диафрагма;
- б) стандартное сопло;
- в) сопло Вентури;
- г) труба Вентури

Схема измерения сужающим устройством:  
1- канал преобразователя расхода;  
2- сужающее устройство (диафрагма);  
3- импульсная трубка и дифманометр;  
P1 – давление до сужающего устройства;  
P2 - давление после сужающего устройства;  
ΔP – разность давлений, пропорциональная расходу через сужающее устройство

Рис.2.1. Первичные преобразователи расходомеров переменного перепада давления:

Метод измерения расхода основан на том, что поток жидкости, протекающей в трубопроводе, неразрывен и скорость  $v_2$  после сужающего устройства увеличивается по сравнению со скоростью  $v_1$  до него. При этом в соответствии с законом Бернулли:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h + p_2, \quad 2.1$$

статическое давление перед местом сужения будет больше, чем за ним. То есть увеличение скорости потока влечет за собой падение статического давления. Разность давлений до и после сужающего устройства (перепад давления  $\Delta p = p_1 - p_2$ ) зависит от расхода протекающего вещества и может служить мерой расхода.

Для данных типов сужающих устройств разработаны правила расчета, обеспечивающие измерение расхода с заданной точностью без градуировки на метрологическом расходомерном стенде.

Необходимо отметить, что достижение достаточной точности измерения расхода (погрешность  $\sim 1\%$ ) требует строгого соблюдения Правил РД-50-213-80.

В первую очередь это относится к точности изготовления сужающих устройств и требований к монтажу. Так как эти требования не могут беспредельно ужесточаться, минимальная погрешность измерения расхода данными приборами составляет  $0,8 \div 1,0\%$ . Однако действительная эксплуатационная погрешность расходомеров из-за невыполнения всех требований указанных Правил, отсутствия периодического осмотра и ряда других причин может в 2-4 раза превышать паспортную и достигать в ряде случаев  $\pm 10\%$ .

Один из недостатков расходомеров переменного перепада давления - необратимые потери давления на сужающем устройстве. Наиболее энергоемкими являются диафрагмы, наименее энергоемкими - длинные сопла Вентури.

Опыт эксплуатации этих расходомеров показал их высокую надежность, однако позволил выявить и основные недостатки:

- квадратичная зависимость между расходом и перепадом давления (см. уравнение 2.1), что не позволяет измерять расход менее 30% максимального из-за высокой погрешности измерения;
- наличие протяженных импульсных линий и необходимость их периодической продувки;
- низкую надежность дифференциальных манометров и продувочных вентилях;
- малый диапазон измерения расхода (3:1);
- зависимость показаний расходомеров от эюры скоростей потока.

Кроме того, входная кромка диафрагмы притупляется под действием потока. В результате этого перепад давления постепенно уменьшается, что приводит к увеличению погрешности измерения.

Для устранения этого недостатка применяют диафрагмы с радиусом закругления кромки, равным  $0,3 \pm 0,01$  мм или с фаской, снятой с острой кромки под углом  $45^\circ$ . Для такой диафрагмы коэффициент расхода сохраняется постоянным длительное время.

Расходомеры данного типа особенно распространены благодаря простоте конструкции и возможности измерений в широком диапазоне диаметров трубопроводов (от 5 мм до 3000 мм и более); возможности применения для различных по составу и агрессивности жидкостей и газов при температурах до  $350-400^\circ\text{C}$  и давлениях до 100 МПа.

## **2.2. Расходомеры постоянного перепада давления**

Расходомерами постоянного перепада давления называются устройства, принцип измерения расхода которых основан на зависимости от расхода вертикального перемещения тела, изменяющего при этом площадь проходного сечения датчика расхода таким образом, что перепад давления остается постоянным. В этих приборах измеряется величина перемещения поплавка  $h$  внутри конической трубки под воздействием движущегося снизу вверх потока жидкости. Последний поднимает поплавок до тех пор,

пока подъемная сила, возникающая благодаря наличию на нем перепада давлений, не уравновесится весом поплавка. Величина перемещения поплавка  $h$  прямопропорциональна расходу жидкости через ротаметр.

