

Г. Н. Мартыненко, А. В. Муравьев, А. И. Коровкина, Д. Н. Китаев

# ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ, СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Учебное пособие



Воронеж 2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

**Г. Н. Мартыненко, А. В. Муравьев, А. И. Коровкина, Д. Н. Китаев**

**ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ,  
СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

Учебное пособие

Воронеж 2022

УДК 006.9(07)

ББК 30.10я73

В42

**Рецензенты:**

*кафедра теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции Казанского государственного архитектурно-строительного университета  
(канд. техн. наук, доц. Ю. Р. Кареева);  
ООО «Йера» (директор, Д. Н. Истомин)*

**Мартыненко, Г. Н.**

**Виды и методы измерений, средства измерений:** учебное пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (1,7 Мб) / Г. Н. Мартыненко, А. В. Муравьев, А. И. Коровкина, Д. Н. Китаев. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): цв. – Систем. требования: ПК 500 и выше; 256 Мб ОЗУ; Windows XP; SVGA с разрешением 1024x768; Adobe Acrobat; CD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7731-1059-0

В учебном пособии изложены основные положения практической метрологии и освещаются современные методы и средства измерений, применяемые в тепловых и теплоэнергетических агрегатах и установках. Рассматриваются погрешности измерения, способы их уменьшения, достоинства и недостатки отдельных методов измерений и их применимость для конкретных технологических процессов. Излагаемый в пособии материал сопровождается большим количеством иллюстраций.

Издание предназначено для студентов, обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство» (программа магистерской подготовки «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий»), 21.04.01 «Нефтегазовое дело» (программа магистерской подготовки «Нефтегазовое дело»), 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (программа магистерской подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника») всех форм обучения.

Ил. 42. Библиогр.: 10 назв.

**УДК 006.9(07)**

**ББК 30.10я73**

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

ISBN 978-5-7731-1059-0

© Мартыненко Г. Н., Муравьев А. В.,  
Коровкина А. И., Китаев Д. Н., 2022  
© ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный технический  
университет», 2022

## ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с учебным планом студенты магистратуры, обучающиеся по направлениям 08.04.01 «Строительство», 21.04.01 «Нефтегазовое дело», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» всех форм обучения изучают различные дисциплины, связанные с измерением параметров транспортируемых сред.

В представленном пособии рассмотрен теоретический материал по видам и методам измерений, средствам измерений. Подробно описаны средства измерений температуры, давления, расхода, уровня целевых продуктов, а также виды измерительных преобразователей для реализации дистанционной передачи сигналов.

В конце каждого раздела есть задания для самостоятельного закрепления материала. В процессе проведения практических занятий происходит закрепление и углубление полученных студентом теоретических знаний.

Приведенные иллюстрации средств измерения температуры, давления, расхода, уровня и измерительных преобразователей позволяют студентам заочного обучения самостоятельно освоить материал и научиться идентифицировать приборы.

В направлениях бакалавриата вопрос о средствах измерения параметров теплотехнических процессов затрагивается крайне мало, в основном в курсе «Метрология, стандартизация, сертификация» и выносится на самостоятельное изучение. В связи с чем возникает необходимость освещения ряда вопросов, связанных с измерениями давления, температуры, расхода и уровня транспортируемой среды.

Пособие может быть рекомендовано для студентов магистратуры других направлений, изучающих виды, методы и средства измерений, а также студентам бакалавриата для углубленного изучения приборного метода обследования трубопроводов. Пособие может быть также полезно в инженерной практике.

Все приведенные в пособии иллюстрации являются авторскими.

# 1. ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ. ЭТАЛОНЫ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения бывают:

- **прямые** – заключаются в непосредственном определении значений физической величины на шкале прибора или измеряется мерой;
- **косвенные** – заключаются в определении физических величин, связанных с искомой функциональной зависимостью: например:  $v = \frac{S}{t}$ .
- **промышленные** – не достаточно точные, выполняются на производстве;
- **лабораторные** – очень точные измерения, производятся в лабораториях при научно-исследовательских, наладочных и поверочных работах

Все измерения производятся 3-мя основными методами:

**Метод 1: Метод непосредственной оценки.** По этому методу искомая величина сразу отображается на шкале измерительного прибора.

**Метод 2: Метод сравнения с мерой.** Измеряемая величина сравнивается со значением, воспроизводимой мерой для данной величины. Например, измерение длины калиброванным метром.

**Метод 3: Нулевой.** Искомая величина сравнивается с мерой, и разница между ними сводится к нулю. Например, взвешивание массы на тарельчатых весах.

**Эталонами** называются меры и приборы, предназначенные для хранения единиц измерения и воспроизведения их с наивысшей точностью. Эталонные бывают:

- **первичные** – наиболее точные, служат государственными эталонами единиц измерения;
- **вторичные** – рабочие эталоны, применяемые для передачи размеров единиц образцовым мерам и приборам. Значение вторичных эталонов устанавливаются по первичным.

Для развития научно-технического сотрудничества была создана международная система единиц – система СИ (IS), которая применяется сейчас. Она состоит из основных, дополнительных и производных единиц.

**Основные единицы системы:**

- 1 м – мера длины;
- 1 кг – мера массы;
- 1 с – мера времени;
- 1 А – мера силы тока;
- 1 К – мера температуры;
- 1 Кд – мера силы света;
- 1 моль – мера количества вещества.

**Дополнительные единицы системы:**

*радиан* – угол между двумя радиусами окружности, дуга которой равна

радиусу

1 рад=57°17'44,8''

*стерадиан* – телесный угол.

**Производные:** площадь, объем, плотность, скорость, ускорение, частота, сила давления и т.д.

Путем умножения или деления единиц на 10 получают чрезмерно малые или большие значения. Название этих единиц получаются путем прибавления приставок.

## Контрольные вопросы

1. Какие бывают виды измерений?
2. Какие бывают методы измерений?
3. Дать определение эталона.
4. Какие эталоны бывают?
5. Какие единицы измерения относят к основным, дополнительным и производным?

## 2. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

### 2.1. Классификация приборов

В зависимости от назначения устройства и других характеристик измерительные приборы разделяются на ряд групп.

**Основная классификация** предусматривает деление приборов по роду измерительных величин:

t (температура) – термометры, пирометры;

p (давление) – манометры, барометры, вакуумметры;

G (расход среды) – расходомеры, счетчики, весы;

Уровень – уровнемеры, указатели уровня;

состав дымовых газов – газоанализаторы;

качества воды и пары – кондуктометры, кислородомеры.

#### **Дополнительная классификация:**

*По назначению* – промышленные, лабораторные, образцовые и эталонные;

*По характеру показаний* – показывающие, регистрирующие, интегрирующие;

*По форме представления показаний* – аналоговые, цифровые;

*По принципу действия* – механические, электрические, жидкостные, химические, радиоизотопные;

*По характеру использования* – оперативные, учетные, расчетные;

*По местоположению* – местные, с дистанционным управлением;

*По условиям работы* – стационарные, переносные;  
*По габаритам* – полногабаритные, малогабаритные;  
*Например*, термометр – может быть промышленным, электрическим самопишущим и т.д.

## 2.2. Свойства прибора

- точность;
- чувствительность;
- быстродействие;
- надежность работы.

**Точность** измерительного прибора определяется степенью достоверности его показаний.

**Чувствительность** выражается отношением линейного или углового перемещения указателя к изменению измеряемой величины, вызвавшему это перемещение  $S = \frac{\Delta l}{\Delta x}$ . Чувствительность прибора обратно пропорциональна цене деления шкалы, следовательно, более высокой чувствительностью обладают приборы со шкалой, имеющей небольшую цену деления.

**Быстродействие** зависит от его инерционности, вызывающей запаздывание показаний, то есть характеризует время с момента начала изменения величины до момента показания его прибора.

**Надежность** характеризует его свойство сохранять работоспособность в течение заданного времени.

## 2.3. Погрешность измерений

**Погрешностью измерений** называется отклонение результата измерений от истинных значений.

Различают **абсолютную, относительную и приведенную** погрешности.

По своему характеру бывают: *систематические, грубые, случайные, динамические*.

**Абсолютная погрешность** выражается в единицах измерения и представляет разницу между показанием прибора  $X$  и действительным значением измеряемой величины  $X_g$

$$\pm \Delta = X - X_g . \quad (2.1)$$

Относительная погрешность называется отношение абсолютной погрешности к действительному значению и выражается в %

$$\delta = \frac{\Delta}{X_g} * 100\% . \quad (2.2)$$

Для определения действительного значения к показанию прибора вводится поправка  $c$ , которая численно равна абсолютной погрешности к действительному значению, то есть

$$\pm\Delta = \pm c. \quad (2.3)$$

Поправка алгебраически складывается с результатом измерения

$$X_g = X + (\pm c). \quad (2.4)$$

Иногда для получения точного результата показатели прибора умножают на поправочный коэффициент  $k$

$$X_g = k * X. \quad (2.5)$$

**Систематическая погрешность** – при повторных измерениях одной и той же величины остаётся постоянной и складывается из основной и дополнительной погрешности

**Основная** – зависит от назначения прибора, устройства и качества изготовления прибора

**Дополнительная** – возникает из-за неправильной установки прибора, применения несовершенного метода измерения, в зависимости от индивидуальных особенностей наблюдателя

**Грубые погрешности** – связаны с факторами заведомо и существенно изменяющими показателями (снижение напряжения электрического питания прибора, неправильное определение показаний прибора, неверная их запись)

**Случайные погрешности** – погрешности при повторных измерениях не остающиеся постоянными, т.к. возникают в итоге совместного воздействия на процесс измерения многих причин.

При обработке результатов случайную погрешность можно исключить, определив среднее арифметическое значение измеряемой величины.

**Динамическая погрешность** – возникает при измерении изменяющейся величины за счет запаздывания показаний.

Например, если вещество с  $t=0^\circ\text{C}$  нагреть до  $t_k$ , то показатели термометра  $t_n$  будут запаздывать на величину

$$\Delta g = t_k - t_n. \quad (2.6)$$

Для каждого прибора устанавливается **допускаемая основная погрешность**, которая характеризует наибольшее возможное отклонение показаний прибора от действительного значения  $\Delta'$

**Допускаемая приведенная погрешность** определяется по формуле

$$\gamma' = \pm \frac{\Delta'}{D_k - D_n} * 100\%. \quad (2.7)$$

По допускаемой приведенной погрешности приборы разделяются на классы точности. Например, если  $\gamma' = \pm 0,6\%$ , то класс точности этого прибора 0,6. Существует простая методика поверки прибора.

### Методика поверки прибора

- 1) класс точности  $\gamma=0,5$  (на циферблате прибора);
- 2) диапазон показаний 0-800 ( $D_k - D_n$ );
- 3) определяется допустимая основная погрешность по формуле:

$$\Delta' = \frac{\gamma(D_k - D_n)}{100\%}, \text{ ед.ф.в.}; \quad (2.8)$$

- 4) определяется абсолютная погрешность измерений по формуле:

$$\Delta = X - X_g, \text{ ед.ф.в.}; \quad (2.9)$$

- 5) сравниваем  $\Delta$  и  $\Delta'$

$\Delta' \geq \Delta$  – если неравенство выполняется, то прибор годен для дальнейшей работы.

### Контрольные вопросы

1. Классификация измерительных приборов.
2. Свойства измерительных приборов.
3. Какие бывают погрешности измерений?
4. Что такое точность прибора?
5. Для чего необходима поверка приборов?
6. Что характеризует допускаемая погрешность прибора?
7. При каком условии прибор готов к дальнейшей эксплуатации?
8. Что такое класс точности прибора?
9. По каким погрешностям устанавливается класс точности прибора?

## 3. НАЗНАЧЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ ПЕРЕДАЧ. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Назначение дистанционных передач – передавать сигнал на расстояние.

Приборы с дистанционной передачей показаний на щите управления являются основным видом промышленных приборов, обеспечивающих централизацию контроля за работой установок. Дальность передачи у этих приборов достигает 300-500 м.

Промышленные измерительные приборы обычно являются *стационарными*, то есть предназначенными для установки (монтажа) на щитах, стенах, колоннах, кронштейнах.

Для дистанционной передачи показаний при измерении давления жидкости (газа, пара) в теплоэнергетике применяются бесшкальные деформационные электрические манометры с дифференциально-трансформаторным, ферродинамическим, тензометрическим преобразователями, работающими в комплекте с соответствующими вторичными приборами.

**Измерительные преобразователи** предназначены для преобразования энергии измеряемых величин в удобный для передачи вид энергии – *электрическую*. Они бывают первичные, промежуточные, принимающие.

**Основные понятия:**

- 1) *измеряемая величина* – подлежащая измерению физическая величина;
- 2) *измерительный преобразователь* – преобразует измеряемую величину в электрический сигнал;
- 3) *линии связи* – проводники, по которым идет электрический сигнал от преобразователя к другим частям системы;
- 4) *отображающие и запоминающие приборы* – это приборы, показывающие текущие значение физической величины, а при необходимости и запоминающие;
- 5) *компаратор* – прибор, предназначенный для сравнения с заданными значениями измеряемой величины и получения разностного сигнала.

В терминах электротехники **измерительный преобразователь** определяется как прибор, преобразующий неэлектрическую величину (измеряемую) в электрический сигнал. Преобразователи используют в двух областях: телеметрическое контрольно- измерительное оборудование и управляющие системы. В виде схем это можно представить следующим образом (рис. 1).

