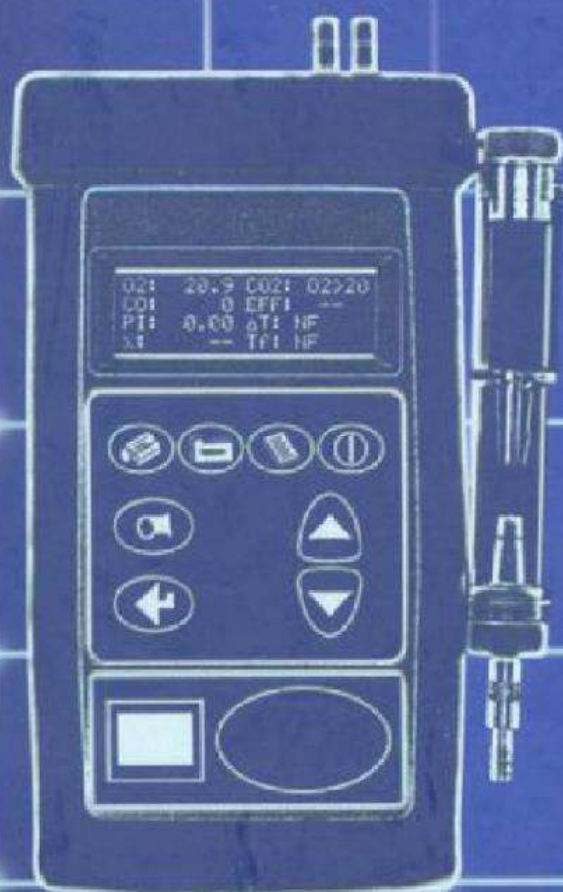


Т.Ф. Гассельбах

# КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬ- НЫЕ ПРИБОРЫ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ



# **Контрольно-измерительные приборы котельного оборудования**

•

**Учебное пособие**

Казань  
2015

**Гассельбах Т. Ф.**

**Контрольно-измерительные приборы котельного оборудования:** учебное пособие  
/Т.Ф.Гассельбах. Казань: изд-во КЭК, 2015.- 54с.

Учебное пособие соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта по специальности 13.02.01 «Тепловые электрические станции» и направлен на реализацию программы профессионального модуля ПМ.01 «Обслуживание котельного оборудования на тепловых электрических станциях».

Учебное пособие предназначено для студентов третьего курса Казанского энергетического колледжа, изучающих профессиональный модуль ПМ.01(МДК01.02 Основы теплотехники и гидравлики) в рамках подготовки специалистов со средним профессиональным образованием и освоения соответствующих профессиональных компетенций (ПК1.3-Контролировать работу тепловой автоматики и контрольно-измерительных приборов в котельном цехе) и может быть использован для самообучения и в отсутствии технических средств.

Данный материал содержит необходимый минимум теоретического материала, схемы, таблицы, иллюстрации, а также ссылки на литературу и контрольные вопросы и может быть использован в профессиональной подготовке по профессиям рабочих:

© Гассельбах Татьяна Федоровна, 2015 год.

© Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение  
«Казанский энергетический колледж» (ГАПОУ «КЭК»), 2015 год.

## **Содержание**

<b>1.Общие сведения</b>	<b>4</b>
<b>2.Средства измерения температуры</b>	<b>7</b>
<b>3.Средства измерения давления</b>	<b>20</b>
<b>4. Измерение расхода, количества, уровня жидкостей и сыпучих тел</b>	<b>33</b>
<b>5.Измерение уровня жидкости и сыпучих тел</b>	<b>39</b>
<b>6.Измерение состава газов, воды и пара</b>	<b>41</b>
<b>7. Специальные измерения</b>	<b>50</b>
<b>Контрольные вопросы для студентов</b>	<b>52</b>
<b>Литература</b>	<b>54</b>

# 1. Общие сведения

## 1.1. Единицы физических величин системы СИ

В качестве единой универсальной системы единиц, охватывающей все отрасли науки и техники в большинстве стран мира. В том числе и в Российской Федерации, принята международная система единиц СИ [2].

**Основные единицы системы СИ**: длина – метр (м); масса – килограмм (кг); время – секунда (с); сила электрического тока – ампер (А); термодинамическая температура – кельвин (К); количество вещества – моль (моль); сила света – кандела (кд).

**Дополнительными единицами системы СИ** являются: плоский угол – радиан (рад); телесный угол – стерadian (ср). Радиан – это угол между двумя радиусами круга, длина которой равна радиусу. В градусном исчислении радиан равен  $57^{\circ} 17' 44,8''$ . Стерadian – это телесный угол, вершина которого расположена в центре сферы, вырезающей на поверхности сферы площадь, равную квадрату радиуса сферы. Измерительных приборов для измерения телесных углов нет. Однако значение телесных углов определяется обычно расчётным путём, по измеренным плоским углам.

**Все остальные применяемые единицы физических величин являются производными от основных.** Из единиц, используемых при теплотехнических измерениях и принятых в системе СИ, применяются такие: силы – ньютон (Н); давления – паскаль (Па); работы, энергии – джоуль (Дж); мощности – ватт (Вт); количества теплоты – джоуль (Дж); теплового потока – ватт (Вт).

Наравне с единицами СИ допускается применение некоторых **внесистемных единиц**: массы – тонна (т); времени – минута (мин), час (ч), сутки (сут), плоский угол – градус =  $(\pi/180)$  рад; вместимости – литр (л) и другие единицы.

Из числа внесистемных единиц, подлежащих замене, но продолжающих применяться на практике, следующие: силы – кгс; давления – кгс/см<sup>2</sup>; работы, энергии – кгс·м, Вт·ч; мощности – кгс·м/с; количества теплоты – кал, Ккал, Гкал; теплового потока – кал/с, Ккал/ч, Гкал/ч. В дальнейшем по мере необходимости будем использовать и другие внесистемные единицы.

Соотношения между внесистемными единицами и единицами системы СИ.

Сила.....	1 кгс=9,80665 Н.
Давление.....	1 кгс/см <sup>2</sup> =98066,5 Па.
Работа, энергия.....	1 кгс·м=9,80665 Дж.
Мощность.....	1 кгс·м/с= 9,80665 Вт.
Количество теплоты.....	1 кал= 4,1868 Дж.
Тепловой поток.....	1 кал/с=4,1868 Вт, 1 ккал/ч=1,163 Вт.

В системе СИ допускается применять десятичные кратные и дольные единицы, например, 1 кгс/см<sup>2</sup>= 100 000 Па=0,1 МПа – одна десятая мегапаскаля и т. д.

## 1.2. Общие метрологические понятия

Теплотехнические измерения широко применяются в энергетике для повседневного контроля и наблюдения за работой основного и вспомогательного оборудования. К основным видам

средств измерения физических величин относят: меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, информационно измерительные системы.

**Мера** – это средство измерения, предназначенное для воспроизведения 1 или нескольких известных значений физических величин (например: гиря, метр, измерительная колба)-однозначные меры; линейка - многозначная мера.

**Измерительный преобразователь** – это средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не поддающегося непосредственному восприятию наблюдателя.

Преобразователи подразделяются на первичные, промежуточные, масштабные, передающие.

Первичный преобразователь называется датчиком и контактирует непосредственно с измеряемой средой.

**Измерительный прибор** – это средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

### 1.2.1. Классификация приборов

#### 1. Основная классификация

- Предусматривает деление приборов по роду измеряемых величин.
- Температура (Термометры, пирометры).
- Давление (Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тягомеры, барометры).
- Расход и количество (Расходомеры, счётчики, весы).
- Уровень жидкости и сыпучих тел (Уровнемеры, указатели уровня).
- Состав дымовых газов (Газоанализаторы).
- Качество воды и пара (Кондуктометры, ПШ метры, кислородомеры).

#### II Дополнительная классификация

- По назначению (Промышленные, лабораторные, эталонные).
- По характеру показаний (Показывающие, регистрирующие, интегрирующие).
- По форме представления показаний (Аналоговые, цифровые).
- По принципу действия (Механические, электрические, жидкостные, химические).
- По характеру использования (Оперативные, учётные, расчётные).
- По месту положения (Местные, с дистанционной передачей показаний).
- По условиям работы (Стационарные, переносные).
- По габаритам (Полногабаритные, малогабаритные, миниатюрные).

### 1.2.2. Основные элементы и метрологические характеристики приборов

Каждый измерительный прибор состоит из ряда частей и узлов и обладает заданными метрологическими свойствами.

Главными узлами измерительного прибора являются *измерительное и отсчётное* устройства.

**Измерительное устройство** осуществляет измерение физической величины при помощи чувствительного, и состоит из подвижной и неподвижных частей.

**Отсчётное устройство** в зависимости от характера приборов выполняется в виде шкалы и указателя, записывающего приспособления и диаграммной бумаги счётного устройства.

Отметки и числа на циферблате называются - *градуировкой шкалы*. Шкала может быть: прямолинейной, дуговой, круговой; равномерной и неравномерной. Если шкала начинается с

нуля, то она называется - односторонней. Если отметки расположены по обе стороны от нуля, то шкала – двухсторонняя. Начальное и конечное значение определяют **диапазон показаний**.

### 1.2.3. Основные свойства измерительных приборов

1 **Точность** - степень достоверности показания прибора показывает, на сколько результаты измерений отличаются от истинных значений измеряемой величины.

2 **Чувствительность**- отношение перемещения указателя прибора относительно шкалы (выраженного в линейных или угловых единицах) к изменению значения измеряемой величины, вызвавшей это перемещение. Более высокой чувствительностью обладают приборы со шкалой имеющую меньшую цену деления.

3 **Быстродействие** - это время с момента начала измерения до момента показания значения физической величины прибора.

4 **Надежность** - это свойство прибора сохранять работоспособность с течением заданного времени.

Каждый прибор на заводе-изготовителе снабжается паспортом с основными техническими характеристиками, техническим описанием и инструкцией по эксплуатации.

### 1.2.4. Погрешности измерений

Отклонение результатов измерений от истинных значений измеряемых величин называется **погрешностью измерений**.

**Абсолютная погрешность**  $\Delta$  (дельта)- выражается в единицах измерения и представляет собой разность между измеренным значением и действительным значением измеряемой величины.

$$\Delta = x_{\text{изм}} - x_{\text{и}}$$

**Относительная погрешность** - указывается в % и представляет собой отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины.

$$\delta = \frac{\Delta}{x_n} \cdot 100 \%,$$

Для определения действительного значения определяемой величины по показаниям прибора вводится поправка (С), которая численно равна погрешности измерений, взятой с обратным знаком.

Иногда вместо поправки вводится поправочный коэффициент. Значение  $\Delta$ , С, R определяются опытным путем.

Погрешности измерения, в зависимости от их характера, делятся на систематические, грубые, случайные и динамические.

1. **Систематическими погрешностями** называют погрешности, которые при повторных измерениях одной и той же величины остаются постоянными или изменяются по определенному закону. Влияние этих погрешностей на результаты измерения могут быть учтены. Систематические погрешности делятся на основные и дополнительные.

**Основная (инструментальная)** погрешность зависит от назначения устройства и качества изготовления измерительного прибора. Каждый прибор обладает основной погрешностью, которая во время эксплуатации увеличивается, из-за износа и остаточной деформации механизмов прибора. **Дополнительная погрешность** возникает из-за неправильной установки прибора, влияния неблагоприятных внешних условий и т.д. Устраняется путем установки прибора в соответствии с инструкцией.

2. **Грубые погрешности** возникают при воздействии различных факторов. Существенно искажающих результат измерений.

Результаты измерений, содержащие грубые погрешности отбрасываются как явно не точные.

3. **Случайные погрешности** – эти погрешности заведомо являются не определенными по своей величине и природе. Для их определения используется теория вероятности и математическая статистика.

4. **Динамические погрешности.** Зависимость показаний прибора от изменений измеряемой величины в переходном процессе называют динамической характеристикой прибора. Эта характеристика находится опытным путем.

### 1.2.5. Поверка измерительных приборов

Для нахождения основной систематической погрешности в различных отметках шкалы прибора по мере необходимости или через определенные сроки прибор подвергается поверке - т.е. сравнению его показаний с показаниями точного прибора, имеющего погрешность измерения в несколько раз меньше погрешности поверяемого прибора. Поверку производят вначале при возрастании измеряемой величины, а затем при убывании.

Наибольшая разность показаний, получаемая при одном и том же значении измеряемой величины, и неизменных внешних условий называется **вариацией показаний прибора**.