Рассматриваемый класс расходомеров включает в себя ротаметры и поплавковые расходомеры. Малые потери давления (меньше 15 кПа), достаточно большой диапазон измерения (более 10:1), высокая точность (погрешность  $\pm 0.5\%$ ), простота конструкции отличают эти расходомеры от других перепадаомеров. Ротаметр состоит из конической трубки, расходящейся вверх, внутри которой перемещается поплавок (рис. 2.2). Трубки ротаметров могут быть стеклянными (рассчитаны на давление до 2,5 МПа) и металлическими (до 70 МПа). Поплавки в зависимости от свойств жидкости или газа изготавливают из различных металлов либо пластмасс. Приборы работоспособны при температурах от  $-80$  до  $+400$  °С, предпочтительны для трубопроводов диаметром до 150 мм, имеют равномерные шкалы, градуированные в единицах объемного расхода.

К недостаткам расходомеров постоянного перепада давления следует отнести необходимость индивидуальной градуировки и обязательность вертикального расположения датчика расхода.

Опыт применения расходомеров постоянного перепада давления показал их недостаточную надежность в связи с выходом из строя отдельных частей ротаметров. Основные причины отказов были связаны с заеданием ходовой части при засорении ротаметра продуктами коррозии, износом кромки поплавка и со значительным возрастанием при этом погрешности измерения (4% и выше).

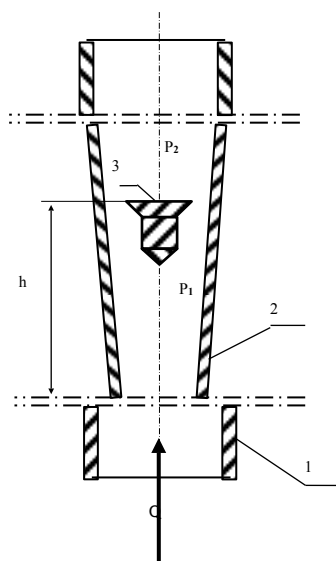


Рис.2.2. Схема ротаметра

Неудовлетворительная работа ротаметров, связанная с возможным трением поплавка о стенку трубы из-за не строго вертикальной установки, а также из-за появления его колебаний из-за нарушения concentричности положения, колебаний давления или расхода, имеющими частоту, близкую к собственной частоте колебаний поплавка, и, следовательно, увеличивающими погрешность измерения расхода, приводят к необходимости применения других средств измерения.

### 2.3. Тахометрические расходомеры

#### 2.3.1. Общая характеристика

К тахометрическим относятся расходомеры, у которых преобразователь расхода включает в себя тело, вращающееся в корпусе под действием протекающего потока жидкости со скоростью, пропорциональной объемному расходу. В зависимости от типа вращающегося тела эти расходомеры подразделяются на турбинные, шариковые и камерные. Все тахометрические расходомеры (счетчики) являются энергонезависимыми.

### 2.3.2. Тахометрические турбинные расходомеры

Турбинные преобразователи расхода могут быть выполнены с аксиальной и с тангенциальной турбинкой (рис.2.3). Погрешность таких счетчиков  $\pm 2\%$  в диапазоне от  $Q_{\max}$  до  $Q_{\text{пер}}$  и  $\pm 5\%$  в диапазоне от  $Q_{\text{пер}}$  до  $Q_{\text{мин}}$ .

Основной недостаток турбинных расходомеров – наличие механических движущихся частей и, как следствие, ограниченный ресурс.