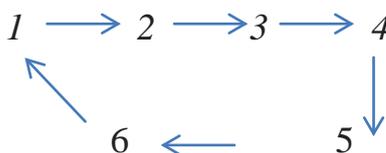


Рис. 1. Схема дистанционной передачи:

- 1 – измеряемая величина; 2 – преобразователь; 3 – линии связи;  
4 – отображение результата измерения; 5 – компаратор;  
6 – исполнительное устройство

Схема *реостатного преобразователя* представлена на рис. 2.

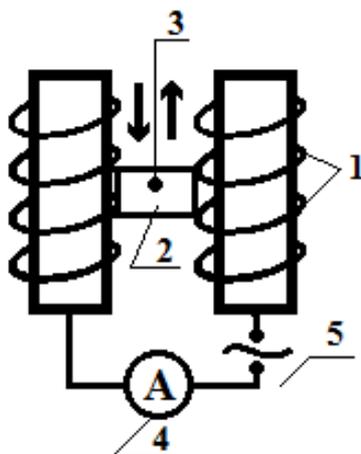


Рис. 2. Реостатный преобразователь:

1 – стержни из диэлектрика с обмоткой из проволоки; 2 – подвижный контакт;  
3 – шток, связанный с чувствительным элементом, контактирующим с измеряемой средой (t, p, расходом и т.д.); 4 – показывающий амперметр, проградуированный в единицах измеряемой величины; 5 – источник тока

К чувствительным элементам относятся:

- 1) одновитковые полые манометрические пружины;
- 2) многовитковые полые манометрические пружины;
- 3) плоские вялые и жесткие мембраны;
- 4) мембранные коробки;
- 5) блоки мембранных коробок;
- 6) сильфоны;
- 7) поплавки дифференциальных манометров;
- 8) поплавки промышленных ротаметров и т.д.

Под действием какого-либо чувствительного элемента (на рис. не показан) через шток 3 перемещается ползунок 2. При этом в цепи меняется сопротивление, а, следовательно, и сила тока, что показывает прибор 4, проградуированный в единицах измерения среды.

Схема *дифференциально-трансформаторного* преобразователя представлена на рис. 3.

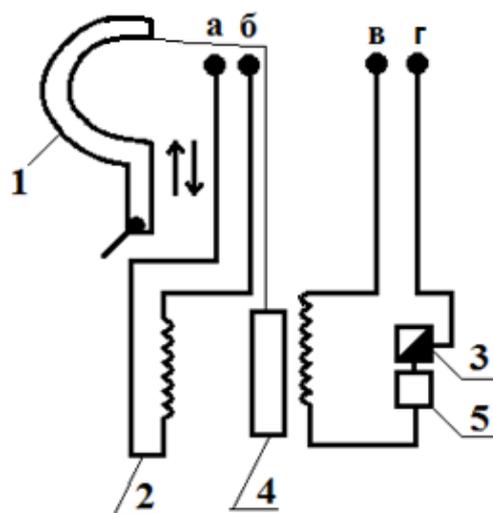


Рис. 3. Дифференциально-трансформаторный преобразователь:  
 1 – какой-либо чувствительный элемент, непосредственно связанный с измерительной средой; 2 – первичная обмотка катушки соленоида, на которую подается ток питания; 3 – вторичная обмотка соленоида; 4 – металлический сердечник, который при изменениях измеряемой среды (величины) перемещается; 5 – сопротивление для настройки преобразователя; а, б – клеммы для подвода напряжения питания; в, г – клеммы для отвода в линию тока наведения

Во вторичной обмотке происходит наведение тока, который изменяется пропорционально изменениям измеряемой среды. Дифференциально-трансформаторный преобразователь применяется в трубчато-пружинном электрическом манометре МЭД.

Схема *тензометрического* преобразователя представлена на рис. 4.

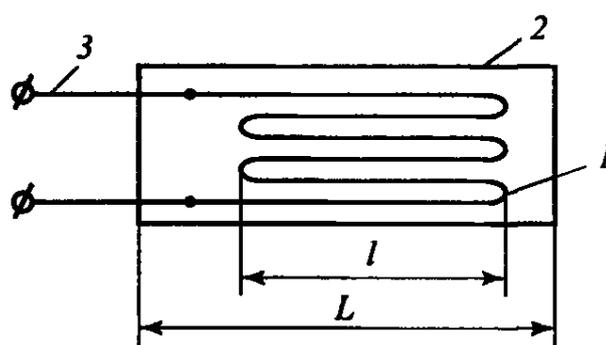


Рис. 4. Тензометрический преобразователь:  
 1 – тонкий листок папирусной бумаги с наклеенной нитью; 2 – фетр, на который накладывается бумага, предохраняющая нить от повреждения; 3 – тонкая платиновая нить, меняющая сопротивление при сжатии при растяжении, подходящая к клеммам

Преобразователь наклеивается со стороны бумаги на чувствительный элемент, либо испытываемую строительную конструкцию, мост, ферму, балку, колонну и т.д. При деформациях чувствительных элементов и конструкций (растяжениях и сжатиях) происходит так же растяжение или сжатие платиновой нити, при этом при растяжениях ее сопротивление увеличивается, а при сжатиях – уменьшается. Это фиксирует амперметр, проградуированный в единицах измеряемой среды. Достоинства – простота устройства, высокая точность, надежность, быстроедействие, небольшие габариты и масса, виброустойчивость.

Тензометрический преобразователь КНС структуры (кремний на сапфире), представляющий собой тонкую пленку монокристаллического кремния (полупроводника), нанесенную на поверхность пластинки из монокристаллического сапфира (электроизолятора), дал хорошие результаты при испытании (на его основе разработан манометр «Кристалл»)

Схема *ферродинамического* преобразователя представлена на рис. 5.

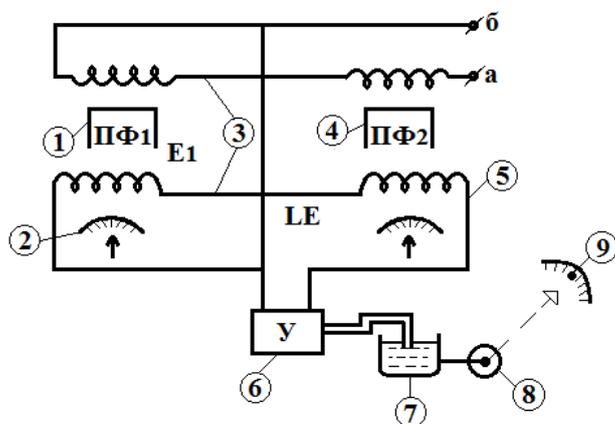


Рис. 5. Электрическая схема передачи измерительной информации на расстояние при помощи 2-х ферродинамических преобразователей:

- 1 – трансформаторное железо с обмоткой из проволоки; 2 – рамка проводников, способная перемещаться в магнитном поле вместе с осью  $O$  под действием какого-либо чувствительного элемента, непосредственно связанного с измерительной средой; 3 – провода линии связи, их длина может быть: несколько метров, когда измеряемая информация передается на котловой щит, расположенный рядом с котлом или десятки метров, когда измеряемая информация передается на общекотельный пульт, расположенный в отдельном помещении; 4 – принимающий, компенсирующий ферродинамический преобразователь, расположен на каком-либо расстоянии от передающего; 5 – рамка проводников вторичного преобразователя; 6 – усилитель сигналов; 7 – монооборотный реверсивный микроэлектродвигатель (сельсин); 8 – кулачок, одновременно жестко связан с сельсином, рамкой 5 вторичного преобразователя и стрелкой вторичного показывающего прибора; 9 – стрелка вторичного показывающего прибора

Рассмотрим 2 случая.

**Случай 1:** измеряемая величина не изменяется, при этом вторичный прибор 9 устойчиво показывает значение этой величины, следовательно, вся система находится в состоянии покоя, при этом рамки 2 и 5 находятся под одинаковыми углами в магнитном поле и вырабатывают одинаковые, но противоположно направленные ЭДС:  $E_1 = E_2$  и  $\Delta E = E_1 - E_2 = 0$ .

**Случай 2:** допустим, что измеряемая величина изменила свое значение, при этом какой-либо чувствительный элемент провернет рамку 2 на некоторый угол, в ней образуется новая  $E$ , причем  $E_1 \neq E_2$

$$\Delta E = E_1 - E_2 \neq 0 . \quad (3.1)$$

Усилитель воспринимает эту разницу и усиливает ее, включается в работу сельсин, будет проворачиваться кулачок, рамка и стрелка 9 до тех пор, пока рамка 5 не займет новое, но одинаковое с рамкой 2 положение, при этом выполняется равенство

$$E_1 = E_2, \Delta E = 0 . \quad (3.2)$$

Наступит новое равновесное состояние, при котором прибор 9 покажет новое значение измеряемой величины.

Схема *манометрического* преобразователя представлена на рис. 6.

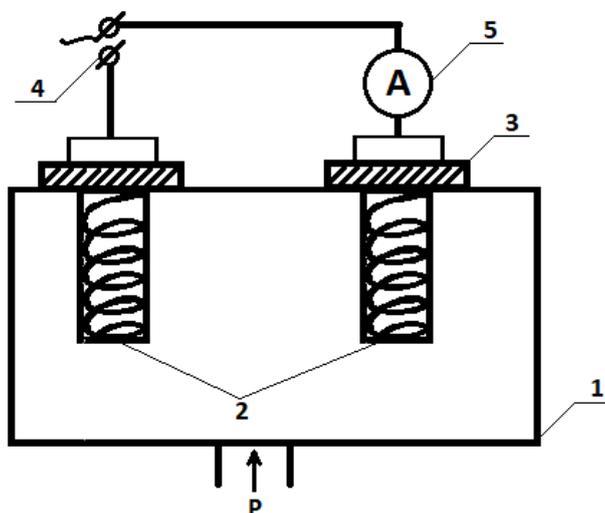


Рис. 6. Манометрический преобразователь:

- 1 – корпус, куда подается измерительная среда под давлением;
- 2 – стержень блока из проволоки (константан);
- 3 – изоляторы;
- 4 – источник тока;
- 5 – амперметр, проградуированный в единицах давления

Под действием давления среды, которое изменяется, происходит растяжение или сжатие стержней 2, следовательно, изменяется сопротивление проволоки в блоках, что регистрирует амперметр.

Схема *гидравлического* преобразователя представлена на рис. 7.

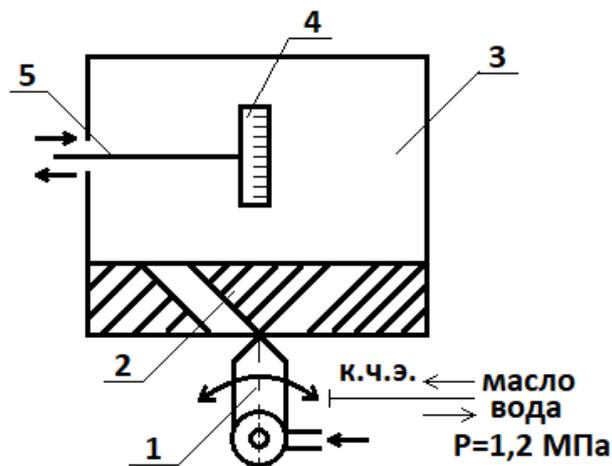


Рис. 7. Гидравлический преобразователь со струйной трубкой:  
 1 – полая внутри, наилегчайшая струйная трубка, способна перемещаться вокруг центра 0 на некоторый угол под действием чувствительного элемента; 2 – система перепускных каналов, по которым масло или вода, в зависимости от положения трубки 1 попадает то перед, то за поршень 4;  
 3 – цилиндр; 4 – поршень; 5 – шатун

На шатуне 5 возникают большие усилия, зависящие от давления масла или вода и площади поршня. Эти усилия используются в системах автоматизации для открытия или закрытия результирующих органов: клапанов, вентилях, задвижек, шиберов, лопаток направляющих аппаратов, дымососов и вентиляторов, поворотных регулирующих заслонок (ПРЗ) и т.д.

Схема *пневматического* преобразователя представлена на рис. 8.

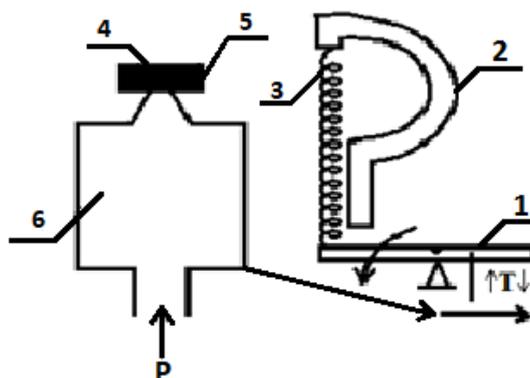


Рис. 8. Пневматический преобразователь:

1 – система рычагов, которые перемещаются под действием какого-либо чувствительного элемента; 2 – рабочая, полая манометрическая пружина; 3 – упругая пружина обратной связи подчеркивает, что данный преобразователь выполняет роль регулятора; 4 – заслонка закрывает или приоткрывает на небольшой зазор сопло 5; 6 – генератор воздуха, в который поступает воздух с постоянным давлением; в линию же воздух поступает с давлением в зависимости от степени открытия заслонки

Гидравлические и пневматические преобразователи применяются во взрыво- и пожароопасных производствах. Однако, протяженность линии передачи измерительной информации по трубкам не превышает 100м, так как давление воздуха в линии может изменяться в зависимости от температуры окружающей среды, масло вызывает большие сопротивления и так же искажает информацию, а вода может замерзнуть.

Бывают и другие преобразователи. Например, термоэлектрические, термоманометрические, электромагнитные и другие.