Для каждого прибора в зависимости от его назначения качества и диапазона показаний устанавливается **допускаемая основная погрешность**. Если при поверке прибора, основная погрешность в любой точке шкалы не превышает допускаемой, то прибор признается годным к применению.

Вводится понятие **приведенной допускаемой основной погрешности** прибора, которая определяется как отношение абсолютной допускаемой основной погрешности к диапазону показаний и выражается в % (класс точности).

Класс точности прибора указывается на циферблате прибора. По стандарту измерительные приборы имеют следующие классы точности: 0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,04; 0,05; 0,06; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6. (лабораторные); 1; 1,5; 2,5; 4. (промышленные).

## 2. Средства измерения температуры

Приборы для измерения температуры подразделяются в зависимости от используемых физических свойств вещества, которые в них заложены, на группы:

1. Термометры расширения ( $-190^{\circ}\text{C} \dots +650^{\circ}\text{C}$ )
2. Манометрические термометры ( $-160^{\circ}\text{C} \dots +600^{\circ}\text{C}$ )
3. Термоэлектрические термометры (термопары) ( $-50^{\circ}\text{C} \dots +1800^{\circ}\text{C}$ )
4. Термометры сопротивления ( $-260^{\circ}\text{C} \dots +650^{\circ}\text{C}$ )
5. Биметаллические термометры ( $-50^{\circ}\text{C} \dots +200^{\circ}\text{C}$ )
6. Полупроводниковые термометры
7. Пирометры ( $+300^{\circ}\text{C} \dots +6000^{\circ}\text{C}$ )

### 2.1. Термометры расширения

Термометры расширения основаны на свойстве тел, изменять свой объем под действием температуры. На этом принципе основаны жидкостные стеклянные термометры и dilatометрические термометры. В качестве рабочих тел в жидкостных термометрах используют ртуть и органическую жидкость (этиловый спирт, толуол, керосин).

Наибольшее распространение получили ртутные термометры. Диапазон измерения ( $-35^{\circ}\text{C}$ ,  $+650^{\circ}\text{C}$ ).

**Достоинства ртутных термометров:**

- Большой диапазон измерения.
- Не смачиваемость стекла ртутью.



- Легкость получения чистой ртути.

Термометры с органическими жидкостями используются для измерения низких температур от  $-190^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ .

Жидкостные термометры изготавливаются из стекла и являются местными показывающими приборами. Состоят из резервуара жидкости и присоединенной к капиллярной трубке закрытой с другого конца. Конечный предел измерения температуры  $+650^{\circ}\text{C}$  определяется температурой размягчения стекла. Для недопущения вскипания ртути, при измеряемой высокой температуре, из капилляра удаляется воздух и заполняется инертным газом с давлением 2 МПа.

Термометры с верхним пределом измерения  $100^{\circ}\text{C}$ , газом не заполняются, капилляр находится под вакуумом. Основная погрешность термометров зависит от диапазона показаний и цены деления шкалы. Ртутные термометры бывают с вложенной шкалой и палочные рис 2.1

А- технический с вложенной шкалой; Б- лабораторный с безнулевой шкалой;



Рис.2.1 Типы ртутных термометров и самый большой термометр в Германии (Мюнхен,1930)

1-пробка, залитая гипсом; 2-оболочка; 3-шкала; 4-капилляр; 5-нижняя часть термометра; 6-резервуар; 7,8- расширения капилляра; 9-дополнительная шкала

По назначению ртутные термометры подразделяются на промышленные, лабораторные и образцовые.

**1. Промышленные** термометры технически изготавливаются с вложенной шкалой и бывают прямые и угловые (угол  $90^{\circ}$ ). Выпускаются с ценой деления 0,5 град. для шкалы  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $+50^{\circ}\text{C}$ ; 5 и 10 град. для шкалы от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+600^{\circ}\text{C}$ .

**2. Лабораторные** – цена деления шкалы составляет  $0,2^{\circ}\text{C}$ . и  $5^{\circ}\text{C}$ .

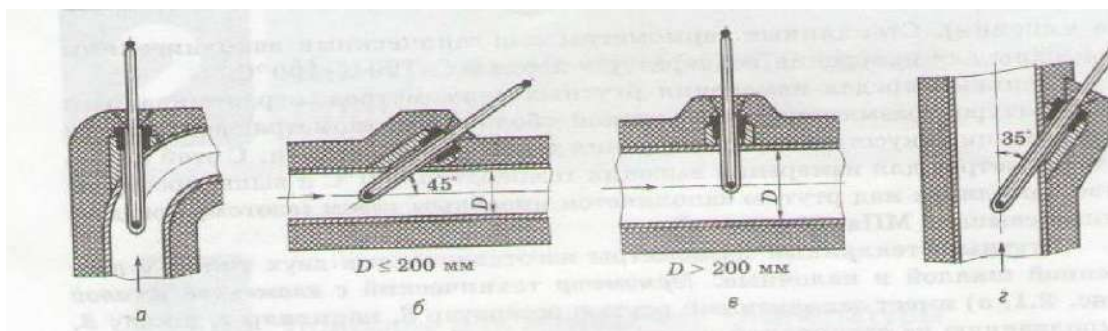
**3. Образцовые** - предназначены для проверки лабораторных и промышленных термометров. Выпускаются с узким диапазоном измерения. Цена деления  $0,01-0,1^{\circ}\text{C}$ .

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

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

#### **Способы установки термометров**

Применяют два способа установки ртутных термометров: в защитных гильзах и без них (путем непосредственного погружения термометра в измеряемую среду) рис. 2. 2.



**Рис 2.2. Варианты установки ртутного термометра в защитной гильзе:**

- а-вдоль оси трубопровода;
- б-наклонно к оси горизонтального трубопровода;
- в- перпендикулярно оси горизонтального трубопровода;
- г- наклонно к оси вертикального трубопровода;
- D-диаметр трубопровода.

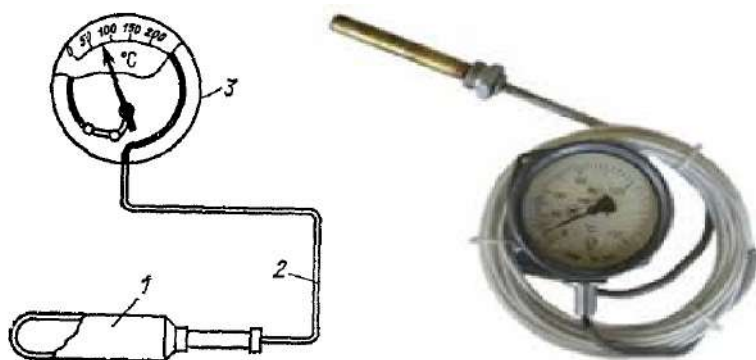
## 2.2. Манометрические термометры

Манометрические термометры работают по принципу измерения давления жидкости, пара, газов в замкнутом объеме. Эти термометры являются промышленными, показывающими или самопишущими.

Измеряют температуру –  $160 + 600^{\circ}\text{C}$ .

Класс точности от 1 до 2,5.

Термосистема прибора заполнена рабочим веществом и состоит из термобаллона, погружаемого в измеряемую среду, манометрической трубчатой пружины, капилляра, тяги и стрелки со шкалой (рис 2.3). Капилляр изготавливают из медной или стальной трубки, внутренний диаметр 0,5мм и толщиной стенки 2,5мм, длина капилляра около 40м.



**Рис.2.3.Схема и внешний вид манометрического термометра: 1-термобаллон; 2-капиллярная трубка; 3- трубчатая пружина**

**Преимущество манометрического термометра** (по сравнению с ртутным термометром):

1. Автоматическая запись показаний.
2. Возможность установки прибора на расстоянии от точки измерения.
3. Большая механическая прочность.

**Недостатки манометрического термометра:**

1. Невысокая точность измерения.
2. Большая инерционность.
3. Трудность ремонта термосистемы.

### 2.2.1 Газовые манометрические термометры

Заполняются азотом, имеют равномерную шкалу с диапазоном  $-200...+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , длина капилляра 1.6-...40 м. Класс точности 1 и 1,5. Выпускаются двух типов: показывающий (ТПГ) и самопишущий (ТГС). Специальные термометры заполняются водородом, нижний предел  $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; и гелием  $-267\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 2.2.2 Жидкостные манометры

Заполняются силиконовыми жидкостями или пропиловым спиртом, ртутью, толуолом, начальное давление жидкости в термометре 1,5 – 2 МПа. Диапазон  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}...+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , длина капилляра 1.6-...60м. Класс точности 1 и 1,5. Т.к. жидкость практически не сжимаема, следовательно, прибор имеет наибольшее быстродействие.

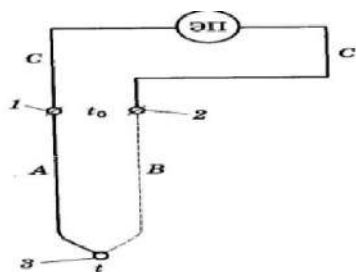
### 2.2.3 Конденсационные (парожидкостные)

Имеют в качестве рабочего вещества, низкокипящие органические жидкости (фреон, ацетон, бензол, хлористый метил). Диапазон  $-50...+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , длина капилляра 1.6-...25 м. Класс точности 1 - 2,5. Имеет неравномерную шкалу. Термобаллон заполняется на 2/3 рабочей жидкостью, а все остальное пространство занято ее насыщенным паром.

## 2.3 Термоэлектрические термометры (термопары)

Термометры, действие которых, основано на свойстве металлов и сплавов, создавать в спаяе термоэлектродвижущую силу называют термоэлектрическими.

Явление термоэлектричества заключается в том, что в замкнутом контуре, состоящем из двух разнородных проводников, если места сплавов имеют различную температуру  $t - t_0$ , течет электрический ток. Физическая суть метода состоит в том, что в различных электропроводящих материалах имеется различная концентрация свободных электронов в межмолекулярном пространстве при одинаковой температуре. Если соединить такие проводники, то свободные электроны начинают диффундировать из материала, где их больше туда, где их меньше. Проводники, из которых уходят электроны, заряжаются отрицательно, а другой положительно. На концах этих проводников создается разность потенциалов, противодействующая такому разбеганию электронов, эта разность потенциалов называется термо ЭДС (Е). Чем выше температура спая, тем выше величина термо ЭДС. Спай 1-2 называется свободным концом. Спай 3- погруженный в измеряемую среду, называется рабочим спаем (рис.2.4).



**Рис. 2.4 Схема термоэлектрического термометра**

1,2-свободные концы термопары; 3-рабочий конец термопары (голый спай)

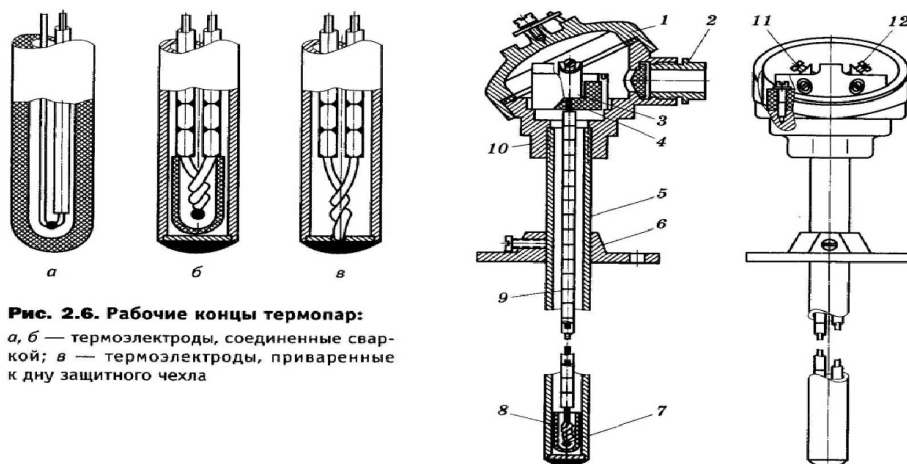
А-термоэлектроды; С-соединительные провода; ЭП-вторичный электроизмерительный прибор,  $t_0$ - температура свободных концов термопары;  $t$  - температура горячего спая.

Положительным считается такой термоэлектрод, по которому ток течет от спая рабочего конца к свободному. Для измерения термо ЭДС к термоэлектрическому термометру с помощью соединительных проводов подключается вторичный прибор, образующийся с термоэлектрическим прибором замкнутую цепь (рис.2.5).