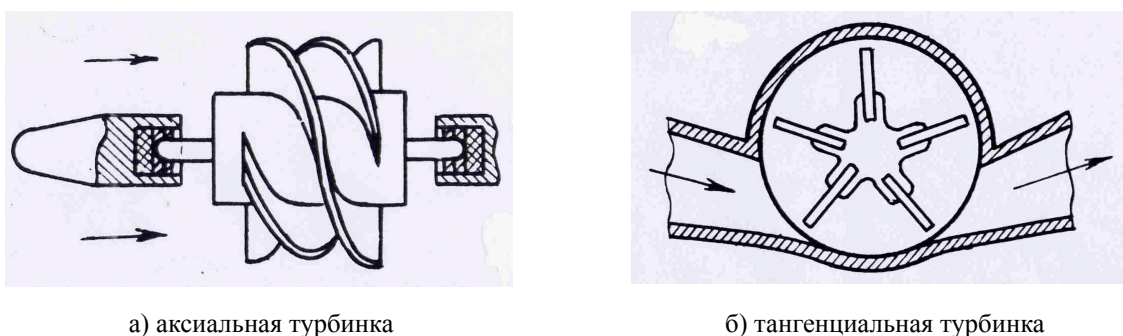


Рис.2.3. Разновидности турбинных преобразователей:

К достоинствам турбинных преобразователей можно отнести:

- практически линейную градуировочную характеристику;
- достаточно широкий диапазон измерения;
- малую инерционность;
- простоту и технологичность конструкции.

Основные причины выхода турбинных преобразователей из строя - отличие условий эксплуатации от предполагаемых (загрязненность потока), наличие возмущений в потоке, вызывающих вибрацию турбинки и износ оси.

Основной характеристикой, описывающей работу турбинных преобразователей, является дифференциальное уравнение вращательного движения турбинки, связывающее скорость ее вращения с характеристиками движения потока жидкости:

$$J \frac{d\omega}{dt} = \dot{M}_D - \sum \dot{M}_C \quad 2.2$$

где  $J$  — момент инерции турбинки с учетом присоединенной массы потока;

$\omega$  — угловая скорость вращения турбинки;

$t$  — время;

$M_D$  — движущий момент потока измеряемой жидкости;

$\sum M_C$  — сумма моментов сопротивления.

Решением уравнения относительно  $\omega$  является характеристика преобразования, которую в общем виде можно записать как:

$$\omega = f(x_1, \dots, x_n; y_1, \dots, y_m), \quad 2.3$$

где  $x_1, \dots, x_n$  — геометрические характеристики турбинного преобразователя;  
 $y_1, \dots, y_m$  — параметры измеряемой жидкости.

Турбинные счетчики с тангенциальной турбинкой в зависимости от конструкции разделяют на «сухоходы» и «мокроходы». Счетчики, в которых отсчетное устройство находится в измеряемой среде, называются «мокроходами». В «сухоходах» отсчетное устройство отделено от измеряемой жидкости герметичной перегородкой, а частота оборотов турбинки передается редуктору счетного механизма посредством магнитной муфты.

Тангенциальные турбинные преобразователи расхода применяют для диаметров трубопроводов от 10 до 45 мм и расходов от 0,15 до 12,6 м<sup>3</sup>/ч.

Турбинные расходомеры (счетчики) могут выполняться без выходного сигнала, в этом случае показания количества протекшей жидкости считывается со счетного роликового механизма.

Применение герконов (герметичных контактов) или магнитоуправляемых контактов позволяет считывать внешним электронным счетчиком количество нормированных импульсов. Геркон работает следующим образом: при отсутствии магнитного поля контакт остается разомкнутым, а при прохождении магнита редуктора счетного механизма вблизи него — замыкается.

Существуют конструкции герконов с защитой и контролем линии. В этом случае появляется возможность идентификации несанкционированного обрыва или замыкания линии связи, что особенно важно для квартирных водосчетчиков в связи с ограниченным доступом для осмотра.