### Контрольные вопросы

1. Для чего нужны дистанционные передачи?
2. Для чего нужны преобразователи?
3. Что такое измеряемая величина; измерительный преобразователь; линии связи; отображающие и запоминающие приборы; компаратор.
4. Схемы использования преобразователя.
5. Реостатный преобразователь (конструкция, принцип действия).
6. Дифференциально-трансформаторный преобразователь (конструкция, принцип действия).
7. Тензометрический преобразователь (конструкция, принцип действия).
8. Ферродинамический преобразователь (1 и 2 случая).
9. Манометрический преобразователь.
10. Гидравлический преобразователь.
11. Пневматический преобразователь.

#### 4. ПОНЯТИЕ О ТЕМПЕРАТУРЕ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

**Температура** – степень нагретости вещества. Для измерения единицы температуры – материального эталона нет.

В связи с этим, определение температуры производится путем наблюдения за изменением физических свойств другого тела - **термометрического вещества**, которое при соприкосновении с нагретым телом через некоторое время вступает с ним в тепловое равновесие.

Свойства, которыми обладают термометрические вещества:

- 1) объемное расширение;
- 2) изменения давления в замкнутом объеме;
- 3) изменение электрического сопротивления;
- 4) возникновение термоэлектродвижущей силы;
- 5) интенсивность излучения.

В настоящее время для измерения нагретости тела применяются следующие температурные шкалы: Цельсия, Кельвина, Фаренгейта (рис. 9). Используется формула связи для различных измерений температуры

$$t, ^\circ\text{C} = T, \text{K} - 273,15 = 0,556(n^\circ\text{F} - 32). \quad (4.1)$$

Шкала Цельсия и Кельвина разделена на 100 единиц между реперными точками, а шкала Фаренгейта на 180 частей. Например,  $0^\circ\text{C} = 273,15\text{K} = 32^\circ\text{F}$ ;  $36,6^\circ\text{C} = 369,75\text{K} = 97,83^\circ\text{F}$ ;  $100^\circ\text{C} = 373,15\text{K} = 212^\circ\text{F}$ .

**Реперные точки** - температуры, характеризующие переходные состояния веществ из твердого в жидкое, из жидкого в газообразное состояние. Например,  $t$  таяние льда  $0^\circ\text{C}$ ,  $t$  кипения воды  $100^\circ\text{C}$ .

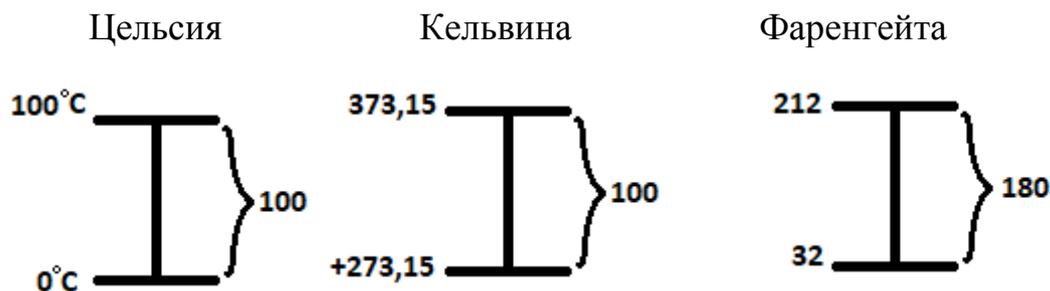


Рис. 9. Температурные шкалы

Существует 2 метода измерения температуры:

- 1) **контактный** – при которой термометрическое вещество термометра, соприкасаясь с измеряемой средой, приобретает температуру, равную измеряемой;

2) **бесконтактный** – при котором тела, нагретые свыше  $300^{\circ}\text{C}$  излучают тепло. По величине теплового излучения можно судить о температуре излучателя.

С 1927 г. по 1948 г. строилось несколько международных шкал с помощью газового термометра. С развитием науки и промышленного производства появилась потребность в расширении диапазона измеряемых температур, в повышении точности измерения температуры. Исходя из этого в 1968 г. была принята шкала МПТШ (международная практическая температурная шкала).

Приборы для измерения температуры в зависимости от свойств термометрического вещества, классифицируются на:

- 1) **термометры расширения** (диапазон  $-190^{\circ}\text{C} \div 650^{\circ}\text{C}$ );
- 2) **манометрические термометры** (диапазон  $-160^{\circ}\text{C} \div 600^{\circ}\text{C}$ );
- 3) **термометры сопротивления** (диапазон  $-200^{\circ}\text{C} \div 650^{\circ}\text{C}$ );
- 4) **термоэлектрические термометры** ( $50^{\circ}\text{C} \div 1800^{\circ}\text{C}$ );
- 5) **пирометры** (диапазон  $+300^{\circ}\text{C} \div 6000^{\circ}\text{C}$ ).

#### **4.1. Термометры расширения. Манометрические термометры**

Принцип действия термометра расширения основан на использовании свойств тел при увеличении температуры увеличивать свой объем.

К термометрам расширения относят **жидкостные и дилатометрические термометры**.

**Жидкостные термометры** состоят из стеклянного корпуса, шкалы капилляра и баллона с ртутью. Пределы измерения у этих термометров от  $-40^{\circ}\text{C}$  (температура замерзания ртути) до  $+500^{\circ}\text{C} \div 550^{\circ}\text{C}$  (температура плавления стекла). Промышленностью выпускаются 12 типов ртутных стеклянных термометров, которые отличаются друг от друга диапазонами измерения, ценой деления (достигает  $0,01^{\circ}\text{C}$ ), конструкцией (прямой, угловой). Выпускаются и спиральные типы термометров – **электроконтактные**, у которых столбцы ртути по достижению определенной температуры замыкают электрические контакты, при этом осуществляется звуковая или световая сигнализация и срабатывает автоматика.

##### **Достоинства ртутных термометров:**

1. Большой диапазон измерений;
2. Несмачиваемость стекла;
3. Легкость получения чистой ртути;
4. Легкость снятия показаний.

##### **Недостатки ртутных термометров:**

1. Хрупкость;
2. Большая инерционность;
3. Невозможность дистанционной передачи.

Действие **дилатометрических термометров** их основано на относительном удлинении 2-х твердых тел, имеющих различные температурные коэффи-

циента местного удлинения. Чаще всего применяются не как самостоятельные приборы, а как чувствительные элементы в сигнализаторах температуры.

Принципиальная схема пластинчатого термометра представлена на рис. 10.

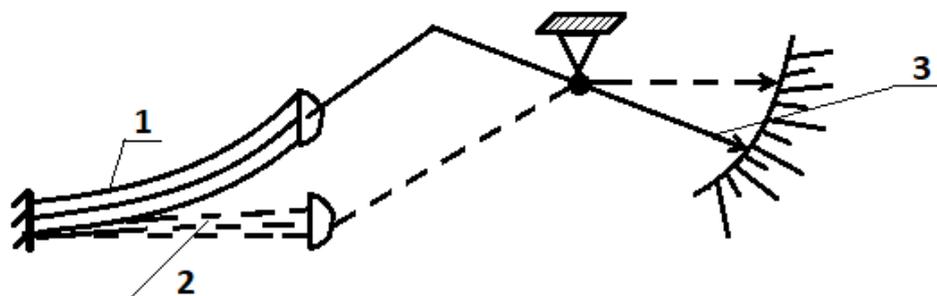


Рис. 10. Схема действия пластинчатого термометра:

- 1 – пластина, состоящая из спая 2-х разнородных материалов с различными температурными коэффициентами линейного расширения;
- 2 – положение то же пластины после нагрева;
- 3 – стрелка со шкалой

Пластинчатые термометры получили применение в сигнализаторах температур

Принципиальная схема стержневого термометра представлена на рис. 11.

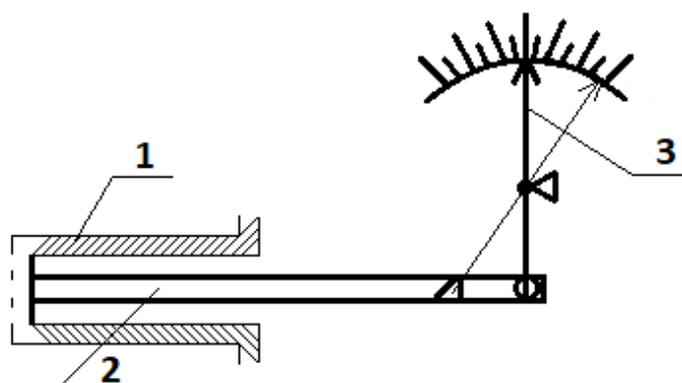


Рис. 11. Схема действия стержневого термометра:

- 1 – трубка, помещенная в измерительную среду, изготовленная из материала с большим коэффициентом линейного расширения;
- 2 – стержень с малым коэффициентом линейного расширения, приваренный торцом к наружному стержню;
- 3 – рычаг

При изменении температуры среды трубка изменяет свою длину, что приводит к перемещению в ней стержня, сохраняющего почти постоянные размеры и связанного со стрелкой. Применение нашли в сигнализаторах температуры.

Принципиальная схема манометрического термометра представлена на рис. 12.

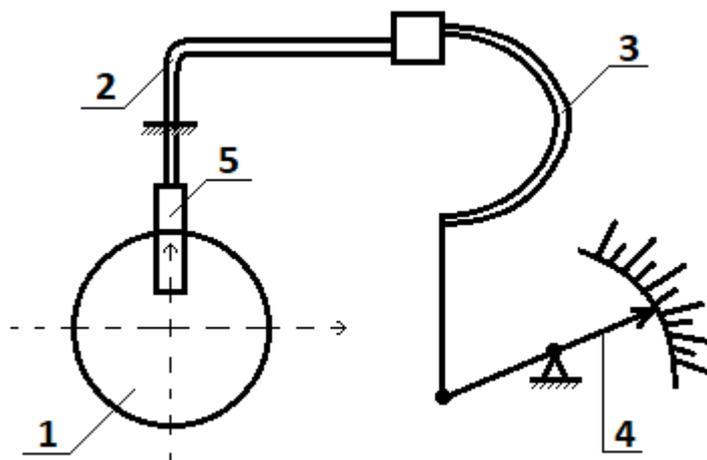


Рис. 12. Схема действия манометрического термометра:  
1 – труба или бак, в котором измеряется температура; 2 – капилляр, герметично связанной с термобаллоном и полый манометрической пружиной; 3 – полая манометрическая пружина; 4 – стрелка показывающего прибора; 5 – термобаллон

Действие их основано на изменении давления жидкости, газа, пара с жидкостью в замкнутом герметичном объеме при нагреве. В зависимости от наполнителя они называются газовыми, *жидкостными* или *конденсационными*. Все они выполняются по одной и той же конструктивной схеме.

В зависимости от заполнителя у манометрических термометров есть отличия:

1) у газовых термобаллон 5 заполнение азотом ( $N_2$ ). Эти термометры имеют равномерную шкалу и длину капилляра от 1,6 м до 20 м, диаметр термобаллона 25мм, длина 125÷630мм. Промышленность выпускает показывающие газовые манометрические термометры типа ТПГ и самопишущие типа ТГС;

2) у жидкостных термобаллон заполняется органическими полиметилсилоксановыми жидкостями. Длина капилляра не более 10 м, так как температурная погрешность намного больше, чем у газовых;

3) у конденсационных термобаллон на 2/3 заполняется низкокипящими органическими жидкостями (ацетон, фреон, хлористый метил), остальная часть баллона заполнена образующими из нее насыщенным паром. Имеет узкий диапазон показаний и неравномерную шкалу в следствие нелинейной зависимости давления насыщенного пара от его температуры.

*Достоинства манометрических по отношению к ртутным:*

- 1) автоматическая запись показаний;
- 2) большая механическая прочность;

3) возможность установки прибора на некотором расстоянии из-за капилляра.

*Недостатки манометрических по отношению к ртутным:*

- 1) невысокая точность измерений;
- 2) большая инерционность из-за размеров термобаллона;
- 3) трудность ремонта при нарушении герметичности системы.

## 4.2. Термопары. Основы теории термопар

Их действие основано на термоэлектрическом эффекте, открытом в 18 веке. Эффект заключается в том, что в спаяе из 2-х разнородных проводников (рис. 13), при нагревании одного из концов наблюдается свободное движение электронов, то есть образуется электродвижущая сила (ЭДС).

Величина этой ЭДС зависит от материала спая и от разности температур их концов.

Экспериментальная зависимость термо-ЭДС от материалов спая и температуры нагрева рабочего конца при температуре свободного конца  $0^{\circ}\text{C}$  называется *градуировочной характеристикой*.

На её основании составляются градуировочные таблицы и графики для практического пользования.

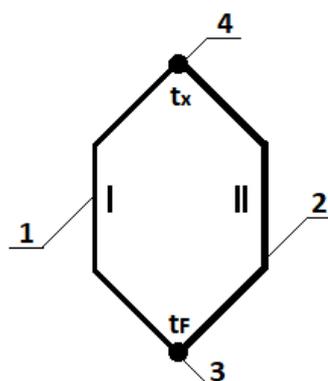


Рис. 13. Структура термопары:

1 – электропроводник из одного материала; 2 – электропроводник из другого материала; 3 – нагреваемый спай проводников; 4 – спай проводников при температуре окружающей среды

Если разорвать верхний спай 4 и подключить миллиамперметр, то он покажет величину термо-ЭДС. Обычно амперметры градуируются в  $^{\circ}\text{C}$ .