**Рис.2.5 Включение вторичного прибора в измерительную цепь с термопарой**

Измерение температуры при помощи термоэлектрического термометра возможно лишь при постоянной и точно известной температуре свободного конца,  $t_0$ . Экспериментальная зависимость при постоянном значении  $t=0$  выраженное в виде таблицы или графиком, называют градуированной характеристикой.



1-крышка, 2-сальник с уплотнением для вывода проводов; 3- зажимы; 4-колодка; 5-защитный чехол; 6- подвижный фланец; 7- рабочий конец термопары; 8-фарфоровый стаканчик; 9- фарфоровые бусы; 10- корпус головки; 11,12-винты.

### 2.3.1 Термоэлектрические материалы

#### *Свойства материалов:*

- Постоянство термо ЭДС во времени не зависимо от изменений внутренней структуры металла и загрязнения поверхности.
- Устойчивость материала к действию высоких температур (окислению других вредных факторов).
- Хорошая электрическая проводимость.
- Однозначность и постоянство состава для обеспечения взаимозаменяемости термометров.
- Однозначная зависимость термо ЭДС от температуры.

### **Материалы термоэлектродов:**

Платина, платинородий, хромель, алюмель, медь, константан.

В Госстандарт включены 4 типа термоэлектрических термометров (термопар):

1. ТПП термометр платинородий- платиновый, диапазон 0-1300 (1600) °С .
2. ТПР термометр платинородий- платинородий, диапазон +300+1600 (1800) °С .
3. ТХА термометр хромель- алюмель, диапазон –200+1000 (1300) °С .
4. ТХК термометр хромель-копель, диапазон –200+600 (+800) °С .

1,2 -термометры выпускаются как лабораторные, образцовые и эталонные, имеют высокую точность, но и высокую стоимость.

3,4- выпускаются как лабораторные, так и промышленные, имеют высокую точность, доступны к использованию.

### **Другие термопары, применяемые в промышленности:**

1. ТВР (А) – вольфрамрений-рений + 0..2200 °С .
2. ТПР (В) – платинородий-платинородиевые +300..1600 °С.
3. ТПП (S) – платино-платиновые (отрицательный электрод из Pt, а второй – сплав Pt (90%) и родия (10%)). +0..1300 °С.
4. ТХА (К) – хромель-алюмелевый (оба электрода содержат никель в разных количествах). - 200..+1000 °С.
5. ТХК (L) – хромель-копелевый (оба электрода содержат Cu). -200..600 °С .
6. ТХК (Е) – хромель-константановый -200..700 °С.
7. ТНН (N) – никросил-нисловый -270..1300 °С.
8. ТМК (Т) – медь-константановый -200..700 °С.
9. ТЖК (J) – железо-константановый -200..700 °С .

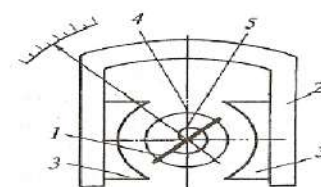
На производстве наиболее часто применяются ТХА и ТХК, ТХК ( т.к они наиболее дешевы).  
Схема соединения термопары с удлиняющими проводами и вторичными приборами рис 2.5.  
В лабораторной практике температура свободных концов поддерживается  $t_0=0^{\circ}\text{C}$  и остаётся постоянной в термостате. При изменении  $t_0\neq 0$  вводится поправка определяемая по градуировочной характеристике.

На практике, при измерениях, поправка может вводиться путём перемещения стрелки прибора от  $0^{\circ}\text{C}$  на деление, соответствующее  $E_{\text{ав } t_0}$ .

## **2.3.2 Вторичные приборы для измерения температуры**

- Милливольтметр
- Потенциометр

**Милливольтметр** предназначен для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическим преобразователем при температуре окружающего воздуха от 5 до 50°С и относительной влажности до 80% при 35°С.



**Рис. 7.14. Схема милли-  
вольтметра:**  
1 — рамка; 2 — постоянный магнит; 3 — полусные нако-  
нечники; 4 — неподвижный сердечник; 5 — пружина

Работа милливольтметра основана на взаимодействии магнитного поля, образуемого проводником по которому протекает электрический ток, создаваемый термоэлектрическим термометром, с магнитным полем постоянного магнита находящегося в приборе. При постоянном сопротивлении измерительной цепи угол отклонения указательной стрелки милливольтметра изменяется пропорционально термо ЭДС термометра. Градуировка шкал милливольтметров проводится на основании градуировочных характеристик термометров непосредственно в градусах.

#### **Основные технические характеристики:**

Класс точности -1.5

Сопротивление внешней линии, Ом -15

Питание от сети переменного тока 220 В, 50 Гц

Габаритные размеры , мм 100x200x244

-Ш69003 - допускают подключение одной термопары

-Ш4500- допускают подключение одной термопары

-Ш4540- допускают подключение одной термопары

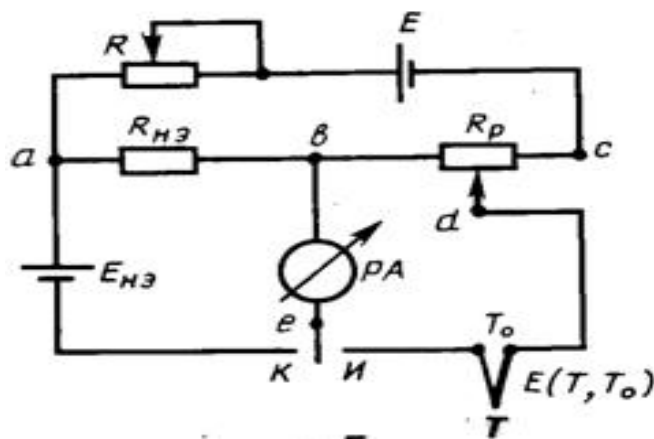
-Ш4542- допускают подключение одной термопары

-Ш69004- допускают подключение 12-ти термопар (работает по 12-ти каналам)

-Ш4541- осуществляют двухпозиционное регулирование температуры

-Ш4501- осуществляют двухпозиционное регулирование температуры

**Потенциометр** - электроизмерительный прибор для определения разности потенциалов (напряжения) компенсационным методом (например, с использованием мостовой цепи (рис 2.8).



**Рис.2.8. Принципиальная схема потенциометра**

R — реостат, E — батарея,  $R_{НЭ}$  — сравнительный резистор из манганина, К-И — ключ,  $R_p$  — уравнивающий резистор (реохорд),  $E_{НЭ}$  — нормальный элемент (развивает постоянную ЭДС), РА (НГ) — нуль гальванометр.

В основу работы потенциометра (ПП63) положен компенсационный метод измерения, который заключается в том, что термо ЭДС развиваемой термопарой, уравнивается равной ей по величине, но обратным по знаку напряжением от дополнительного источника тока. Эти приборы являются наиболее совершенными для работы с термопарами. Контур 1 образует уравнивающую цепь, контур 2 — цепь нормального элемента и контур 3 — цепь термопары. С помощью переключателя К-И в цепь 2, 3 поочередно включается РА -нулевой гальванометр.

Переключатель К-И устанавливаем в положение 1 замыкаем цепь контура 2 нажимаем на кнопку К замыкаем цепь 1 и реостатом R регулирует рабочий ток до тех пор пока стрелка на НГ не установится на нулевую отметку. Отсутствие тока в контуре 2 наступает в тот момент, когда ЭДС НЭ будет уравновешена падением напряжения на R.



Размыкаем кнопку К и переводим переключатель в положение 2. В результате к контуру 1 подключают контур 3, вновь замыкают К и посредством реохорда R добиваются установки стрелки НГ на нулевой отметке. В этот момент ЭДС термопары компенсирует падение напряжения на участке в-с. Если мы узнаем сопротивление R, то можем определить температуру по ЭДС.

ПП – 63 предназначен для измерения термо ЭДС в диапазоне от 0 – 25; 0 – 50; 0 – 100 мВ. Прибор служит для проверки магнито-электрических милливольтметров. Класс точности прибора 0,05.

*Образцовые* потенциометры имеют повышенный класс точности 0,002 – 0,2.

На точность измерения температуры термоэлектрическим термометром оказывает влияние способ установки и правильность проведения поверки термометра и вторичного прибора.

## **2.4 Термопреобразователи сопротивления (термометры сопротивления)**

**Термометры сопротивления** основаны на свойстве металлических проводников изменять, в зависимости от нагрева, свое электрическое сопротивление. Выполняется из тонкой металлической проволоки, намотанной на каркас из электроизоляционного материала (слюды, кварца, пластмассы) и помещенный в металлический защитный чехол с головкой для подключения соединительных проводов.

Диапазон измерения: -200... +650 (1100) °С.

Максимальная температура +650 °С обусловлена стойкостью материала термометра.

### ***Преимущество термометров сопротивления:***

- Высокая точность измерения.
- Возможность осуществление автоматической записи.
- Дистанционная передача показаний.

### ***Недостаток термометров сопротивления:***

- Необходимость постороннего источника тока.

### ***Основные требования к материалу:***

- Устойчивость при нагревании.
- Однозначная зависимость сопротивления от температуры.
- Стойкость против коррозий.
- Высокий и постоянный температурный коэффициент электрического сопротивления.
- Большое удельное сопротивление.
- 

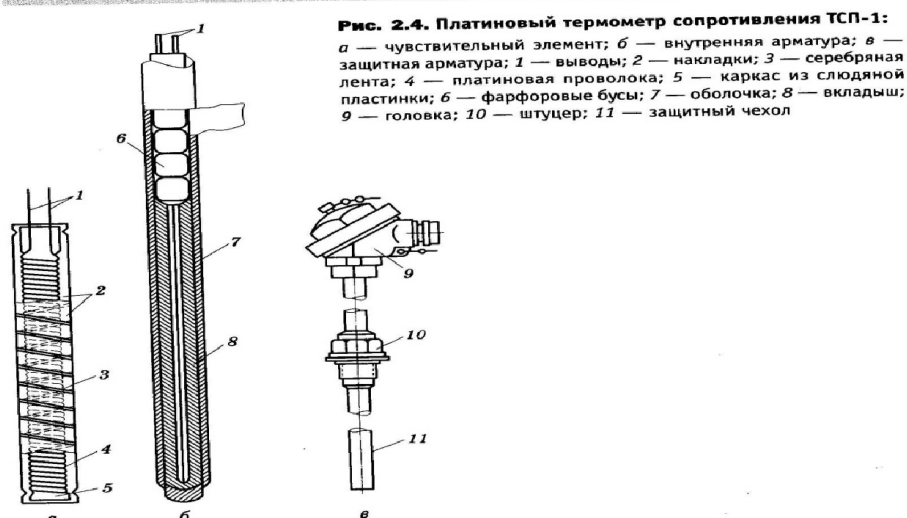
Наиболее пригодными являются платина и медь.

**Платиновые** термометры сопротивления обладают большой химической инертностью, легко могут быть получены в чистом виде, конечный предел измерения 650 (1100)°С (рис 2.9).

Бывают технические, образцовые и эталонные, имеют обозначение ТСП, с начальным сопротивлением при 0 °С.

На каркасе ТСП-1 (рис 2.9) из слюдяной пластинки 5, имеющей по бокам зубчатую насечку, намотана платиновая проволока 4 диаметром 0,07 мм и длиной примерно 2 м. К концам платиновой обмотки припаяны два вывода 1 из серебряной проволоки диаметром 1мм, присоединенные к латунным зажимам в головке 9 термометра. Слюдяная пластинка с обмоткой изолирована с двух сторон более широкими слюдяными накладками 2 и связана с ними в общий пакет серебряной лентой 3. Образованный таким образом чувствительный элемент термометра вставлен в плоский алюминиевый вкладыш и вместе с ним заключен в трубчатую оболочку 7 из алюминия. Серебряные выводы изолированы фарфоровыми бусами 6. Оболочка с

чувствительными элементами помещена в стальной защитный чехол 11 с приваренным к нему штуцером 10, предназначенным для установки термометра в трубопроводах и резервуарах. В верхней части защитного чехла закреплена алюминиевая головка 9, внутри которой помещен бакелитовый вкладыш с двумя зажимами для присоединения внешних соединительных проводов [1].



**Рис. 2.9 Термометр сопротивления платиновый (ТСП)**

**Медные** термометры сопротивления имеют обозначения ТСМ, с начальным сопротивлением при  $0^{\circ}\text{C}$ .

**Достоинства медных термометров сопротивления:**

1. Дешевле платиновых
2. Могут быть получены в чистом виде
3. Имеют высокий температурный коэффициент электрического сопротивления.