### 2.3.3. Тахометрические шариковые расходомеры

Шариковыми называются тахометрические расходомеры, в которых подвижный элемент (шарик) непрерывно движется по кругу под действием предварительно закрученного потока. Перемещению шарика вдоль оси препятствуют ограничительные кольца. Характеристика преобразования шариковых расходомеров описывается зависимостью между частотой выходного сигнала и расходом жидкости:

$$f = k \times Q \frac{(1 + S_{\theta})}{2\pi r}, \quad 2.4$$

где  $f$  — частота выходного электрического сигнала;

$k$  — коэффициент пропорциональности;

$Q$  — объемный расход;

$S_{\theta}$  — скольжение;

$r$  — радиус вращения центра шара.

Обычно шариковые расходомеры изготавливаются для трубопроводов до 150 мм и для расходов не более 100÷200 м<sup>3</sup>/ч. Температура измеряемой жидкости — до 160 °С.

Для работы при высоких температурах водяного теплоносителя (например, в технологических контурах АЭС с реакторами РБМК) разработаны шариковые аксиальные расходомеры специального типа.

В корпусе шарикового преобразователя расхода располагается неподвижный узел, содержащий ступицу и два направляющих аппарата с ограничительными кольцами. Между последними в канавке находится ферромагнитный шарик (рис.2.4). С наружной стороны корпуса имеется место крепления на винтах тахометрического индукционного

преобразователя, состоящего из катушки и магнитного сердечника. Поток жидкости, проходя закручивающий аппарат с переменным по длине винтовым шагом, приобретает вращательное движение и обеспечивает вращение шара. Выходной винтовой шнек выполнен аналогично входному, чем может быть обеспечена реверсивность работы расходомера.

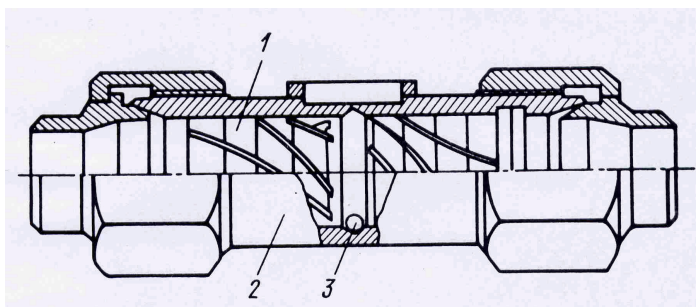


Рис.2.4.Первичный преобразователь шарикового расходомера:  
1 –направляющий аппарат; 2,3 - корпус преобразователя расхода 3 – ферромагнитный шарик

Шариковый расходомер предназначен для измерения расхода дистиллята в пределах  $2 \div 8$  м<sup>3</sup>/ч при давлении 5 МПа и температуре  $20 \div 200$  °С. Основная погрешность, определяемая при градуировке,  $\pm 1,5\%$ .

В другой конструкции шарикового расходомера первичный преобразователь для некоторого уменьшения влияния на градуировочную характеристику неравномерной эпюры скоростей на входе в закручивающий аппарат, имеет в своем составе струевыпрямитель. Кроме того, закручивающий аппарат, представляющий собой трехлопастной шнек с перекрытием сечения менее единицы, опущен на расстояние, равное четырем диаметрам трубопровода вниз от входного патрубка. Расходомер служит для измерения расхода дистиллята в пределах  $8 \div 50$  м<sup>3</sup>/ч при давлении 10 МПа и температуре  $20 \div 285$  °С. Градуировочная погрешность составляет также  $\pm 1,5\%$ .

Достоинства шариковых расходомеров по сравнению с расходомерами переменного перепада давления следующие:

- отсутствие импульсных линий;
- унифицированный аналоговый или частотный выходной сигнал;
- диапазон измеряемых расходов более 1:6;
- возможность измерения загрязненных жидкостей;
- достаточная малая погрешность;
- слабое влияние местных сопротивлений.

Однако имеются и некоторые недостатки:

- ограниченный ресурс работы;
- необходимость индивидуальной градуировки;
- зависимость показаний шариковых расходомеров от вязкости жидкости.