Комплект измерений (рис. 14) с помощью термопары собирается по следующей схеме:

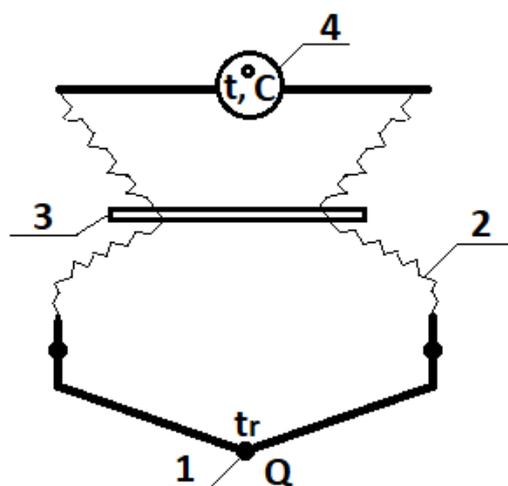


Рис. 14. Комплект измерений при помощи термопары:  
 1 – спай термоэлектродов; 2 – провода, соединяющие термоэлектроды с показывающим прибором; 3 – сосуд Дьюара с тающим льдом, где поддерживается  $t=0^{\circ}\text{C}$ ; 4 – показывающий прибор

В качестве показывающего прибора принимают:

- полуавтоматический потенциометр ПП-63;
- автоматические самописцы КСП-2, КСП-3;
- автоматические шестипозиционные КВП и др.

В технике трудно пользоваться только спаями различных проводников, поэтому сконструировано специальное устройство – **термопара**, которая состоит из:

1) **термоэлектродов**, то есть спаев 2-х разнородных проводников, которые отличаются своей градуировочной характеристикой и бывают:

– **платинородий- платиновый**. Градуировочная характеристика ТПП, пределы измерений  $0^{\circ}\text{C} \div 1300^{\circ}\text{C}$  развиваемые линии ЭДС  $E=1.04$  мВ на каждые  $100^{\circ}\text{C}$ ;

– **платинородиевый**. Градуировочная характеристика ТПР предел измерений -  $300^{\circ}\text{C} \div 1600^{\circ}\text{C}$ ,  $E=0,9$  мВ на каждые  $100^{\circ}\text{C}$ ;

– **хромель – алюмелевый**. ТХА,  $-200^{\circ}\text{C} \div 1000^{\circ}\text{C}$ ,  $E=4,03$  мВ;

– **хромель-копелевый**. ТХК,  $-200^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}$ ,  $E=8,3$  мВ.

2) **замкнутого чехла** из сплава алунд ( $99\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 1\% \text{TiO}_2$ ). Такой чехол выдерживает  $t$  до  $1300^{\circ}\text{C} \div 1500^{\circ}\text{C}$ . Иногда чехлы выполняют из нержавеющей стали (до  $t=1300^{\circ}\text{C}$ ). В целях экономии нержавеющей стали верх той части чехла выполняют из обычной стали.

3) **изоляции**.

Для того, чтобы электроды не соприкасались между собой и с чехлом на каждый проводник надевается фарфоровая изоляция из бус. В качестве вторичных приборов применяются магнитоэлектрические милливольтметры и потенциометры.

### 4.3. Термометры сопротивления. Мостовые измерительные схемы. Пирометры

#### 4.3.1. Термометры сопротивления

Принцип действия термометров сопротивления основан на том, что в однородном металлическом проводнике при его нагревании или охлаждении меняется сопротивление (Броуновское движение).

Эти изменения покажет вторичный прибор, проградуированный в  $^{\circ}\text{C}$ .

Термометры сопротивления по внешнему виду очень наполняют термопары, но в то же время имеют 2 отличия:

1) термоэлектрод у термометров сопротивления состоит из однородного металлического проводника, согнутого вдвое.

2) для измерения температуры в цепь термометра нужно включать постоянный источник тока, чего не требуется у термопар.

Измерительный комплект (прибор) собирается по следующей схеме (рис. 15):

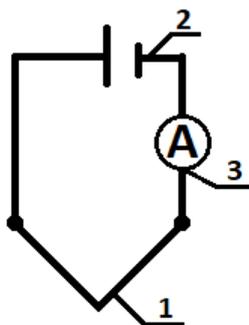


Рис. 15. Измерительный комплект термометра сопротивления:

1 – термометр сопротивления из однородного проводника; 2 – источник тока; 3 – вторичный показывающий прибор, проградуированный в  $^{\circ}\text{C}$

В качестве вторичных приборов применяется уравновешенные и неуравновешенные мосты, магнитоэлектрические логометры.

*Достоинства термометров сопротивления:*

- 1) простота;
- 2) высокая точность измерений;
- 3) возможность получения шкал на различный диапазон измерений;
- 4) удобство передачи информации на расстоянии.

*Недостатки термометров сопротивления* заключаются в потребности в постоянном источнике тока в цепи.

Промышленность выпускает:

- ТСП -1(платиновые, класс точности 1 от  $-200^{\circ}\text{C}$  ÷  $+650^{\circ}\text{C}$ );
- ТСП-2 (платиновые, класс точности 2 от  $-200^{\circ}\text{C}$  ÷  $+650^{\circ}\text{C}$ );
- ТСМ-3(медные, класс точности 3 от  $-200^{\circ}\text{C}$  ÷  $+180^{\circ}\text{C}$ );

–ТСМ-4(медные, класс точности 4 от  $-200^{\circ}\text{C} \div +180^{\circ}\text{C}$ ).

Измерение температуры с помощью термометра сопротивления и уравновешенного моста представлено на рис. 16.

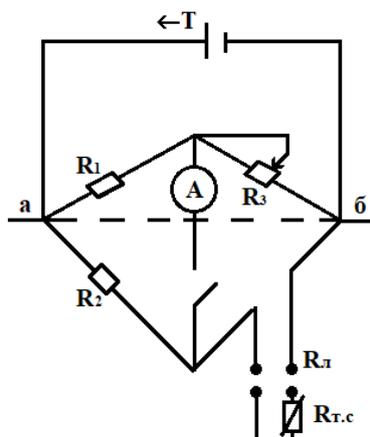


Рис. 16. Схема уравновешенного моста:

$R_1$  и  $R_2$  – имеют постоянные и точно известные сопротивления;

$R_3$  – состоит из реохорда (изменяет положение);

$R_{\text{линий}} + R_{\text{сопротивления термометра}}$  – четвертое сопротивление

Условия равновесия моста:  $R_1 + R_3 = R_2 + R_{\text{л}} + R_{\text{т.с}}$ .

После нагрева термометра сопротивления сопротивление в нем увеличивается, и равенство нарушается, то есть  $R_1 + R_3 \neq R_2 + R_{\text{л}} + R_{\text{т.с}}$ .

При измерении  $t$  перемещают движок по реохорду  $R_3$ , приводят мост в состояние равновесие, при котором ток в вертикальной линии будет равен 0.

Стрелка показывающего прибора переместится и покажет  $t$  измеряемой среды.

### 4.3.2. Пирометры

Действие их основано на зависимости теплового излучения нагретых тел от их температуры и их физико-химических свойств.

В отличие от других термометров первичный преобразователь пирометров находится вне измеряемой среды и может измерять любые  $t$  от  $+300^{\circ}\text{C}$  (когда нагретые тела начинают излучать тепло) до  $+6000^{\circ}\text{C}$ .

Различают 2 вида теплового излучения:

1) **частичное излучение** (яркость), т.е. монохроматическое. Это излучение возрастает при увеличении температуры и находится в видимой части спектра с длиной волн от 0,4 до 0,76 микронметра (мкм);

2) **суммарное излучение** (радиация) зависит от  $t$  и физико-химических свойств нагретых тел.

Наибольшей способностью поглощать или излучать обладают *абсолютно черные тела*. Абсолютно черных тел в природе не существует – это теоретическое понятие. По своим свойствам к абсолютно черным телам приближается замкнутый объем, внутри которого происходит нагревание (например, топка котлов или печей). Если наблюдать принцип горения в топке через отверстия с помощью пирометра, то он покажет температуру горения в топке. Пирометры в зависимости от применяемого излучения бывают *частичного и суммарного излучения* (рис. 17 и 18).

### ***Пирометры частичного излучения***

К ним относятся оптические визуальные пирометры (рис. 17) с исчезающей нитью. Принцип действия основан на сравнении яркости излучателя, яркости накала нити пирометрической лампы.

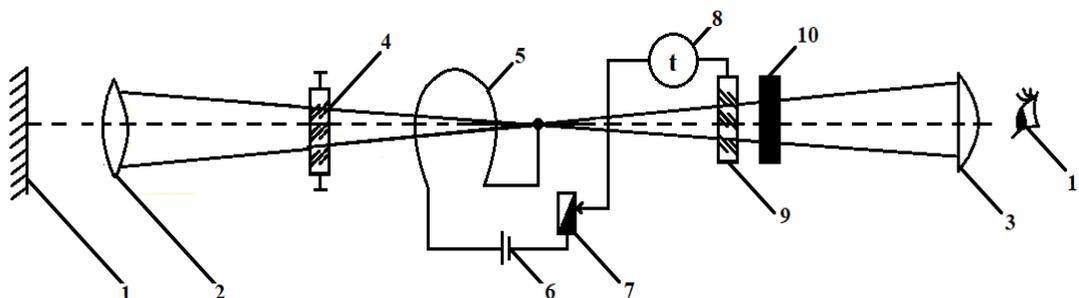


Рис. 17. Схема пирометра частичного излучения:

- 1 – излучатель; 2 – объектив на расстоянии 1-0,5 м; 3 – окуляр;
- 4 – темный перемещающийся светофильтр; 5 – нить накала специальной пирометрической лампы; 6 – источник постоянного тока;
- 7 – регулятор сопротивления; 8 – прибор, показывающий температуру излучателя; 9 – красный светофильтр; 10 – диафрагма (регулируемое отверстие); 11 – глаз наблюдателя

Наблюдатель через окуляр наблюдает за излучением. В поле излучателя ему будет всегда видна нить накала лампы 5. Если яркость нити будет меньше, то контур нити будет темнее; больше – светлым, а если исчезнет, то яркости излучателя и нити будут равны. Совпадения яркости добиваются с помощью регулятора 7. В этот момент прибор покажет температуру излучателя.

## Пирометры полного излучения

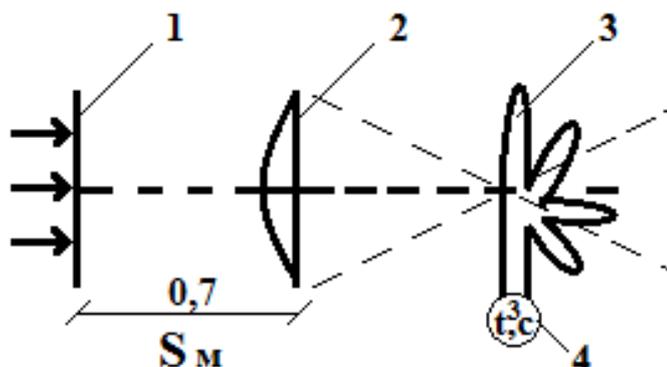


Рис. 18. Схема пирометра суммарного излучения:  
1 – излучатель; 2 – объектив; 3 – несколько последовательных включений термопар; 4 – прибор, который показывает  $t$  излучателя

На объектив через малое отверстие направляется световой и тепловой поток, который в объективе концентрируется в фокус, в котором расположены несколько последовательно соединенных термопар, в них наводятся линии ЭДС, в зависимости от измеряемой температуры, что и показывает прибор 4.

### Контрольные вопросы

1. Что называется температурой?
2. Что называется термометрическим веществом?
3. Какие существуют методы измерения температуры?
4. Свойства термометрических веществ.
5. Какие точки называются реперными?
6. Классификация термометров.
7. Термоэлектрический эффект.
8. Устройство термопары. Принцип действия.
9. Комплект термопары.
10. В каких приборах применяют термопары?
11. Что такое градуировочная характеристика?
12. Устройство термопары (термоэлектрод, защитных чехол, изоляция);
13. Какие бывают термоэлектроды (сплавы)?
14. Принцип действия термометров расширения.
15. Какие бывают термометры расширения?
16. Какие вещества используются в качестве термометрического тела?
17. Как устроены жидкостные и ртутные термометры?
18. Достоинства ртутного термометра.
19. Недостатки ртутного термометра.

20. Поправки к показателям ртутных термометров.

21. Устройства и принципы действия дилатометрических термометров (пластинчатый, стержневой).

22. Манометрический термометр (какие бывают, принцип действия; особенности в зависимости от заполнителя).

23. Достоинства и недостатки (манометрический термометр по отношению к ртутным).

## 5. ПОНЯТИЕ О ДАВЛЕНИИ. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ

Существуют следующие виды давлений.

### 1. *Атмосферное.*

Зависит от положения местности над уровнем моря и от воздушного столба (т.е. погоды). Обозначается  $P_{ат}$  и измеряется барометрами.

В технике при расчетах принимается среднее значение атмосферного давления  $735,6 \text{ мм.рт.ст.} = 1 \text{ ат.}$

### 1. *Избыточное.*

Это давление внутри замкнутого сосуда или трубы, которое создается каким-либо нагнетательным аппаратом. Обозначается  $P_{изб}$  (ат, атм), т.е. превышение давления среды над атмосферным. Измеряется жидкостными и дифманометрами избыточного давления.

### 2. *Вакуумметрическое (разрежение).*

Давление недостающее до атмосферного. В расчетах подставляется со знаком « - » (по абсолютному значению не превышает 1 атм). Обозначается  $P_{в}$  (ат). Измеряется вакуумметрами.

### 3. *Абсолютное.*

Складывается из избыточного и атмосферного давлений по формулам

$$P_a = P_{ат} + P_{изб}, (ата) \quad (5.1)$$

$$P_a = P_{ат} - P_{в}, (ата) \quad (5.2)$$

Измеряется манометрами абсолютного давления.