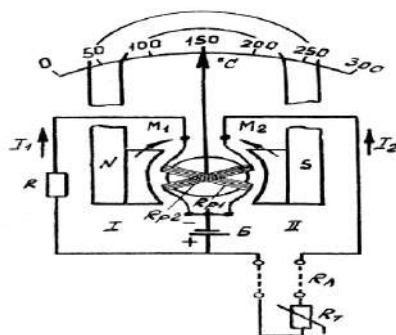
**Недостаток медных термометров сопротивления:** окисляемость меди при высоких температурах (поэтому конечный предел применения медных термометров  $180^{\circ}\text{C}$ )

По инерционности термометры сопротивления различаются на 3 группы.

1. До 9 сек.
2. До 1 мин. 20 сек.
3. До 4 мин.

Вторичные приборы для термометров сопротивления- логометр и потенциометр.

**Логометр** является одним из вторичных технических приборов, работающих в комплекте с термометром сопротивления (рис 2.10).



**Рис.2.10 Принципиальная схема и внешний вид магнитоэлектрического логометра**



Магнитная система логометра включает в себя постоянный магнит с полюсными наконечниками и цилиндрический сердечник. Воздушный зазор в магнитной цепи расширяется от середины наконечников к их краям, соответственно уменьшается магнитная индукция в зазоре.

Подвижная система состоит из двух рамок  $R_{p1}$  и  $R_{p2}$  жестко соединенных между собой и стрелкой, противодействующие пружины отсутствуют. Обмотки рамок питаются от общего источника тока – батареи Б.

В цепь рамки  $R_{p1}$  включено постоянное сопротивление  $R$ , а в цепь рамки  $R_{p2}$  – термометр сопротивления  $R_t$  и соединительные провода  $R_{пр}$ .

Токи  $I_1$  и  $I_2$  в обмотках рамок обратно пропорциональны сопротивлениям соответствующих цепей. Эти токи, взаимодействуя с магнитным полем постоянного магнита, создают вращающие моменты  $M_1$  и  $M_2$ , действующие на рамки. Величина момента пропорциональна произведению силы тока в рамке на магнитную индукцию в том участке воздушного зазора, где находятся боковые стороны рамки. Рамки и стрелка всегда занимают такое положение, при котором моменты  $M_1$  и  $M_2$  равны между собой. Если размеры и числа витков рамок одинаковы, то условие равновесия  $M_1$  и  $M_2$  приобретает вид

$$I_1 B_1 = I_2 B_2; \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{B_2}{B_1} \quad (1)$$

Где  $I_1$  и  $I_2$  – токи в рамках;

$B_1$  и  $B_2$  – индукция в тех участках воздушного зазора, где находятся боковые стороны рамок.

Отношение  $\frac{B_2}{B_1}$  есть определенная однозначная функция угла поворота  $\varphi$  подвижной системы, зависящая от формы полюсных наконечников и сердечника. Отсюда, следовательно, можно записать:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{B_2}{B_1} = f(\varphi); \quad \varphi = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) \quad (2)$$

Таким образом, угол поворота подвижной системы однозначно определяется величиной отношения токов в рамках. Но отношение сил токов обратно отношению сопротивлений цепей, где протекают эти токи:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_p' + R_{пр} + R_t}{R_p + R} \quad (3)$$

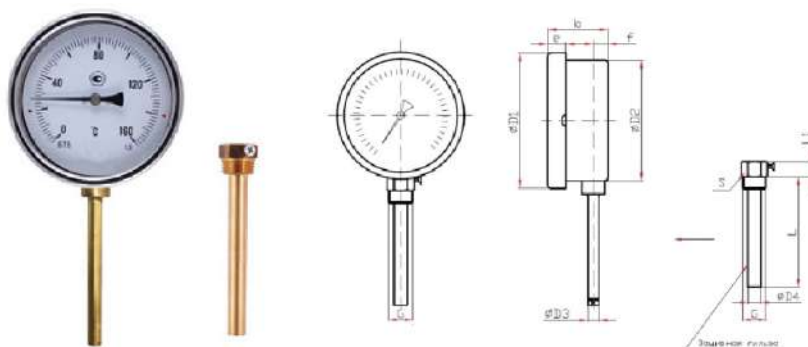
$$\varphi = f_1\left(\frac{R_p' + R_{пр} + R_t}{R_p + R}\right) \quad (4)$$

Отсюда

Сопротивления  $R_{p1}$ ,  $R_{p2}$ ,  $R$  и  $R_{пр}$  можно считать постоянными. Тогда угол поворота подвижной системы и положение стрелки на шкале будут зависеть от сопротивления  $R_t$  термометра, которое в свою очередь однозначно зависит от температуры.

## 2.5 Термометр общетехнический биметаллический (радиальное присоединение)[3]

Термометры биметаллические БТ предназначены для измерения температуры жидкостей и газов в отопительных и санитарных установках, в системах кондиционирования и вентиляции, а также для измерения температуры сыпучих и вязких сред в пищевой промышленности (рис 2.11)



**Рис 2.11. Общий вид биметаллического термометра**

**Диаметр корпуса** - 63, 100 мм

**Класс точности** при Д 100-1,5 и Д 63-2,5

**Диапазон показаний** -30 ...+ 450 °С

**Корпус** - хромированная сталь

**Чувствительный элемент** - биметаллическая спираль

**Циферблат** - алюминий, белый, шкала черного цвета

**Стрелка** - алюминий черного цвета

**Стекло** - инструментальное стекло

**Положение присоединения** - радиальное

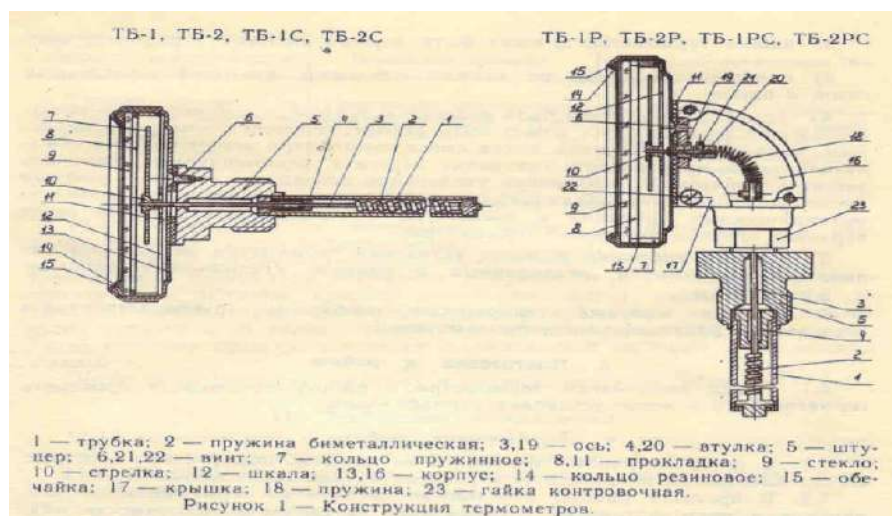
**Допустимое рабочее давление на гильзе** - 2,5 МПа (25 кгс/см<sup>2</sup>)

**Присоединение** - съемная латунная гильза с резьбой G1/2 (M20x1,5 под заказ)

**Внимание!** При измерение температуры в агрессивных средах, возможна комплектация термометра гильзой из нержавеющей стали.

**Принцип действия биметаллического термометра БТ** основан на зависимости деформации чувствительного элемента от измеряемой температуры. В качестве чувствительного элемента используется биметаллическая пружина.

Биметаллическая пружина изготавливается из двух прочно соединенных металлических пластин, имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения. При изменении температуры пружина изгибается и вращает стрелку термометра. Один конец пружины закреплен внутри штока, а к другому присоединяется ось стрелки (кроме контактных термометров с пружиной для крепления на трубе, у которых биметаллическая пружина навита вокруг оси контактного элемента, а стрелка закреплена непосредственно на биметалле) рис 2.12.



**Рис 2.12 Конструкция биметаллического термометра (БТ)**

В зависимости от типа присоединения штока к корпусу термометры делятся на тыльные (осевые) и радиальные. Корпус термометра изготавливается из хромированной или нержавеющей стали. Материал штока – латунь или нержавеющая сталь. Термометры БТ имеют модификации (общетехнические серий 111/211, коррозионностойкие серии 220 и общетехнические специальные), отличающиеся по конструктивному исполнению.

Биметаллические термометры комплектуются латунной защитной гильзой с резьбой G1/2. Исключение составляют БТ коррозионностойкие серии 220 со штоком, кольцом и корпусом из нержавеющей стали, а также БТ общетехнические специальные (с измерительным элементом в виде иглы и контактные БТ с пружиной для крепления на трубе). БТ коррозионностойкие серии 220 имеют резьбу G1/2 на штоке и защитная гильза в стандартную поставку не входит. По заказу возможно изготовление нержавеющей гильз с резьбой G1/2 или M20x1,5 и латунных гильз с резьбой M20x1,5.

### ***Порядок установки.***

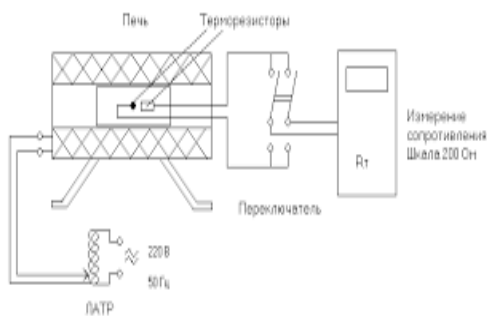
Шкала термометра должна быть хорошо видима с рабочего места. Окружающая среда не должна содержать примесей агрессивных газов и паров. Термобаллон должен быть полностью погружен в измеряемую среду. Положение термобаллона может быть горизонтальным, вертикальным, наклонным. В случаях, когда смена термометра может повлечь нежелательную в производстве остановку агрегата, рекомендуется применять защитную гильзу. Во избежание увеличения показателя тепловой инерции после установки термобаллона, защитную гильзу необходимо заполнить металлическими опилками и жидкостью с температурой кипения выше верхнего предела измерений термометра. Устранение дефектов термометра, замена, присоединение и отсоединение его от магистралей, должно производиться при полном отсутствии давления в магистрали. Не допускается использование термометра для измерения среды, температура которой превышает верхний предел измерения, указанный в паспорте термометра. Эксплуатация термометров разрешается только при наличии инструкции по технике безопасности, утвержденной в установленном порядке [ 3].

## **2.6 Полупроводниковые термометры (терморезисторы)**

Кроме термометров сопротивления из металлических проводников для измерения температуры применяются ***полупроводниковые термометры***, которые получили название терморезисторы. Они изготавливаются из смеси окислов некоторых металлов: (меди, марганца, титана, кобальта и т.д.). Терморезисторы представляют собой не проволоочные подъемные, не линейные резисторы различной формы (цилиндрические, шайбовые) и имеют отрицательный температурный коэффициент, то есть при нагревании уменьшается электрическое сопротивление (рис.2.13).



**Рис. 2.13 Терморезисторы**



#### **Достоинство:**

- высокая надежность,
- характеристики стабильны в течение долгого времени.

#### **Недостаток**

- максимальная температура  $+125^{\circ}\text{C}$ ;
- в серийном производстве не удастся с достаточной точностью воспроизвести необходимые характеристики.

Один экземпляр значительно отличается от другого, примерно так же, как транзисторы: вроде бы из одной упаковки, а коэффициент усиления у всех разный, двух одинаковых из сотни не найдешь. Такой разброс параметров приводит к тому, что при замене термистора приходится заново производить регулировку аппаратуры [ 3].

## **2.7 Пирометры**

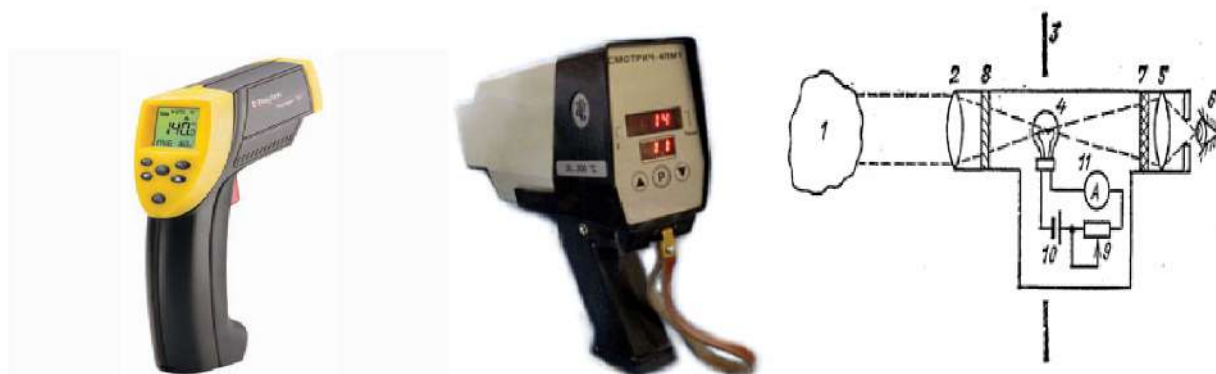
**Пирометр** это прибор для бесконтактного измерения температуры тел.