В процессе эксплуатации шариковых расходомеров происходит постепенный износ дорожек качения и шара. При износе шара так же, как и при раскатке дорожки качения, у прибора появляется отрицательная погрешность, т.е. его показания становятся заниженными.

Одним из недостатков тахометрических шариковых расходомеров приведенных конструкций является нелинейность выходных характеристик датчиков расхода.

Предельная систематическая составляющая погрешности шарикового расходомера от изменения температуры составляет  $+ 8,3\%$  при среднеквадратическом отклонении  $\sigma = 2,1\%$  и температуре  $t = 270$  °С и, соответственно,  $+ 4 \%$  при  $\sigma = 0,96 \%$  и температуре до

200 °С. Положительное значение систематической составляющей погрешности ведет к завышению показаний расходомера, что недопустимо с точки зрения безопасной эксплуатации реактора.

При длительной эксплуатации расходомеров встает вопрос об их надежности с точки зрения временной стабильности их метрологических характеристик и безопасности работы.

Из-за нелинейности градуировочной характеристики применяются только для измерения расхода.

#### 2.3.4. Тахометрические расходомеры с гидродинамически подвешенным шаром

Ограниченность ресурса шариковых расходомеров, вызванная наличием контакта шара с корпусом при вращении шара потребовало разработки новых расходомеров. Одним из таких расходомеров является датчик с левитирующей (парящей) сферой (рис.2.5).

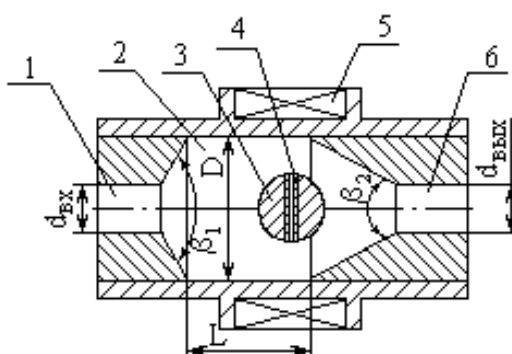


Рис.2.5. Схема преобразователя расхода с взвешенным шаром:

1 - входное отверстие; 2 - внутренняя полость; 3 - шар; 4 - магнитная вставка; 5 - индукционный узел съема сигнала; 6 - выходное отверстие.

При перемещении шара, изготовленного из материала с удельной плотностью, большей, чем у протекающей жидкости, в ограниченную полость и при соблюдении определенных геометрических соотношений проточной части полости и шара, последний занимает устойчивое положение в определенном месте и находится там в левитирующем состоянии независимо от скорости потока и ориентации датчика. При наличии сквозного диаметрального отверстия в сфере она начинает вращаться в некоторой плоскости относительно своего центра масс со скоростью, пропорциональной объемному расходу. Устойчивая левитация сферы обеспечивается за счет некоторого подсасывающего действия струи на переднюю часть сферы.

Отсутствие контакта шара с корпусом выгодно отличает этот датчик от других шариковых расходомеров. Простота конструкции и небольшое число геометрических размеров, влияющих на метрологическую характеристику датчика, дают возможность разработать прибор с незначительным внутрисерийным разбросом между датчиками и обеспечить высокую сохраняемость характеристики в процессе эксплуатации.

Одним из недостатков рассматриваемого датчика является наличие зоны нечувствительности, определяемой массой сферы. Для улучшения таких характеристик прибора, как инерционность, диапазон измерения, линейность, необходимо уменьшать массу сферы за счет использования легких материалов или изготовления полой сферы. Другая задача - обеспечение такой стабильности вращения сферы, которая позволила бы

получить высокие метрологические характеристики расходомера. Погрешность таких счетчиков оценивается в  $\pm(1,0\div 1,5)$  %.

#### Литература

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. - 4-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1989.
2. Цейтлин В.Г. Расходоизмерительная техника. М., Изд-во стандартов, 1977.
3. Бирюков Б.В., Данилов М.А., Кивилис С.С., Точные измерения расхода жидкостей, М., 1977.