### 4. *Статическое.*

Это давление столба покоящейся жидкости. Например: в бак высотой 9 м залита вода до 6 м. при этом давление на дно 6 м.вод.ст (0,6 ат). Обозначается  $P_c$ . Измеряется манометрами избыточного давления.

### 5. *Динамическое.*

Оказывает движущийся поток на стенки трубы. Измеряется трубками Питто. Вычисляется по формуле

$$P_g = \frac{\vartheta^2 \rho}{2g}, ат \quad (5.3)$$

где  $\vartheta$  – скорость потока;  $\rho$  – плотность потока;  $g$  – ускорение свободного падения.

6. **Полное.**

Складывается из статистического и динамического по формуле

$$P_n = P_c + P_g, \text{ ат} \quad (5.4)$$

Соотношение единиц давления:

$$1 \text{ Па} = 10^{-5} \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 0,0075 \text{ мм. рт. ст.}$$

$$1 \text{ атм} = 1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 10 \text{ м. вод. ст.} = 10\,000 \text{ мм. вод. ст.} = 10\,000 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 735,6 \text{ мм. рт. ст.}$$

$$1 \text{ мм.рт.ст.} = 133,3 \text{ Па}$$

$$1 \text{ мм.вод.ст} = 10 \text{ Па}$$

**Классификация приборов для измерения давления:**

1. *Манометры* (избыточного, абсолютного давления);
2. *Вакуумметры*;
3. *Барометры*;
4. *Тягомеры и напоромеры* (для измерения небольшого вакуумметрического и избыточного  $P$ );
5. *Дифференциальные манометры* (дифманометры) – для измерения разности 2-х давлений (применяется для измерения расхода вещества). Давление в основном измеряется деформационными манометрами.

### 5.1. Жидкостные манометры

Для этих приборов величиной, характеризующей давление, служит видимая высота столба (уровень) уравнивающей жидкости. В качестве нее используется ртуть, дистиллированная вода, этиловый спирт, бромформ ( $\text{CHBr}_3$ ).

**К жидкостным манометрам относятся:**

1. Двухтрубные U – образные манометры (рис. 19);
2. Однотрубные чашечные (рис. 20);
3. Поплавковые манометры (рис. 21);
4. Микроманометр с постоянным углом наклона трубки (рис. 22);
5. Микроманометр с переменным углом наклона трубки (рис. 24);
6. Колокольные манометры;
7. Кольцевые жидкостные манометры.

## Двухтрубные U –образные манометры

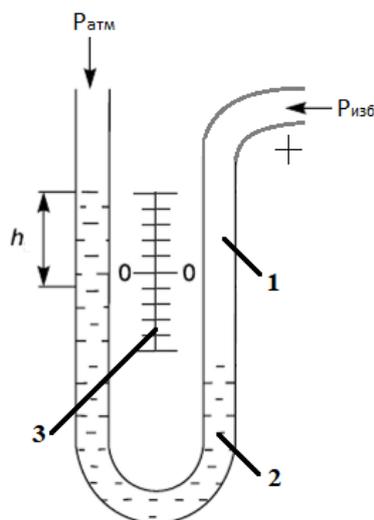


Рис. 19. Двухтрубный манометр:

- 1 – стеклянная изогнутая трубка радиусом 6-8 мм небольшой высоты;
- 2 – жидкость-заполнитель (этиловый спирт, H<sub>2</sub>O, бромформ, ртуть);
- 3 – шкала

Если манометр со стороны «+» соединить с воздухопроводом, газопроводом, то он покажет избыточное давление этих сред. Если манометр со стороны «-» соединить с газоходом котла, то он покажет разрежение.

Если манометр «+» и «-» соединить с двумя различными давлениями, то он покажет разницу этих давлений, в этом случае он будет называться дифференциальным манометром. Давление определяется формулой

$$P = \rho gh . \quad (5.5)$$

Если в манометре H<sub>2</sub>O, то с достаточной точностью давление приблизительно будет равно высоте столба жидкости:  $P = h \text{ мм.вод.ст.}$

Эти манометры применяются для определения небольших (низких) давлений газа или воздуха. Небольших т.к. чем больше давление, тем больше высота стеклянных трубок нужна, например, для  $P = 0,3; 0,5; 1 \text{ атм}$  нужны трубки  $H = 3; 5; 10 \text{ м}$ . Поэтому, в практике применяются манометры 300 и 500 мм. Там, где жидкостные U –образные манометры, там низкое давление.

## Однотрубные чашечные манометры

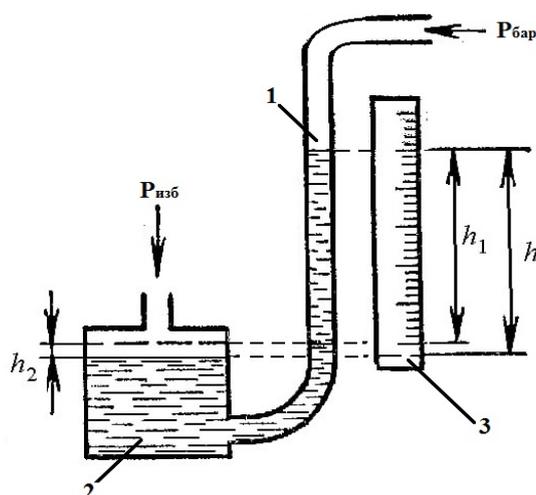


Рис. 20. Однотрубные чашечные манометры:  
1 – стеклянная трубка; 2 – чаша, площадь сечения которой больше в 400-500 раз  
F сечения трубки; 3 – шкала

$$h = h_1 + h_2 \quad (h_2 \text{ очень мало}). \quad (5.6)$$

Избыточное давление определяется по формуле

$$P_{\text{изб}} = \rho g h_1, \quad (5.7)$$

где  $h_1$  – высота, на которую поднимается жидкость в стеклянной трубке 1. Если в трубке вода или спирт, то  $P = h_1$ . Заполнители те же, что и у U-образных, подключение такое же.

## Поплавковые дифференциальные манометры

Поплавковые дифманометры с ртутным заполнением пред назначены для измерения: расхода жидкости, газа и пара по перепаду давления в сужающем устройстве; перепада давления жидкости и газообразных сред; уровня жидкости, находящейся под атмосферным, вакуумметрическим или избыточным давлением. Недостаток заключается в том, что сложно герметизировать узел выхода стока из чаши. В поплавковом дифманометре рабочая жидкость под действием измеряемого перепада давления поднимается на некоторую высоту в сменном сосуде, а в плюсовом же сосуде опускается на некоторую высоту. При этом разность уровней, получаемая от измеряемого перепада давления, определится как сумма перепадов.

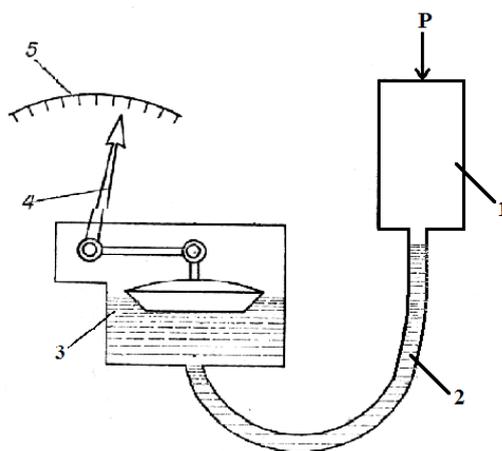


Рис. 21. Поплавковый дифференциальный манометр:  
 1 – металлический компенсирующий сосуд; 2 – жидкость; 3 – широкий сосуд чаша; 4 – поплавок, от которого отходит шток, связанный со стрелкой, показывающего прибора; 5 – стрелка со шкалой

***Микроманометр с постоянным углом наклона трубки***

Для более точного измерения малых давлений и разрежений (до 25 мм.вод.ст) трубку одночашечного манометра располагают вертикально, а наклоняют под малым углом к горизонту, при этом отсчет миллиметров водного столба производится не по вертикали, а по наклонной, т.е. по гипотенузе, которая значительно длиннее, чем вертикаль.

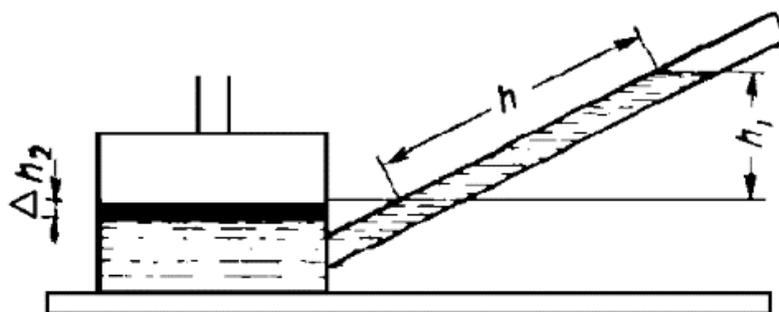


Рис. 22. Микроманометр с постоянным углом наклона трубки

Этот принцип используется в **тягомерах**, где надо точно измерять разрежение в топках котлов, не превышающих 4-5 мм. Применяется для определения тяги в топках котлов.

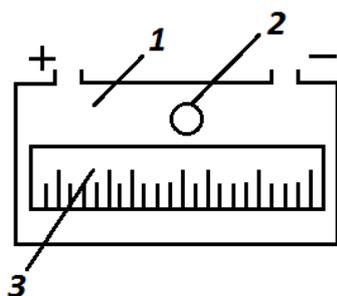


Рис. 23. Тягонапоромер ТНЖ:  
1 – корпус; 2 – уровень установки корпуса прибора в горизонтальном положении; 3 – шкала до 25 мм вод.ст.

### **Микроманометр с переменным углом наклона трубки**

Применяется для точных лабораторных измерений. Трубка может устанавливаться под некоторыми заранее назначенными углами. Прибор смонтирован на столике с двумя уровнями.

Величина измеряемого давления (разряжения) определяется формулой

$$P = 0,001l \rho \sin \alpha, \text{ Па} \quad (5.8)$$

где  $l$  – длина столба жидкости, мм;  $\alpha$  – угол наклона трубки.

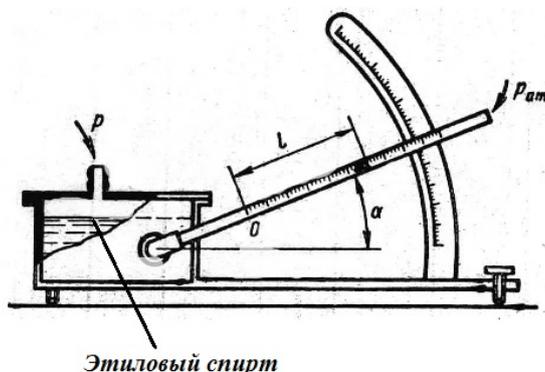


Рис. 24. Манометр с переменным углом наклона трубки (Тип ММН-240)

Диапазон показаний в зависимости от угла наклона трубки составляет: 600,900,1200,1800,2400 Па .....(60,90,120,180,240 мм.вод.ст.)

## **5.2. Деформационные манометры. Грузопоршневые манометры**

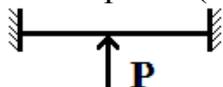
Принцип действия приборов основан на том, что под действием давления упругий чувствительный элемент изменяет свое положение или форму. Когда давление снижается, чувствительный элемент должен принять свое первоначальное положение.

Каждый чувствительный элемент должен иметь: *предел упругости* – такое давление, после снятия которого чувствительный элемент принимает свое первоначальное положение без остаточных деформаций.

При давлениях (нагрузках) за пределом упругости чувствительный элемент теряет свои упругие свойства и не принимает первоначальное положение, т.е. у него появляются остаточные деформации (при этом стрелка манометра не возвращается на ноль).

***В качестве чувствительных элементов применяются***

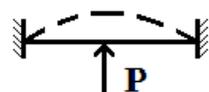
1. Вялые мембраны (из резины, кожи, прорезиненного материала).



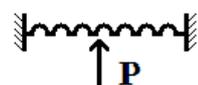
2. Вялые мембраны с жестким центром.



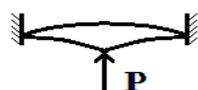
3. Плоские металлические мембраны (хлопушки).



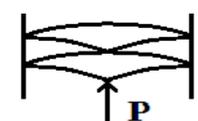
4. Волновые мембраны (из упругих металлов и сплавов).



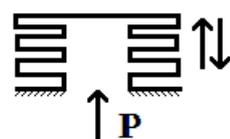
5. Мембранные коробки.



6. Блоки мембранных коробок.



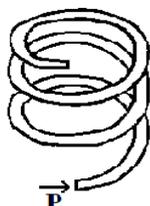
7. Сильфоны.



8. Одновитковые полые пружины.



#### 9. Многовитковые полые пружины.



От конструкции чувствительного элемента, его материала, толщины стенок, радиусов закругления, формы поперечного сечения полых пружин зависит внешний вид. Конструкция, назначение и предела измерения давлений, разряджений или их разница.

Каждый из чувствительных элементов может через передаточный зубчатый механизм перемещать стрелку прибора, перо самописца, либо с преобразователем.

Чувствительные элементы устанавливаются в прибор с таким расчетом, чтобы максимально измеряемое давление этим прибором не превышало  $2/3$  от предела упругости. Например, если предел упругости 9 атм., то максимально измеряемое давление этим прибором может быть не более 6 атм.

#### ***Правила выбора и установки манометров***

При выборе места измерения давления необходимо, чтобы в пространстве, где предполагается измерять давление, отсутствовали возмущения течения жидкости. В ряде установок, где приходится измерять давление или разрежение газоздушных потоков, несущих большое количество взвешенных твердых частиц, необходимо производить отбор импульса в таком месте газохода или трубопровода, где концентрация взвешенных твердых частиц наименьшая. На вертикальных трубопроводах следует предпочитать участки с нисходящим потоком среды, а на их горизонтальных участках наилучшим местом отбора является верхняя часть трубопровода.