**Принцип действия** основан на измерении мощности теплового излучения объекта измерения преимущественно в диапазонах инфракрасного излучения и видимого света.

Их можно применять в качестве тепलोлокаторов (усовершенствованные модели), для определения областей критических температур в различных производственных сферах.

В зависимости от метода измерения пирометры разделяются на квазимонохроматические, и полного излучения [ 3].

**Квазимонохроматический пирометр** с исчезающей нитью рис. 2.14.



**Рис.2.14. Квазимонохроматический пирометр с исчезающей нитью**

Излучение от объекта измерения 1 проходит через объектив 2 и фокусируется в плоскости 3. В этой же плоскости расположена нить пирометрической лампы 4. Изображение объекта измерения и нити пирометрической лампы может быть рассмотрено наблюдателем 6 через окуляр 5. Между нитью пирометрической лампы и окуляром располагается красный светофильтр 7. Между объективом и нитью пирометрической лампы может вводиться поглощающее стекло 8.

Для изменения накала нити применяется реостат 9, который изменяет ток проходящий через нить пирометрической лампы, от источника питания 10. Значение тока измеряется прибором 11 отградуированным в значениях яркостной температуры.

Разработаны различные оптические устройства, расширяющие области применения пирометров. Например, изготавливаются пирометры с волоконной оптикой для измерения температуры в диапазоне  $400\text{-}3000^{\circ}\text{C}$ .

Используются световоды длиной до 10 м. Такие пирометры обеспечивают измерение температур объектов диаметром от 1 мм, а также температур в герметичных объемах. Такой канал передачи не чувствителен к помехам и изменениям параметров промежуточной среды.

### 3. Средства измерения давления

#### *Классификация приборов*

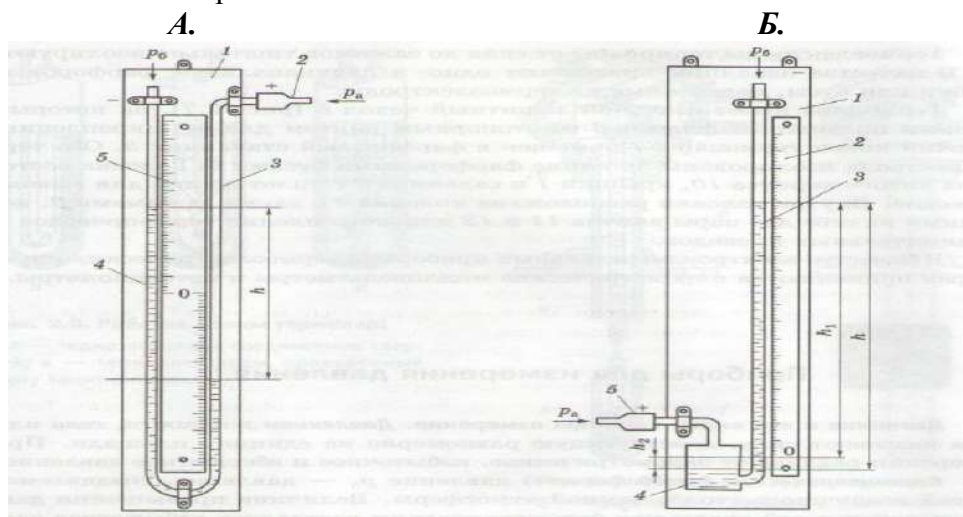
1. Манометры избыточного давления - для измерения давления превышающее атмосферное.
2. Тяго и напоромеры для измерений небольшого вакуумметрического и избыточного давлений.
3. Вакуумметры – для измерения вакуумметрического давления.
4. Барометры – для измерения атмосферного давления.
5. Дифференциальные манометры – для измерения разности давлений.

#### *По принципу действия приборы различают:*

1. Жидкостные
2. Деформационные
3. Электрические

#### 3.1. Жидкостные стеклянные манометры (рис 3.1)

Жидкостные манометры используются для измерения неагрессивных газов и воздуха. В качестве уравнивающей жидкости в манометрах используют ртуть, дистиллированную воду или этиловый спирт.



**Рис. 3.1 А- жидкостный двух трубный U -образный манометр**

1-основание; 2-резиновая трубка; 3,4- измерительные трубки; 5- шкала;

$P_a$ ,  $P_b$ -соответственно абсолютное и барометрическое давление;  $h$ - высота столба рабочей жидкости.

**Рис.3.1 Б- жидкостный однотрубный (чашечный) манометр**

1-основание; 2- шкала; 3- измерительная трубка; 4- стеклянный сосуд (чашка); 5- соединительная трубка с измеряемой средой;  $h_1$  и  $h_2$  - высота подъема уровня рабочей жидкости в трубке и соответствующая ей высота опускания уровня рабочей жидкости в сосуде; остальные обозначения см. рис А.

#### *Достоинства жидкостных манометров:*

- Простота и точность приборов.

#### *Недостаток жидкостных манометров:*

- Служит для измерения небольших давлений до 0,2 мПа.



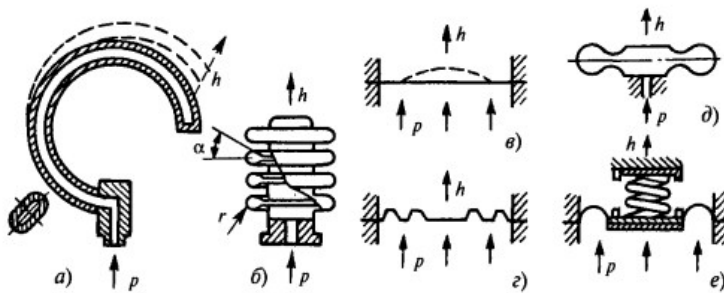
### 3.2 Деформационные манометры

**Принцип действия** основан на использовании деформации упругого, чувствительного элемента (рис 3.2), возникающий под воздействием приложенного давления. Значение этой деформации передается отсчетному устройству прибора. [2]

Чувствительные элементы таких манометров изготавливаются до 60 МПа из сплавов марки 36 НХТЮ (200) и бериллиевой бронзы БрБ 2 (100).

**Недостаток:** с течением времени у упругих элементов накапливаются пластические деформации и уменьшаются упругие свойства, это приводит к увеличению погрешностей.

В приборах предусматривается возможность коррекции отклонений вызванных старением упругого чувствительного элемента.



**Рис. 3.2 Чувствительные элементы**

а. трубчатая пружина

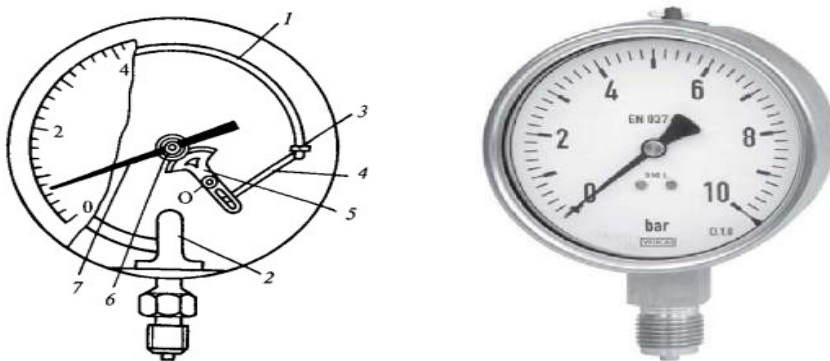
б. сильфоны

в,г. плоские и гофрированные мембраны

д. мембранная коробка

е. вялая мембрана с жестким центром

#### 3.2.1 Трубчато пружинный манометр (рис 3.3)



**Рис.3.3. Показывающий механический манометр**

1 — одновитковая трубчатая пружина; 2 — держатель; 3 — пробка; 4 — поводок; 5 — зубчатый сектор; 6 — шестерня; 7 — стрелка.

Одновитковая трубчатая пружина 1 с одного конца приварена к держателю 2, прикрепленному к корпусу манометра. Нижняя часть держателя заканчивается шестигранной головкой и штуцером, с помощью которого к манометру подсоединяется трубка, подводящая давление. Свободный конец пружины 1 припаян к пробке 3, шарнирно соединенной с поводком 4.

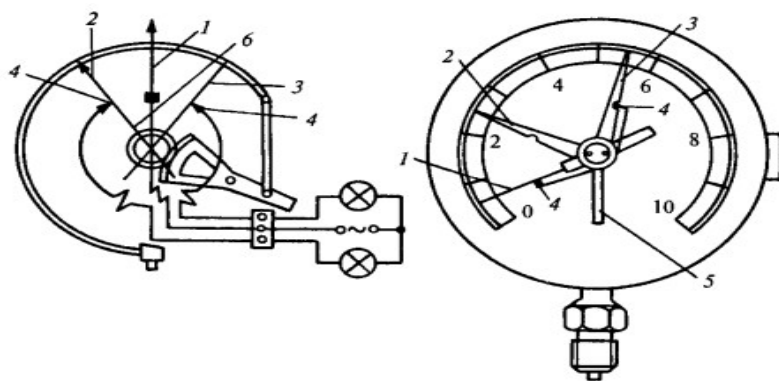
При перемещении свободного конца пружины поводок поворачивает зубчатый сектор 5 относительно оси О, вызывая поворот шестерни (трубки) 6 и сидящей на одной оси с ней показывающей стрелки 7. Пружина, не приведенная на рисунке, обеспечивает поджатие зубцов трубки к зубцам сектора, убирая люфт. Статическая характеристика манометра может подстраиваться за счет изменения точки закрепления поводка 4 в прорези сектора 5 и смещения положения стрелки, устраняя мультипликативную и аддитивную погрешности. На рис.3.3 показано радиальное размещение штуцера. Манометры также изготавливаются с его осевым размещением.

Пружинные показывающие манометры выпускаются с верхним пределом измерения от 0,1 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) до 103 МПа (104 кгс/см<sup>2</sup>) в соответствии со стандартным рядом. Пружинные вакуумметры имеют диапазон измерения 0,1...0 МПа, а мановакуумметры при нижнем пределе измерения 0,1 МПа имеют верхний предел измерения по избыточному давлению от 0,1 до 2,4 МПа.

Образцовые показывающие пружинные манометры имеют класс точности 0,15; 0,25 и 0,4; рабочие 1,5; 2,5; 4, рабочие повышенной точности 0,6 и 1 [ 1].

### 3.2.2 Электроконтактный манометр (ЭКМ рис 3.4)

Для сигнализации предельных отклонений давления в цепях защиты и позиционного регулирования широко применяются электроконтактные манометры. Схема манометра типа ЭКМ представлена на рис 3.4 [ 1].



**Рис.3.4 Электроконтактный манометр**

1 — показывающая стрелка; 2, 3 — стрелки; 4 — электрические контакты; 5 — поводок; 6 — электрический контакт

В показывающий манометр дополнительно введены две стрелки 2, 3, к которым упругими токоподводами поджаты электрические контакты 4.

Стрелки 2,3 с помощью торцевого ключа и поводка 5 устанавливаются против значений сигнализируемого давления. Показывающая стрелка 1 также снабжена электрическим контактом 6.

Если давление находится в пределах рабочего диапазона, то электрические цепи сигнализации разомкнуты. При достижении показывающей стрелкой любой из контактных замыкается электрическая цепь, вызывая срабатывание сигнализации.

Электрические контакты остаются замкнутыми при нахождении показывающей стрелки за пределами рабочего диапазона давления, поскольку стрелки 2, 3 ограничивают смещение контактов внутрь рабочего диапазона, а вне его контакты увлекаются показывающей стрелкой 1.

Для целей сигнализации и позиционного регулирования используются реле давления типа РД, которые не имеют показывающей шкалы и имеют верхние пределы измерения в диапазоне 12—

1600 кПа. Их настройка на верхний или нижний предел срабатывания производится по показаниям контрольного манометра. Разрывная мощность контактов при активной нагрузке составляет 10 Вт.