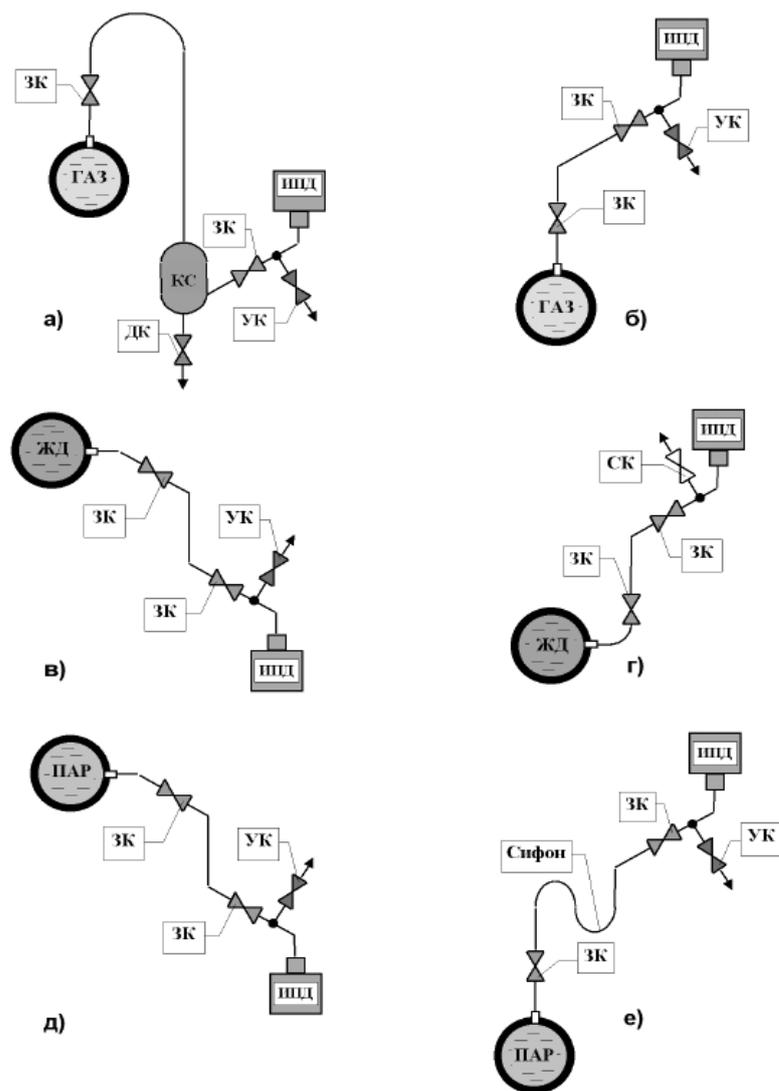


Рис. 25. Схемы установки манометров для измерения давления различных сред: а, в, д – при размещении ниже точки отбора, б, г, е – при размещении выше точки отбора

Манометр подбирается с таким расчетом, чтобы самое большое  $P$ , которые намерены измерить, не превышало  $4/5$  конечного значения шкалы. Манометры в зависимости от давления устанавливаются по следующим схемам (рис. 26).

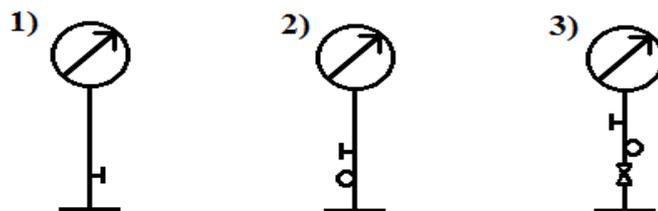


Рис. 26. Схемы установки манометров:

1 – манометр с трехходовым краном при небольших давлениях среды до 3 МПа; 2 – манометр с трехходовым краном и петлей для уменьшения гидравлического удара  $P=3-6$  МПа; 3 – манометр с трехходовым краном, витком из трубы и вентилем для плавной подачи давления  $P>6$  МПа

Манометр может располагаться:

- 1) выше уровня измеряемой среды;
- 2) ниже уровня измеряемой среды.

Например,  $P$  внутри теплосети 3 атм. В первом случае, если манометр установлен на высоте 5 м, то будет показания 2,5 атм., поэтому, для правильности показания к этому значению необходимо прибавить 5 мм.вод.ст. или 0,5 атм., то есть  $2,5 + 0,5 = 3$  атм. Во втором случае манометр установлен ниже на 5 м, следовательно, будет показывать 3,5 атм., т.е.  $3,5 - 0,5 = 3$  атм.

В показания манометра вводятся поправки на все столбы жидкости или газа.

### ***Грузопоршневые манометры***

Являются образцовыми приборами, т.к. обладают высокой чувствительностью и точностью (класс точности 0,02-0,05). Большой диапазон измерений может быть выше 250 МПа.

*Принцип действия основан на уравнивании измеряемого давления среды грузом (рис. 27). По массе груза определяется действующее давление среды.*

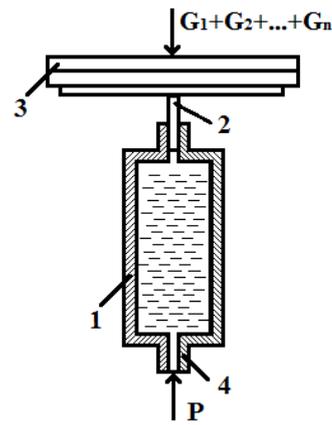
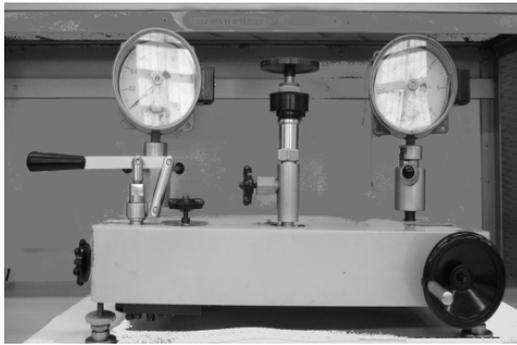


Рис. 27. Грузопоршневой манометр:

- 1 – сосуд, заполненный маслом, сообщающийся с измеренной средой посредством соединительного штуцера 4; 2 – стальной поршень;  
3 – тарелка с грузами

Грузы уравнивают воспринимаемое поршнем  $P$ . Недостаток: влияние на их чувствительность трения поршнями в цилиндре (корпусе). Промышленные выпускают: МП-2,5 атм.; МП-6 атм.; МП-600 атм.; МП-2500 атм.

### Контрольные вопросы

1. Принцип действия деформационного манометра.
2. Что такое предел упругости чувствительного элемента?
3. Можно ли измерять давление превышающее предел упругости чувствительного элемента прибора.
4. Что применяется в качестве чувствительных элементов?
5. Какое давление можно измерить прибором с учетом упругости чувствительного элемента?
6. По скольким схемам устанавливают манометры?
7. Где могут располагаться манометры? Приведите пример.
8. Грузопоршневые манометры.
9. Перечислите виды давления.
10. Из чего состоит полное и абсолютное давление?
11. Соотношение единиц  $1 \text{ ат} = \text{МПа} = \text{м.вод.ст.}$
12. Классификация приборов.
13. Что используют в качестве уравнивающих жидкостей в жидкостных манометрах?
14. Какие манометры относятся к жидкостным?
15. Когда давление в манометре будет равно высоте столба жидкости?
16. Почему U-образным манометром неудобно мерить большие давления?

17. Устройство двухтрубного U – образного манометра.
18. Чем однострунный отличается от двухтрубного манометра?
19. Недостатки поплавкового дифференциального манометра.
20. Зачем трубка у микроманометров расположена под углом?
21. Какое давление (разрежение) измеряют тягомеры? Для чего они применяются?
22. Диапазон показателей микроманометра с наклонной переменной трубкой.

## 6. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВЕЩЕСТВА. РАСХОДОМЕРЫ И СЧЕТЧИКИ

**Количество вещества** – измеряется в м<sup>3</sup>, в кг, в тоннах, когда количество вещества находится в покое, то есть в баке, резервуарах, газгольдере и др.

**Расход вещества** – это количество вещества, проходящее в единицу времени через поперечное сечение трубопровода, канала и т.д.

Выражается в  $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$ ,  $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ ,  $\frac{\text{л}}{\text{с}}$  – объемный расход,

$\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ,  $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ ,  $\frac{\text{т}}{\text{ч}}$  – массовый расход,

$$L = \frac{G}{g}, \quad (6.1)$$

где  $L$  – объемный расход вещества,  $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ ,

$G$  – массовый расход вещества,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ,

$g$  – плотность вещества,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Для измерения расхода вещества применяются следующие методы:

1. Метод переменного перепада давления.
2. Скоростной метод.
3. Объемный метод.
4. Весовой метод.
5. Метод постоянного перепада давления.

### 6.1. Метод переменного перепада давлений

В настоящее время этот метод является основным на производстве для измерения расходов холодной и горячей воды, пара, воздуха и газа (рис. 28).

Измеряя статическое давление  $P$  до сужающего устройства в трубе и после, определяют перепад давления  $\Delta P$ , а по формулам определяют объемный и массовый расходы

$$L = A \times \sqrt{\Delta P}; \quad (6.2)$$

$$G = B \times \sqrt{\Delta P}, \quad (6.3)$$

где  $A, B$  – постоянные, указывающиеся в паспорте на сужающее устройство.

В качестве сужающих устройств применяются:

- **диафрагмы** (рис. 27)

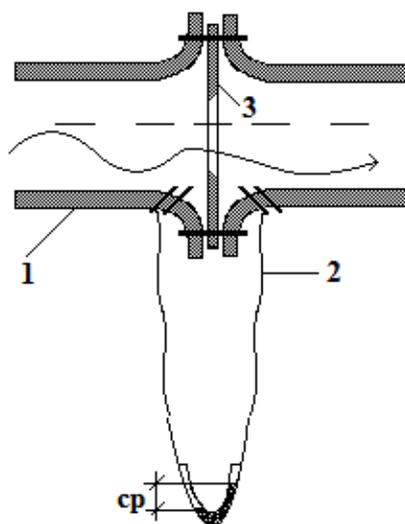


Рис. 28. Измерение расхода при помощи диафрагмы:

- 1 – трубопровод, в котором измеряется расход среды;  
2 – фланцы; 3 – диафрагма (сужающее отверстие) выполнена с высокой точностью по расчету

Изготовление и установка сужающих устройств должны соответствовать правилам, которые оговариваются в нормативной документации РД-50-213-80. Стандартные диафрагмы являются наиболее простым и по конструкции и могут применяться в трубопроводах с диаметром при нормальной температуре  $D_{20} \geq 50$  мм, для которых модуль находится в диапазоне  $0,7 \geq m \geq 0,05$ .

Толщина стандартной диафрагмы обычно составляет 2,5 – 15 мм. Наименьшая необходимая толщина диска диафрагмы при перепаде давления  $\Delta p \geq 16$  кПа должна определяться расчетным путем, исходя из условий механической прочности диафрагмы. Коэффициент расхода, определяемый по положениям, приведенным выше, справедлив только для трубопроводов с достаточно гладкой поверхностью, а для диафрагм необходимо также соблюдение остроты входной кромки отверстия (рис. 29). В противном случае, при измерениях в ис-

ходный коэффициент расхода  $\alpha_0$  вводятся поправки на шероховатость  $k_{ш}$  и притупление входной кромки  $k_{п}$ .

***Условия измерения:***

- характер движения потока измеряемой среды на прямых участках трубопроводов до и после сужающего устройства должен быть турбулентным и стационарным при этом скорость потока не должна превышать критическую;
- при прохождении потока вещества через сужающее устройство фазовое его состояние не должно меняться;
- течение жидкости должно быть бескавитационным;
- на поверхности сужающего устройства не должно образовываться различных отложений, способных изменить его конструктивные размеры;
- во внутренней полости трубопроводов до и после сужающего устройства не должно скапливаться загрязнений;
- давления на входе и выходе сужающего устройства должны соответствовать соотношению  $P_2/P_1 \geq 0,75$  (т.е. потери давления на сужающем устройстве не должны превышать 25%);
- при измерении расхода перегретого пара необходимо пользоваться положениями, касающимися сухого газа;
- допускается определять расход влажного пара как влажного газа, если массовая доля воды в пароводяной смеси не превышает 20%, а отношение плотности пара к плотности жидкости не превышает 0,002.

При измерении расхода с помощью диафрагм может быть использован как угловой, так и фланцевый способ отбора перепада давления, а при использовании различных сопел и труб Вентури – только угловой.

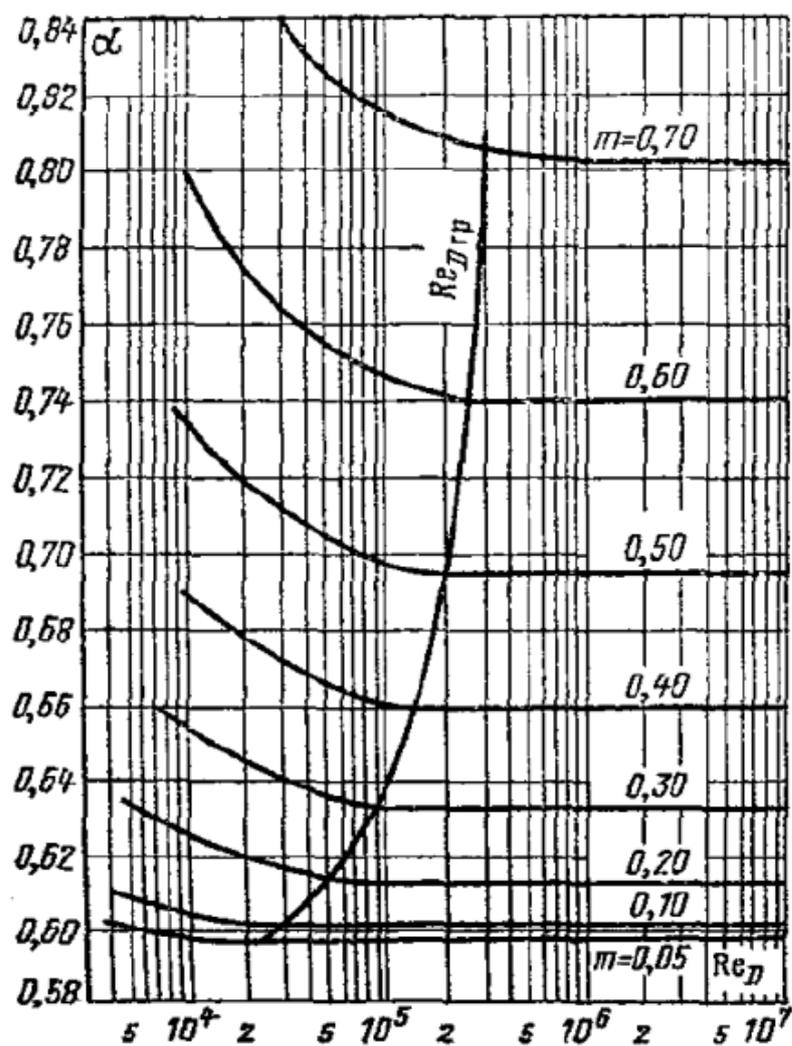


Рис. 29. Зависимость коэффициента расхода стандартных диафрагм от числа  $Re$

- расходомерные сопла (рис. 30)

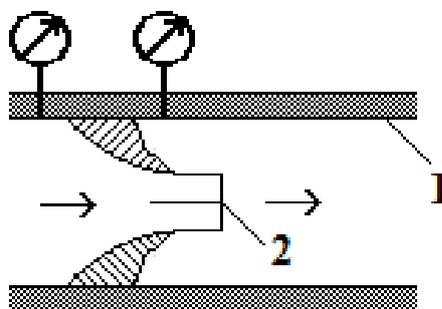


Рис. 30. Расходомерное сопло:  
1 – трубопровод; 2 – сопло

- **сопло *Вентури*** (рис. 31)

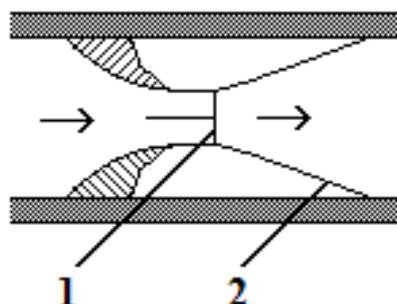


Рис. 31. Устройство сопла Вентури:

1 – сопло; 2 – выходной конус

Конус служит для уменьшения потерь давления. Сопло Вентури – для измерения расхода вещества в трубопроводах  $d > 50$  мм. Чем больше диаметр, тем точнее измерения. Измерение расхода **принципом переменного перепада давления** осуществляется по следующей схеме (рис. 32).

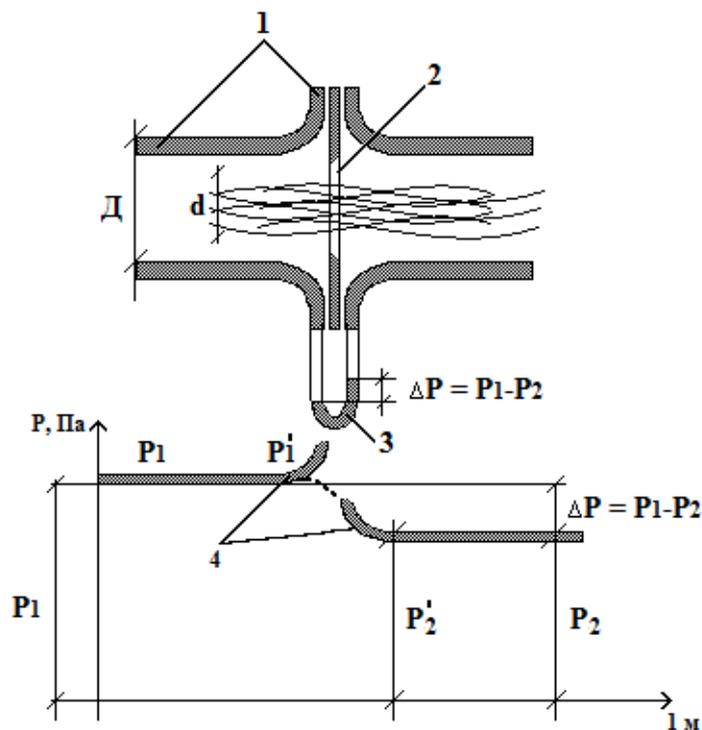


Рис. 32. Схема измерения методом переменного перепада давления

1 – прямолинейные участки трубы; 2 – сужающее устройство;  
 3 – дифференциальный манометр (расходомер) может быть проградуирован в единицах давления или расхода; 4 – график изменения давления в диафрагме;  $P_1$  – давление среды до диафрагмы;  $P_1'$  – увеличение потенциального давления за счет уменьшения скорости потока перед стенками диафрагмы;  $P_2$  – давление потока после диафрагмы;  $P_2'$  – минимальное давление потока там, где больше всего сжатие после диафрагмы;  $\Delta P = P_1 - P_2$  – потери давления

Если поток не движется, то  $\Delta P = 0$ . Чем больше скорость, тем больше  $\Delta P$ .  
 Метод применяется для  $d > 50$  мм для измерения расхода газа в котельной, воздуха, воды, пара.

## 6.2. Скоростной метод

Для измерения этим методом выпускаются следующие приборы:

- а) скоростные счетчики;
- б) напорные трубки;
- в) анемометры.

### Скоростные счетчики

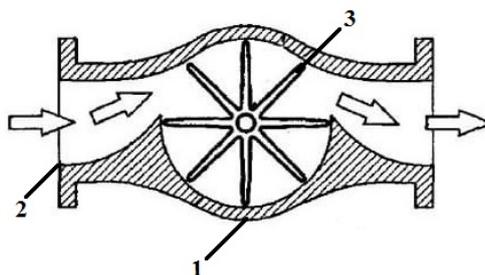


Рис. 33. Скоростной счетчик:

1 – корпус водомера; 2 – тангенциальный подвод воды; 3 – крыльчатка или турбина, которая вращается потоком и соединена через зубчатую передачу с часовым счетным механизмом

Диаметр водомеров может быть 25, 32, 50 мм. Максимальная температура среды не должна превышать  $90^{\circ}\text{C}$ . Максимальный расход  $150 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$ . Чтобы измерять расход горячей воды в индексе водомера должна стоять буква «Г» (например, УВКГ). Расход среды измеряется по формуле

$$l = \vartheta_{\text{ср}} \cdot F, \quad (6.4)$$

где  $F$  – сечение потока.

### Напорные трубки

При помощи этих трубок определяют динамическое давление  $P_g$  потока жидкости или газа. Затем по формулам определяют скорость ( $\vartheta$ ) и расход ( $l$ ) потока:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2g \cdot P_g}{\rho}}, \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad (6.5)$$

$$l = \vartheta \cdot F, \frac{\text{м}^3}{\text{с}} . \quad (6.6)$$

Чаще всего применяются угловые напорные трубки Питто (рис. 34). Диаметр трубки должен составлять 10% от  $d$  трубы.

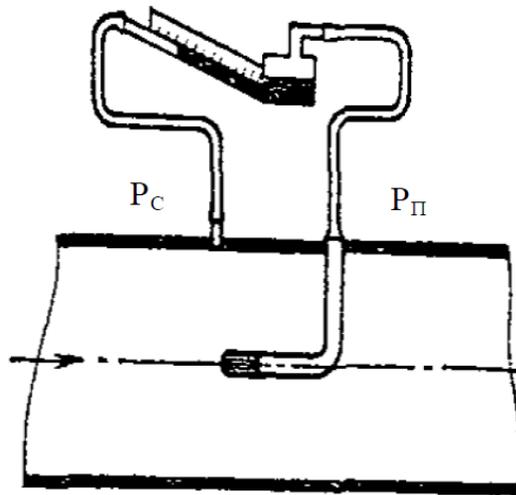


Рис. 34. Трубка Питто

### *Анеометры*

Бывают *крыльчатые и чашечные*. Применяются для измерения малых расходов воздуха на средней скорости движения потока. Прибор помещается в поток воздуха и вертушка прибора начинает вращаться, с вертушкой связан счетный механизм, который отсчитывает число оборотов или  $\vartheta$  потока (рис. 35).

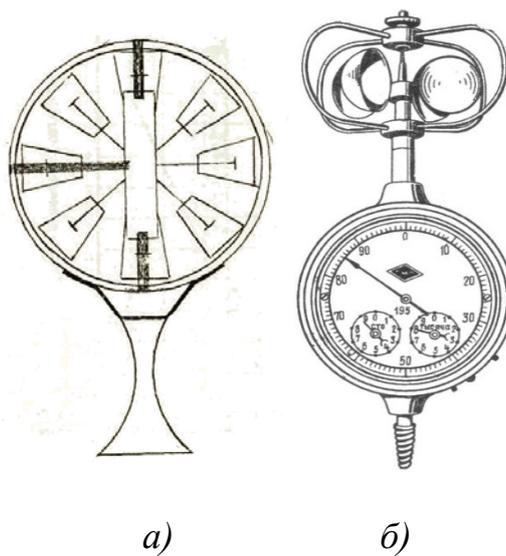


Рис. 35. Анеометры: а) крыльчатый; б) чашечный

Трубу делят на несколько частей и в каждой измеряют  $\vartheta$  потока:

$$\vartheta_{\text{ср}} = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2 + \vartheta_3 + \dots + \vartheta_n}{n}, \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad (6.7)$$

$$l = \vartheta_{\text{ср}} \cdot F = \vartheta_{\text{ср}} \frac{\pi d^2}{4}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (6.8)$$

### 6.3. Объемный метод

Применяемые приборы:

- а) мерные баки;
- б) объемные газовые счетчики (ротационные);
- в) счетчики жидкости с овальными шестернями.

**Ротационные счетчики** (рис. 36)

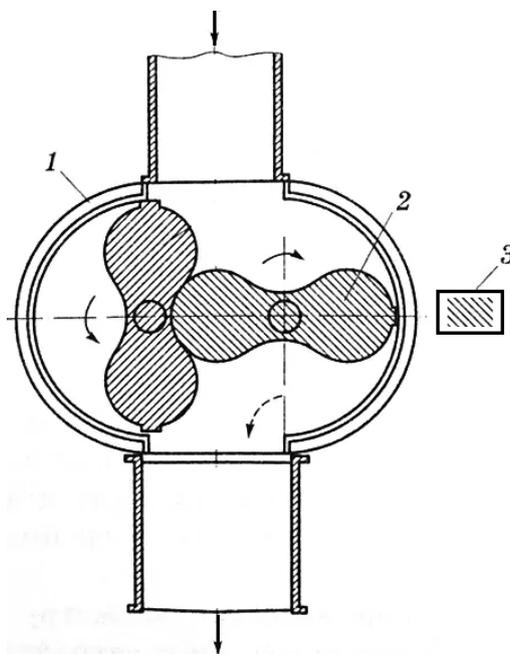


Рис. 36. Ротационный счетчик:

1 – измерительная камера (корпус); 2 – вращающиеся роторы в виде восьмерки; 3 – счетный механизм

Роторы вращаются под давлением движущегося газа. Один из роторов соединен через шестеренки со счетным механизмом. Устанавливаются на вертикальных участках газопроводов. Выпускаются типа: РГ- 25 - 1, РГ- 40 - 1; РГ – 250 -1; РГ – 400 - 1; РГ – 600 -1; РГ -1000 -1 ( $P_{\text{рабочее}} = 1 \text{ атм}$ ).

### Счетчик жидкости с овальными шестернями (рис. 37)

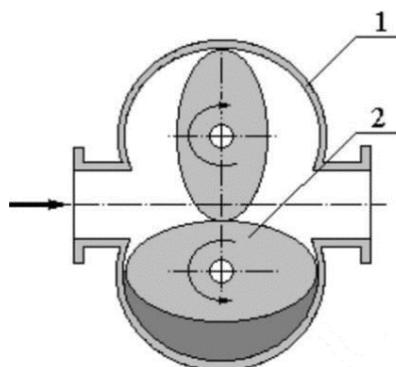


Рис. 37. Овальные шестерни:

1 – измерительная камера; 2 – оральные шестерни

Принцип действия основан на отмеривании объема жидкости, которая находится между стенками камеры и шестернями.

Под действием  $P$  жидкости, зацепленные между собой шестеренки, вращаются. Количество жидкости отсчитывается по числу оборотов одной шестерни, связанный со счетным механизмом.

#### 6.4. Весовой метод

**Взвешивание** – наиболее точный способ измерения количества твердого топлива. Осуществляется при помощи автоматических конвейерных весов. Применяется не часто.

#### 6.5. Метод постоянного перепада давлений

Применяемые приборы: *лабораторные* (рис. 38) и *промышленные* (рис. 39) *ротаметры*.