Промышленностью выпускаются механические показывающие и самопишущие манометры (МТП, МТС), вакуумметры (ВТП, ВТС) и мановакуумметры (МВТП, МВТС) с одновитковой трубчатой пружиной. Самопишущие приборы имеют дисковую диаграмму, совершающую один оборот за 8, 12 или 24 ч, ее вращение осуществляется электрическим двигателем или часовым механизмом, имеющим 8-суточный завод. Класс точности манометров 1; 1,5; 2,5, пределы измерения соответствуют стандартному ряду.

### 3.2.3 Дифференциальные манометры (рис 3.5)

Дифференциальные манометры бывают: сифонные, мембранные, показывающие, самопишущие и сигнализирующие [ 3].



Рис 3.5 Дифференциальные манометры

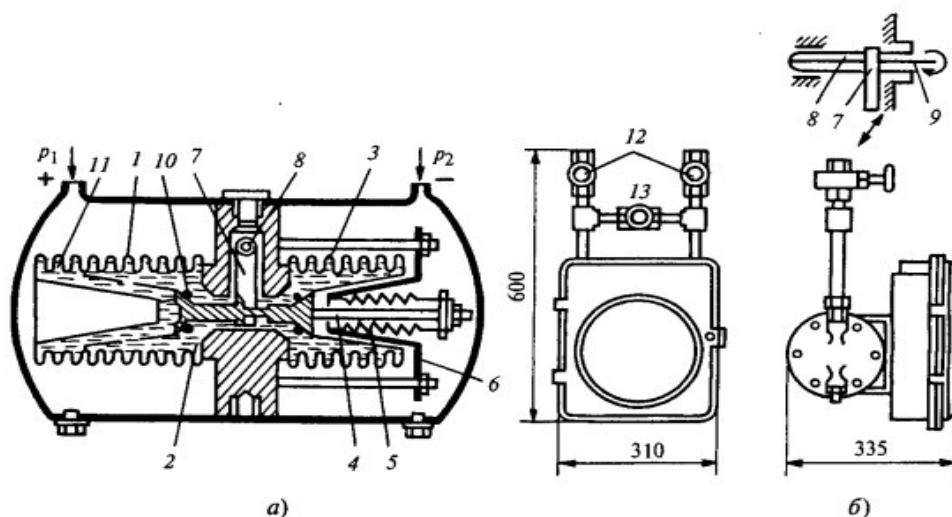
**Сифонные чувствительные элементы** используются в механических показывающих и самопишущих дифманометрах типа ДСП и ДСС. Схема их чувствительного элемента, представляющего сифонный блок, дана на рис.3.5, а, на рис.3.5, б приведен внешний вид дифманометра с вентильным блоком.

Под действием разности давлений рабочий сифон 1, расположенный в плюсовой камере дифманометра, сжимается и кремнийорганическая жидкость 2, заполняющая внутреннюю полость сифона 1, частично вытесняется во внутреннюю полость сифона 3, находящегося в минусовой камере дифманометра. При этом перемещается шток 4, жестко соединенный с дном сифона 3.

Работающие на растяжение пружины 5 одним концом прикреплены к неподвижному стакану 6, а другим — к концу штока 4. Со штоком 4 соединен конец рычага 7, который с помощью торсиона 8, отделяющего внутреннюю полость дифманометра от атмосферы, поворачивает ось 9, связанную с записывающим или показывающим устройством. Резиновые кольца 10 служат для ограничения хода штока 4 при односторонних перегрузках.

Первые три гофра 11 представляют собой термокомпенсатор, воспринимающий изменение внутреннего объема жидкости 2 при изменении температуры прибора.





**Рис.3.5 а и б. Сильфонный дифманометр типа ДС:**

а — схема сильфонного блока; б — внешний вид; 1 — рабочий сильфон; 2 — кремний органическая жидкость; 3 — внутренняя полость сильфона; 4 — шток; 5 — пружины; 6 — неподвижный стакан; 7 — рычаг; 8 — тореной; 9 — ось; 10 — резиновые кольца; 11 — гофры; 12, 13 — вентили запорные и уравнивательный

Дифманометры снабжаются вентиляльным блоком, включающим запорные вентили 12 и уравнивательный 13. Подключение к объекту измерения дифманометра с открытым уравнивательным вентилям позволяет исключить воздействие одностороннего рабочего давления на чувствительный элемент. При закрытых вентилях 12 и открытом 13 указатель дифманометра должен находиться на начальной отметке, что используется при проверке его работоспособности и настройке.

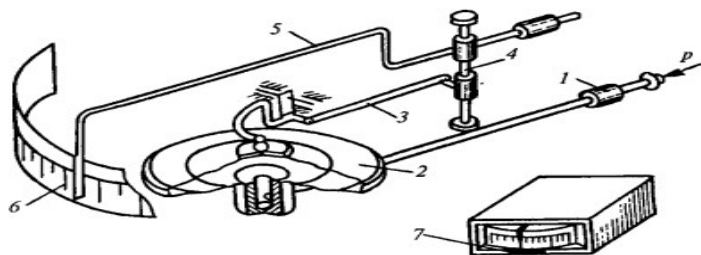
**Дифманометры ДС** могут иметь сигнализирующее устройство и пневматические преобразователи. Привод диаграммной бумаги при регистрации показаний, как и в манометрах МТС, производится синхронным двигателем или часовым механизмом.

Дифманометры имеют верхний предел измерения от 6,3 кПа до 0,16 МПа при рабочем давлении 16 и 32 МПа, класс точности 1; 1,5.

**Дифманометры-расходомеры**, работающие с сужающими устройствами, могут иметь манометрическую часть, производящую регистрацию статического давления до 32 МПа, и интегратор для суммирования расхода.

**Мембранные упругие чувствительные элементы**, чаще в виде мембранных коробок, используются в приборах для измерения напора и разрежения.

Схема профильного напоромера типа НМП и его внешний вид представлены на рис.3.6.



**Рис.3.6. Схема и внешний вид профильного мембранного напоромера НМП:** 1 — штуцер; 2 — мембранная коробка; 3 — система рычагов и тяг; 4 — ось; 5 — показывающая стрелка; 6 — профильная шкала; 7 — корректор.

Измеряемое давление через штуцер 1 на задней стенке прибора подается во внутреннюю полость мембранной коробки 2. С помощью системы рычагов и тяг 3, изображенных на схеме упрощенно, перемещение центра мембранной коробки преобразуется в пропорциональный угол поворота оси 4, на которую насажена показывающая стрелка 5, перемещающаяся вдоль профильной шкалы 6. Для настройки начального положения показывающей стрелки используется корректор 7, находящийся на лицевой панели.

Эти приборы выпускаются так же, как тягомеры и тягонапоромеры. Диапазон измерения приборов достигает 25 кПа в соответствии со стандартным рядом при классе точности 1,5; 2,5.

С использованием мембранных чувствительных элементов выпускаются реле (сигнализаторы) напора и тяги типа РД, которые работают в диапазоне от -12 до 12 кПа.

### 3.2.4 Мембранный дифференциальный манометр ДМ [1]

Чувствительным элементом прибора является мембранный блок, состоящий из двух мембранных коробок 1 и 3, закреплённых с обеих сторон в основании 2 (рис 3.6).

Основание с верхней и нижней крышками корпуса прибора образует две камеры: нижнюю – «плюсовую» и верхнюю – «минусовую». Внутренние полости мембранных коробок, заполненные дистиллированной водой, сообщаются через отверстие в перегородке.

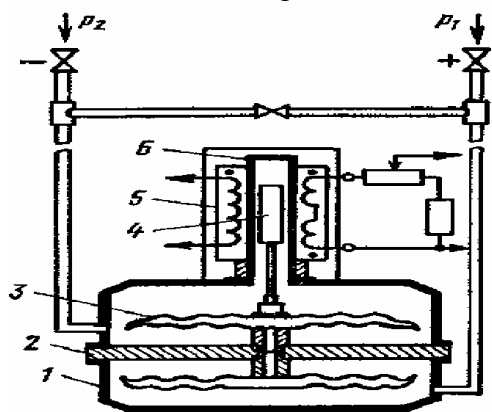


Рис. 3.6. Мембранный дифманометр ДМ.

С центром мембраны верхней коробки с помощью немагнитного штока жестко связан сердечник 4 дифференциально-трансформаторного преобразователя 5. Сердечник находится внутри разделительной трубки 6, изготовленный из немагнитной нержавеющей стали

В дифманометре предусмотрено устройство, которое позволяет перемещать преобразователь вдоль трубки для первоначальной корректировки нулевого значения выходного параметра. Во время эксплуатации дифманометра корректировка нуля производится корректором нуля вторичного прибора.

Давления  $p_1$  и  $p_2$  к камерам дифманометра подводятся через два запорных вентиля, расположенных на вертикальных трубках. Для сообщения между собой плюсовой и минусовой камер служит уравнивающий вентиль, расположенный ниже запорных вентилях.

Под воздействием разности давлений  $p_1 - p_2$  нижняя мембранная коробка сжимается, жидкость из неё перетекает в верхнюю коробку, вызывая перемещение центра мембраны верхней коробки, а вместе с тем и сердечника дифференциально-трансформаторного преобразователя. Это перемещение приводит к изменению взаимной индуктивности между первичной и вторичной обмотками преобразователя, а следовательно, и к изменению напряжения на выходе его пропорционально измеряемому перепаду давления.

Если фактический перепад давления превышает предельный номинальный перепад давления дифманометра или одна из мембранных коробок находится под воздействием

односторонней перегрузки, повреждения (разрушения) коробки не произойдёт, так как мембраны этой коробки сложатся по профилю, вытеснив всю жидкость во вторую коробку.

Изменения объёма жидкости, заполняющей мембранный блок, под влиянием температуры окружающего воздуха не вызывает перемещения центра мембраны верхней коробки.

В зависимости от значения предельного номинального перепада давления в дифманометрах ДМ устанавливаются мембранные блоки необходимой жёсткости.

Дифманометры ДМ широко применяются в качестве расходомеров в комплекте с сужающими устройствами, перепадаомеров и уровнемеров для измерения уровня воды в барабане парогенераторов, баках и т.п.

### 3.3 Барометры [ 3 ]

Барометры применяются для измерения атмосферного давления рис 2.7.



Рис 3.7 Виды барометров

Наиболее распространёнными являются чашечные барометры с ртутным заполнением, отградуированные в мм. рт. ст. Погрешность считывания высоты столба не превышает 0,1 мм., что достигается использованием конуса 1, совмещаемого с верхней частью мениска ртути.

При точном измерении относительного давления необходимо вводить поправки на отклонение ускорения свободного падения от нормального. При диаметре трубки менее 8 – 10 мм учитывается поверхностное натяжение ртути.

### 3.4 Датчики давления ПД (преобразователи давления) [ 3 ]

- ПД предназначены для измерения давления и преобразования полученных значений в унифицированный сигнал тока 4..20 мА.
- ПД 100-ДИ – преобразователь избыточного давления
- ПД 100-ДА – преобразователь абсолютного давления
- ПД 100-ДГ – преобразователь гидростатического давления

#### **Назначение прибора ПД100-ДИ М.**

ПД100-ДИ М — преобразователь избыточного давления (тензопреобразователи или датчики давления) применяется в распределительных сетях ЖКХ (вода, тепло), на тепловых пунктах, компрессорных станциях, в пищевой промышленности и др. Благодаря новой цифровой схеме датчики ПД100-ДИ М обладают повышенной надёжностью и помехоустойчивостью.

В микропроцессорных датчиках реализована современная технология цифровой компенсации для корректировки «нуля» и диапазона измерения. ПД100-ДИ М может быть конфигурирован и калиброван с использованием средств наладки/калибровки (ПК или специального коммуникатора). Основные функциональные возможности рис 3.8.

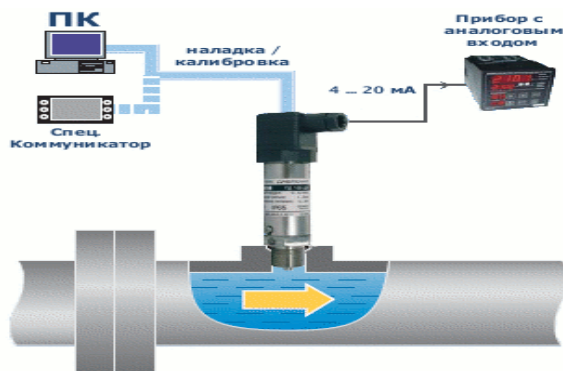


Рис. 3.8 Измерение избыточного давления нейтральных к титану и нержавеющей стали сред (воздух, пар, различные жидкости).