У промышленных ротаметров поплавков связан с каким-либо преобразователем. Под действием потока среды, поступающей в ротаметр с определенным давлением, поплавок поднимается в потоке вверх. Поднимается тем больше, чем больше расход через ротаметр. При этом увеличивается зазор между поплавком и коническим корпусом ротаметра, а перепад давления в ротаметре из-за этого остается постоянным, поэтому этот метод называется **методом постоянного перепада давления**.

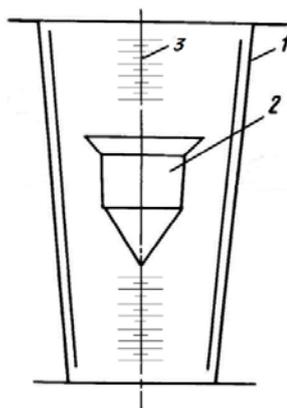


Рис. 38. Поплавковый ротаметр:

1 – конический, стеклянный или металлический (для промышленных) корпус; 2– поплавок свободно перемещающийся цилиндрический (эбонит, нержавейка); 3 – шкала (если прибор не металлический, а стеклянный)

Поршневые и поплавковые ротаметры применяются в промышленности и выполняются по следующим схемам.

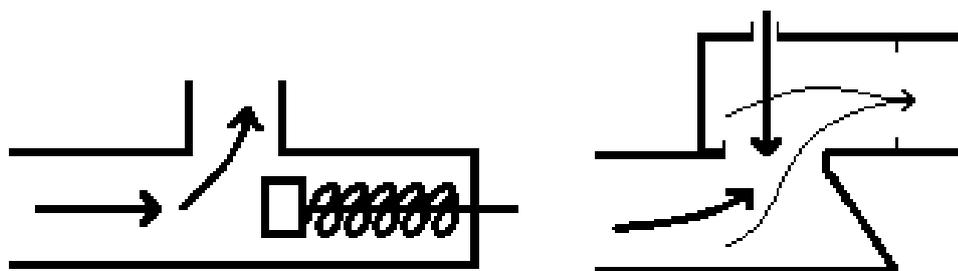


Рис. 39. Поршневой и поплавковый ротаметры

Для того, чтобы сделать градуировку ротаметров, применяемых для жидкостей и газов, используют воду или воздух. Ко всем ротаметрам, которые используются для эксплуатации в промышленных условиях, в инструкциях по эксплуатации должна приводиться методика пересчета показаний ротаметра на измеряемую среду с учетом ее плотности и вязкости.

Так же существует метод Доплера для измерения расхода вещества. Эффект Доплера при ультразвуковом измерении расхода используется следующим образом: излучатель посылает волну с некоторой частотой  $f$  и скоростью  $v$ . Волна отражается от частиц, пузырьков или маленьких вихрей в жидкости, скорость которых равна скорости всего потока. Отраженная волна имеет частоту, отличную от начальной частоты сигнала, разница этих частот пропорциональна разнице скоростей среды и волны. Зная скорость потока, далее можно рассчитать расход.

## Контрольные вопросы

1. Что такое количество вещества?
2. Что такое расход вещества?
3. Как связаны между собой объемный и массовый расходы?
4. Какими методами измеряется расход вещества?
5. Принцип переменного перепада давления?
6. Что применяется в качестве сужающих устройств?
7. Когда точнее измерения: когда диаметр трубы большой или маленький?
8. Как изменяется статическое давление до и после сужающего устройства?
9. Схема переменного перепада давления.
10. Где используется переменный перепад давления?
11. Скоростной метод (какие приборы измеряют расход скоростным методом)?
12. Скоростные счетчики.
13. Напорные трубки.
14. Виды анемометров. Какие расходы измеряют и каким образом?
15. Объемный метод. Приборы.
16. Что и как измеряют ротационными счетчиками?
17. Марки ротационных счетчиков.
18. Счетчик жидкостной с овальными шестернями (принцип действия и схема).
19. Весовой метод.
20. Метод постоянного перепада давления (принцип действия, приборы).
21. Промышленные ротаметры.

## 7. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ

Применяемые уровнемеры:

- а) водоуказательные стекла;
- б) поплавковые уровнемеры;
- в) гидростатические уровнемеры;
- г) радиоизотопные уровнемеры.

Для измерения уровня обычно пользуются *водоуказательными стёклами*. В тех случаях, когда водоуказательными стеклами пользоваться неудобно применяют поплавковые уровнемеры.

*Поплавковые уровнемеры* (рис. 40) применяются для измерения уровня жидкости в резервуарах, находящихся под давлением.

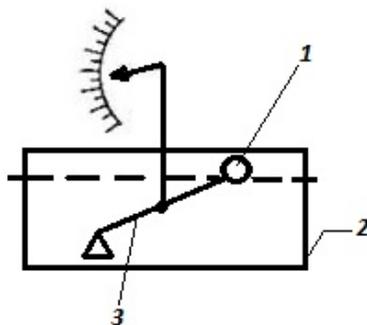


Рис. 40. Поплавковый уровнемер:

1 – полый цилиндрический поплавок; 2 – бак; 3 – рычажный передаточный механизм, соединенный со стрелкой

При изменении уровня меняется положение поплавка, о чем указывает стрелка.

**Гидростатические уровнемеры** (рис. 41) применяются для измерения уровня в открытых и закрытых резервуарах.

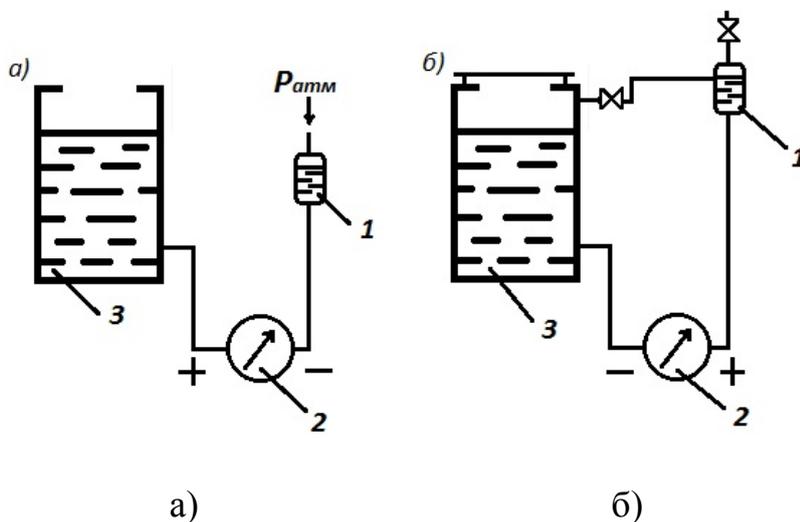


Рис. 41. Гидростатические уровнемеры:

1 – уравнительный сосуд; 2 – дифманометр-уровнемер (может быть сильфонный, механический или мембранный электрический); 3 – резервуар с жидкостью; а) сосуд под  $P_{атм}$ ; б) сосуд под  $P_{изб}$

Уравнительный сосуд имеет  $d_{внутр.} = 90$  мм, высоту 250-330 мм.

Этими гидростатическими уровнемерами измеряют уровень воды в деаэраторах, уровень конденсата в регенеративных подогревателях.

**Радиоизотопные уровнемеры** (рис. 38) применяются в промышленности.

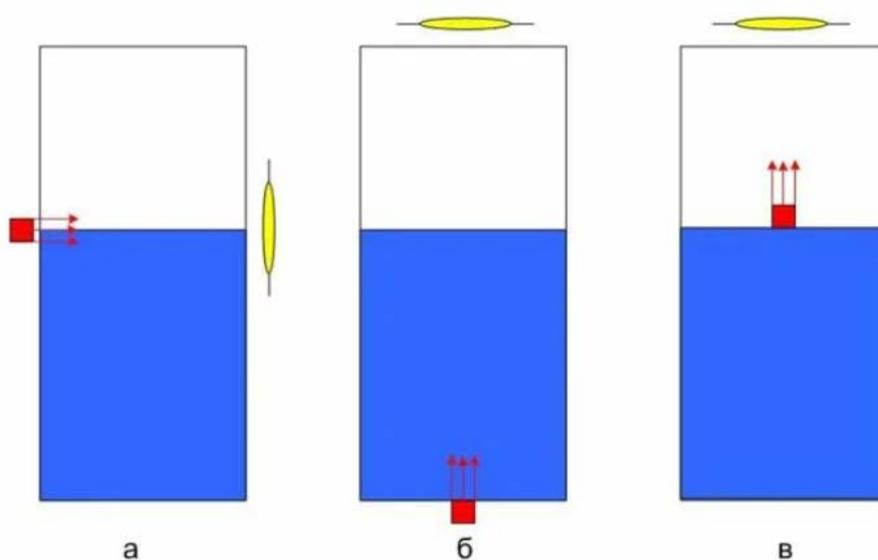


Рис. 42. Радиоизотопные уровнемеры

Возможны три принципиальные схемы радиоизотопных уровнемеров. Схемы *а)* и *б)* применяют в том случае, когда излучатель нельзя поместить в сосуд. Схему *а)* применяют в качестве сигнализатора минимального и максимального уровня. Схему *б)* используют при небольшой высоте столба жидкости (до 1 м). Схему *в)* используют в том случае, когда поплавков можно поместить вовнутрь.

### Контрольные вопросы

1. Какие приборы применяются для измерения уровня жидкости?
2. Чем измеряется уровень воды в барабане котла?
3. Почему применяются более сложные приборы (большая погрешность, водомер, стекла)?
4. Поплавковый уровнемер.
5. Гидростатические уровнемеры (для открытых и закрытых баков).
6. Для чего применяются радиоизотопные уровнемеры?
7. Какие схемы измерений с радиоизотопными уровнемерами применяются?
8. Где затруднено использование указательных стекол, поплавковых уровнемеров?
9. Чем отличаются схемы гидростатических уровнемеров (рис. 41а и рис. 41б)?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предлагаемое учебное пособие освещает теоретический материал по видам и методам измерений, средствам измерений. Поможет студентам магистратуры, обучающимся по направлениям 08.04.01 «Строительство», 21.04.01 «Нефтегазовое дело», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» самостоятельно изучить вопросы проведения теплотехнических измерений и измерений параметров различных транспортируемых сред.

Представленный материал может быть полезен студентам любых специальностей, связанных с измерением параметров движущихся сред.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туяхов, А. И. Практическая метрология и измерения [Текст]: учеб. пособие / А. И. Туяхов. – Донецк: РИА ДонНТУ, 2003. – 308 с.
2. Латышенко, К. П. Метрология и измерительная техника [Текст]: учебно-методическое пособие / К. П. Латышенко. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 209 с.
3. Латышенко, К. П. Технические измерения и приборы. Часть 1 [Текст]: учеб. пособие / К. П. Латышенко. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 480 с.
4. Мартыненко, Г. Н. Основы автоматизации тепловых процессов [Текст]: учеб. пособие. / Г. Н. Мартыненко [и др.] – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2015. – 69 с.
5. Изучение конструкций вентиляторов [Текст]: учебно-методическое пособие / И. А. Хурин [и др.]. – Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. – 92 с.
6. Мухин, О. А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции [Текст]: учеб. пособие / О. А. Мухин. – Минск: Вышэйшая школа, 1986. – 33 с.
7. Кязимов, К. Г. Профессиональное обучение персонала газового хозяйства [Текст]: практическое пособие / К. Г. Кязимов. – Саратов: Вузовское образование, 2018. – 369 с.
8. Автоматизация технологических процессов и инженерных систем: Сборник научных трудов, посвященный 50-летию кафедры «Автоматизация инженерно-строительных технологий» / В. А. Завьялов. – Москва: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2010. – 96 с.
9. Немченко, В. И. Проектирование установки датчиков и средств автоматизации на технологическом оборудовании [Текст]: учеб. пособие / В. И. Немченко, Г. Н. Епифанова, А. Г. Панкратова. – Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. – 57 с.
10. Асеев, О. И. Арматура предохранительная. Выбор, установка и расчет [Электронный ресурс]: Справочное пособие / О. И. Асеев. – Москва: Инфра-Инженерия, 2018. – 208 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Виды и методы измерений. Эталоны средств измерений.....	4
2. Средства измерений.....	5
2.1. Классификация приборов.....	5
2.2. Свойства прибора.....	6
2.3. Погрешность измерений.....	6
3. Назначение дистанционных передач. Измерительные преобразователи.....	8
4. Понятие о температуре. Методы и средства измерения температуры.....	16
4.1. Термометры расширения. Манометрические термометры.....	17
4.2. Термопары. Основы теории термопар.....	20
4.3. Термометры сопротивления. Мостовые измерительные схемы. Пирометры.....	22
4.3.1. Термометры сопротивления.....	22
4.3.2. Пирометры.....	23
5. Понятие о давлении. Классификация измерителей давления.....	26
5.1. Жидкостные манометры.....	27
5.2. Деформационные манометры. Грузопоршневые манометры.....	31
6. Измерение расхода вещества. Расходомеры и счетчики.....	37
6.1. Метод переменного перепада давлений.....	37
6.2. Скоростной метод.....	42
6.3. Объемный метод.....	44
6.4. Весовой метод.....	45
6.5. Метод постоянного перепада давлений.....	45
7. Измерение уровня.....	47
Заключение.....	50
Библиографический список.....	51

Учебное издание

**Мартыненко** Галина Николаевна  
**Муравьев** Анатолий Викторович  
**Коровкина** Алина Игоревна  
**Китаев** Дмитрий Николаевич

## **ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ, СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

Учебное пособие

Редактор Четвертухина Е. А.

Подписано к изданию 03.10.2022.

Объем данных 1,7 Мб.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84