- **Верхний предел измеряемого давления** — ряд значений от 100 кПа до 100 МПа
- **Класс точности** 0,5 или 1,0.
- **Высокая перегрузочная способность по давлению.**
- **Хорошие показатели временной стабильности выходного сигнала.**
- **Высокая степень защиты корпуса датчика давления** — IP65.
- **Повышенная устойчивость к воздействию электромагнитных помех.**
- **Конфигурирование и калибровка с использованием средств наладки/калибровки** (ПК, специальный коммуникатор).

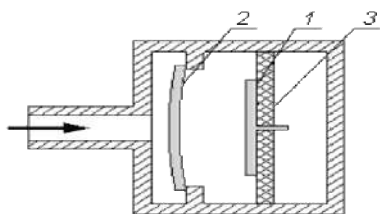


Рис.3.9. Конструктивное исполнение и размеры датчика давления ПД

### 3.5 Электрические приборы для измерения давления [ 3].

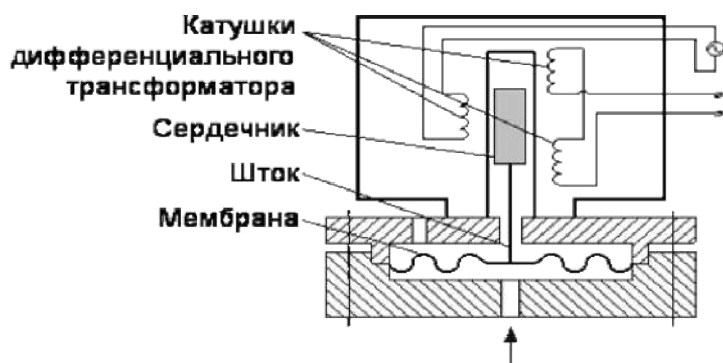
Существует достаточно большое количество способов преобразования давления в электрический сигнал, однако наибольшее распространение получили приборы, основанные на емкостном, магнитном и тензометрических принципах.

**Емкостные преобразователи давления.** Одной из основных конструкций емкостного преобразователя давления является одностаторная, в которой чувствительный элемент (мембрана) образует одну пластину конденсатора и перемещается относительно его другой неподвижной пластины (рис.3.10).



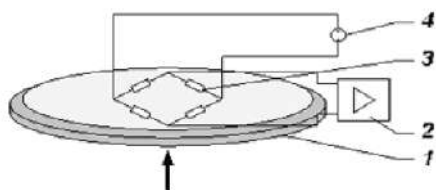
**Рис.3.10 Емкостный преобразователь давления:** 1 – неподвижная пластина конденсатора; 2 – мембрана; 3 – изолятор

**Магнитные преобразователи давления.** Основным элементом магнитных преобразователей (рис. 3.11.) является дифференциальный трансформатор, измеряющий перемещение механического чувствительного элемента. В качестве чувствительных элементов могут, например, использоваться сильфон или трубка Бурдона.



**Рис.3.11. Магнитный преобразователь давления**

**Тензорезисторные преобразователи давления.** Тензорезисторные чувствительные элементы представляют собой металлическую и(или) диэлектрическую измерительную мембрану, на которой размещаются тензорезисторы (чаще всего в виде уравновешенного измерительного моста) с контактными площадками для подключения к внутренней или внешней электроизмерительной схеме. Деформация мембраны под воздействием внешнего давления приводит к локальным деформациям тензорезисторного моста и его разбалансу, который измеряется электронным блоком (рис. 3.12).



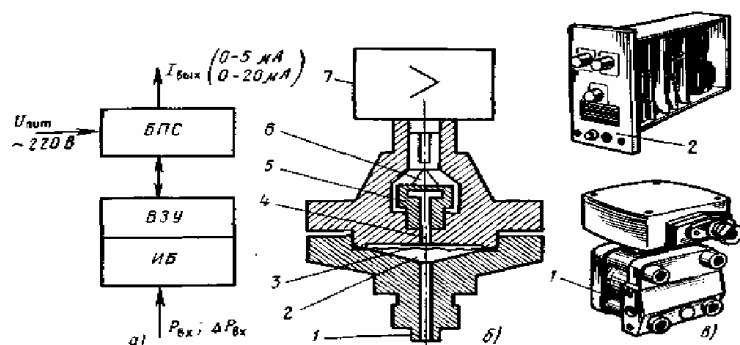
**Рис.3.12 Тензорезисторный преобразователь давления:** 1 – мембрана; 2 – измерительная схема; 3 – тензометрический мост; 4 – источник питания

Поскольку чувствительность полупроводниковых тензорезисторов в десятки раз выше, чем у металлических, и, кроме того, интегральная технология позволяет в одном кристалле кремния формировать одновременно как тензорезисторы, так и микроэлектронный блок обработки, то в последние годы получили преимущественное развитие интегральные полупроводниковые тензорезисторные чувствительные элементы. Особенно широкое применение в изготовлении тензорезисторных преобразователей в силу своих высоких механических, изолирующих и теплоустойчивых качеств получила технология «кремний на сапфире».

Электрические преобразователи давлений типа «Сапфир», применяемые в промышленности и в энергетике в частности, имеют ряд модификаций (табл. 3.1) получили широкое применение в автоматизации процессов, в том числе взрывоопасных производствах. Такие приборы имеют унифицированный электрический выходной сигнал постоянного тока 0—5; 0—20; 4—20 мА.

**Таблица 3.1. Модификации и область применения электрических преобразователей «Сапфир»**

Тип преобразователя	Измеряемая величина
Сапфир-22ДА, Сапфир-22М-ДА	Абсолютное давление
Сапфир-22ДИ, Сапфир-22М-ДИ	Избыточное давление
Сапфир-22ДВ, Сапфир-22М-ДВ	Разрежение
Сапфир-22ДИВ, Сапфир-22М-ДИВ	Давление — разрежение
Сапфир-22 ДД, Сапфир-22М-ДД	Разность давлений



**Рис. 3.13 Преобразователь Сапфир-22:**

а — блок-схема: ИБ — измерительный блок, ВЗУ — встроенное электронное устройство, БПС — блок преобразования сигнала; б — конструкция: 1 — штуцер, 2 — камера, 3 — стальная мембрана, 4 — наполнитель (кремнийорганическая жидкость), 5 — тензопреобразователь, 6 — выводы, 7 — электронное устройство; в — общий вид: 1 — датчик, 2 — электронный блок

На рис.3.13 представлена конструкция преобразователя «Сапфир». Под действием измеряемого давления  $P$  изменяется степень напряженного состояния вмонтированного тензорезистора. Пропорционально деформирующей силе изменяется электрическое сопротивление тензорезистора. Сигнал тензодатчика преобразуется в электрический сигнал стандартного значения электронным устройством.

В качестве чувствительного элемента преобразователей используется пластина монокристаллического сапфира с кремниевыми пленочными тензорезисторами, связанными с измерительной мембраной.

В зависимости от пределов измерений используют рычажно-мембранные и мембранные тензомодули измерительных блоков. Внутренняя полость преобразователя, ограниченная мембраной (стальной, гофрированной), заполнена кремнийорганической жидкостью.

Электронное устройство преобразователя «Сапфир» имеет соответствующие устройства для настройки диапазона и нуля выходного сигнала.

### 3.6 Методика измерения давлений в рабочих условиях [ 2]

Метод и средства измерений давления выбирают в зависимости от *требуемой точности, условий проведения измерений, диапазона измеряемых давлений, способов отбора давления и его подвода к измерительным приборам.*

Исходя из надежности работы приборов, конечное значение их шкалы выбирают таким, чтобы оно превышало измеряемую величину при стабильном давлении в 1,5 раза, а при колеблющемся — в 2 раза. В обоих случаях минимальное измеряемое давление должно быть не меньше  $\frac{1}{3}$  диапазона шкалы прибора.

Показания манометров с упругими чувствительными элементами зависят от температуры, поэтому их устанавливают так, чтобы исключить влияние температуры измеряемой и окружающей среды. Дополнительная погрешность этих манометров составляет 0,4% на каждые 10°C.

Место отбора давления *в жидких средах* не рекомендуется выбирать в нижних и верхних точках трубопроводов (во избежание попадания шламов, взвесей и газов в импульсные линии, передающие измеряемый сигнал по давлению от отборного устройства к первичному прибору), а *в газовых средах* — в нижних точках (во избежание попадания влаги в импульсные линии). Длина импульсных линий не должна превышать 50 м, так как с ее ростом увеличивается запаздывание (инерционность) в показаниях приборов для измерения давления, при этом внутренний диаметр линий должен быть от 6 до 15 мм.

Необходимо, чтобы устройства отбора давления не вызывали возмущения течения среды, т. е. края отверстий в стенках трубопроводов не выступали в ее поток.

Давление на важных, с точки зрения надежной эксплуатации, технологических участках (давление питательной воды, перегретого пара) измеряют первичными манометрами, снабженными передающими преобразователями ко вторичным приборам, расположенным на БЦУ.

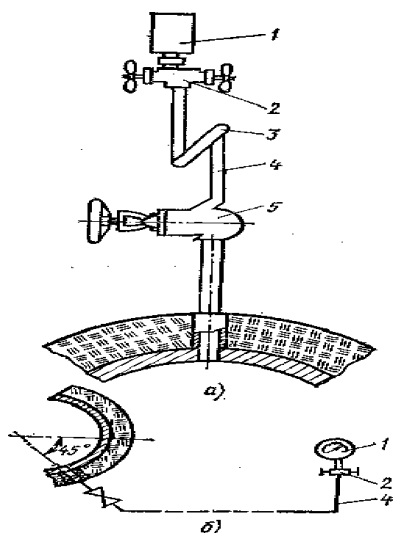
Для контроля давления различных сред в вспомогательных объектах применяют показывающие манометры прямого действия, устанавливаемые по месту или на местном щите управления в удобных для монтажа и обслуживания пунктах, не подверженных действию вибраций, высокой температуры, агрессивных газов, водяных паров. Для показывающих манометров устанавливаются следующие рабочие условия эксплуатации: температура окружающей среды  $t=5 \div 50^\circ\text{C}$ , влажность от 30 до 80%; рабочее положение приборов вертикальное, штуцером вниз.

Приборы для измерения давления с дистанционной передачей измерительных сигналов должны быть удалены от источников магнитных полей (электродвигателей, трансформаторов).

Рассмотрим схемы установки манометров для измерения давления газов, жидкостей и пара. *Схема установки манометра на трубопроводах с паром или питательной водой ( $p=10 \div 40$  МПа,  $t>70^\circ\text{C}$ ) показана на рис.3.14,а.*

Для обеспечения продувки импульсной линии 4, подключения контрольного манометра, включения и отключения рабочего манометра 1 используют трехходовой вентиль 2.

Для предохранения манометра от действия горячей среды на импульсной линии устанавливают кольцо 3, в котором происходит конденсация пара и охлаждение его до температуры окружающей среды. Для ремонта импульсной линии предусмотрен запорный вентиль 5. Если манометр устанавливают на расстоянии от трубопровода более 5 м, кольцо 8 не ставят (рис. 3.14, б).



**Рис 3.14 Установка манометра на трубопроводах**

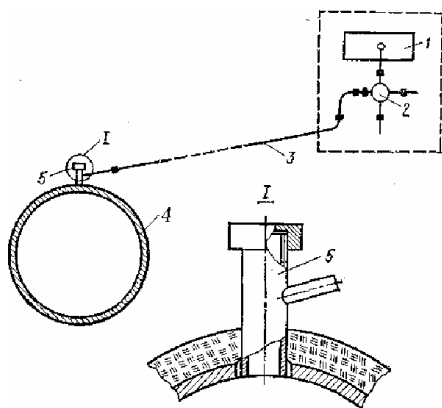
*а* — непосредственно на трубопроводе; *б* — на расстоянии от места измерения

Приборы для измерения давления лучше всего размещать так, чтобы на них дополнительно не действовало давление столба жидкости в линии, иначе в показания манометра вводится указываемая на приборе поправка со знаком «+» (если манометр расположен выше места отбора давления) и «—» (если прибор расположен ниже).

При температуре среды более 25°C также вводится поправка к показаниям на каждые 10°C. При измерении пульсирующего давления (например, в напорной линии насосов) для его сглаживания перед манометром устанавливают дроссель.

В котлоагрегатах необходимо контролировать, близкое к атмосферному, давление газовых сред в топке, газоходах, воздухопроводах. С этой целью используют тягомеры, напоромеры или тягонапоромеры.

**Для измерения напора в газовоздухопроводах** используют схему подсоединений импульсных линий к первичному прибору 1 (рис.3.15).



**Рис. 3.15 Схема подсоединений импульсных линий к объекту при измерении в нем давления газа напоромером или тягомером**

Из газовоздухопровода 4 с помощью отборного устройства 5 давление по импульсной трубке 3 подается к крану-переключателю 2, который обеспечивает подключение к одному прибору 1 нескольких импульсных линий. Отборные устройства 5, устанавливаемые в местах с небольшими скоростями газа, должны иметь на конце срез, параллельный направлению потока и выполненный заподлицо с внутренней поверхностью стенки трубопровода. При измерении



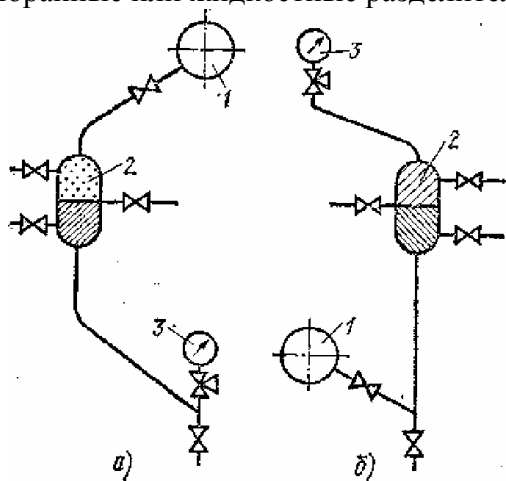
давления влажного газа соединительная линия должна иметь уклон в сторону отборного устройства. Если это невозможно, в низких точках линии устанавливают конденсатосборники.

В верхней части горизонтальных и наклонных участков газовоздухопроводов размещают отборные устройства.

*При измерении разрежения в топке котла* учитывают наличие пульсаций. Для обеспечения нормальной работы упругих элементов приборов необходимо устанавливать в импульсных линиях пневматические дроссели. Отборные устройства и импульсные линии для устранения пыли и влаги периодически продувают сжатым воздухом под давлением 0,1—0,3 МПа.

Вакуумметр присоединяют к конденсатору турбины так, чтобы на результаты измерения не влиял скоростной напор отработавшего пара. Образование влаги в импульсных линиях также может сильно исказить показания прибора. Поэтому эти линии прокладывают без перегибов, с уклоном не менее  $10^\circ$  и с установкой конденсатоотводчиков. Все места соединений тщательно уплотняют.

*При измерениях давления в трубопроводах агрессивных сред*, а также сред, застывающих при обычных температурах воздуха (например, мазут), в местах отбора давления размещают мембранные или жидкостные разделительные сосуды (рис. 3.16, а, б).



**Рис. 3.16. Измерение давления среды с установкой разделительных сосудов:**

*а* — при плотности агрессивной среды меньше плотности нейтральной жидкости, *б* — при плотности агрессивной среды больше плотности нейтральной жидкости

В мембранном разделительном сосуде 2 внутреннюю полость пружины манометра 3 и пространство до мембраны заполняют специальной жидкостью, при этом жесткость мембраны разделительного сосуда должна быть намного меньше жесткости чувствительного элемента прибора. Мембранные разделители вносят в показания прибора дополнительную погрешность около 1 %.

В жидкостных разделительных сосудах применяют нейтральную жидкость, контактирующую с пружиной манометра и с агрессивной средой, давление которой измеряют, при этом плотность жидкости должна существенно отличаться от плотности измеряемой среды.

Показания манометров обеспечивают не только экономичную, но и безопасную работу энергетического оборудования, поэтому рабочие средства измерений давления подвергают периодическим поверкам образцовыми грузопоршневыми манометрами.

### 3.7. Грузопоршневой манометр[3]

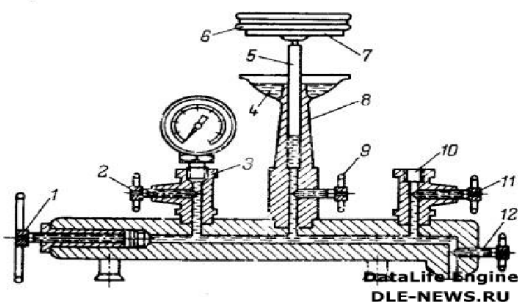
В поршневых манометрах измеряемое давление уравнивается силой тяжести уплотненного поршня с грузами с учетом сил жидкостного трения.

Манометры используют в качестве образцовых средств воспроизведения единицы давления в диапазоне от 10-1 до 1010 Па, а также для точных измерений давления в лабораторной практике.

В этих приборах измеряемое давление определяется по величине нагрузки, воздействующей на поршень определенной площади.

Грузопоршневые манометры имеют высокую точность (0,02; 0,05; 0,2) и широкий диапазон измерения (0,1- 250 МПа). Г

Грузопоршневой образцовый манометр МП-60 (рис 3.17), предназначенный для поверки технических манометров с одновитковой трубчатой пружиной состоит из вертикального цилиндра 8 с тщательно пригнанным стальным поршнем 5, на верхнем конце которого закреплена тарелка 7 для укладки образцовых грузов 6, имеющих форму дисков.



**Рис. 3.17 Грузопоршневой манометр МП -60**

Воронка 4 служит для заполнения прибора минеральным маслом. Прибор имеет поршневой пресс 1 с манжетным уплотнением. Для установки поверяемых манометров предназначены штуцеры 3 и 10. Игольчатые вентили 2, 9, и 11 служат для перекрытия каналов, вентиль 12 для спуска масла.

Создаваемое грузом давление  $P = m/A$ ,

где  $m$  - масса поршня с тарелкой и грузом;  $A$  - эффективная площадь поршня, за которую принимают сумму площади сечения поршня и половину площади кольцевого зазора между поршнем и цилиндром (обычно  $A=0,996-1,004\text{см}^2$ ).

Пределы измерения прибора 0 – 6 МПа. Класс точности 0,05.

## **4. Измерение расхода, количества, уровня жидкостей и сыпучих тел [3]**

### **5.**

#### **4.1. Единицы и методы измерения расхода и количества вещества**

**Расходом** вещества называется количество вещества (массы или объёма), проходящее через определённое сечение в единицу времени. Объёмными единицами количества обычно служат литр и кубический метр, а массовыми – килограмм и тонна.

Объёмное количество газа, иногда для сравнения, представляют приведённым к **нормальному состоянию**, то есть к абсолютному давлению 101325 Па, температуре 20<sup>0</sup>С и относительной влажности 0%. Предполагается, что измеряемая среда протекает по полностью заполненным трубопроводам или каналам.

Переход от объёмных единиц расхода к массовым и обратно производится по такой формуле:  
 $Q_m = Q_{об} \cdot \rho$ ,

где:  $Q_m$  – массовый расход вещества, кг/ч;

$Q_{об}$  – объёмный расход вещества, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>.

Приборы, измеряющие расход, называются **расходомерами**. В зависимости от рода измеряемого вещества они делятся на расходомеры воды, пара, газа и т. д. Расходомеры бывают показывающими и самопишущими.

Приборы, измеряющие количество вещества, называются **счётчиками и весами**. С их помощью определяется количество вещества, прошедшего по тракту за известный промежуток времени. Для этого отсчитываются показания прибора в начале и конце периода измерения и вычисляется разность этих показаний.

Для определения расхода и количества вещества применяются такие методы измерений: переменного перепада давления, скоростной, объёмный и весовой.

**Метод переменного перепада давления**, имеющий большое практическое значение, основан на изменении статического давления среды, проходящей через искусственное сужение.

**Скоростной метод** основан на определении средней скорости движения потока.

**Объёмный и весовой метод** основан на определении объёма и массы вещества.

Достоинством методов переменного перепада давления и скоростной является сравнительная простота и компактность измерительных приборов, а достоинством скоростного и весового методов – более высокая точность измерений.

В соответствии с применяемыми методами измерений расхода и количества вещества измерительные приборы разделяются на следующие группы:

- расходомеры с сужающим устройством;
- скоростные расходомеры и счётчики;
- объёмные счётчики;
- ротаметры;
- электромагнитные расходомеры;
- автоматические весы.

Все разновидности расходомеров и счётчиков количества имеют ограничения: по температурам, давлениям сред, диаметру трубопроводов и другим условиям.

*К расходомерам постоянного перепада давления* относятся все расходомеры, которые не имеют сужающего устройства.



**Рис. 4.1. Скоростные расходомеры и счётчики, напорные трубки и ареометры**

#### **4.2 Ротаметры**

**Ротаметры** предназначены для измерения небольших объёмных расходов жидкости или газа.

Приборы устанавливают только в вертикальном трубопроводе с восходящим потоком измеряемой среды.



**Рис.4.2** Схема ротаметра, поплавки и внешний вид ротаметров

Изменение расхода вызывает в ротаметре изменение проходного сечения, в результате чего перепад давления остаётся постоянно равным расчётному давлению. Ротаметры имеют равномерную шкалу, откалиброванную в делениях.

В зависимости от устройства ротаметры бывают стеклянные и металлические.

Стеклянные лабораторные это показывающие приборы.

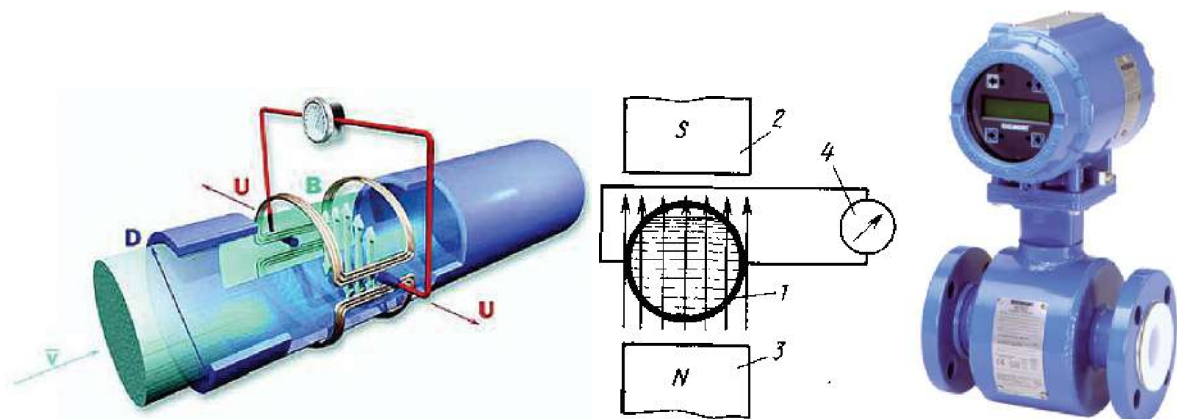
Металлические промышленные -это бесшкальные, с дифференциальным трансформаторным преобразователем, работающим со вторичным прибором.

Указателем для отсчёта служит верхняя кромка поплавка. Поплавок изготавливается из пробкового материала, стали и пластмассы, то есть из материалов легких и прочных.

#### 4.3 Электромагнитные расходомеры [3]

**Электромагнитные расходомеры** применяются для агрессивных сред абразивных или других жидкостей. Эти расходомеры применяются для измерения расхода с удельной электропроводностью от 10 до 10 сименс/метр, с температурой до 170 °С.

Действие их основано на том, что при движении в трубопроводе жидкости поперёк силовых линий магнитного поля, в ней индуцируется ЭДС, величина которой пропорциональна средней скорости потока.



**Рис.4.3** Принципиальная схема электромагнитного расходомера

Корпус 1 преобразователя изготовлен из немагнитного металла с эл. изоляцией 2 (резина, эмаль, фторопласт) расположен между полюсами магнита. Через стенку трубы, изолированной от неё по диаметру, введены электроды находящиеся в эл. контакте с жидкостью. Силовые линии магнитного поля направлены перпендикулярно потоку среды. Возникает ЭДС, который определяет измерительный прибор.

#### 4.4 Тахометрические расходомеры жидкости[3]

Чувствительным элементом этих расходомеров – счётчиков, является вертушка с лопастями, приводимое во вращение потоком воды (рис 4.4).

Ось вертушки через передаточный механизм (редуктор) связана со счётным устройством прибора. Средняя скорость потока пропорциональна частоте вращения вертушки. При малых расходах эта пропорциональность нарушается из-за наличия сил трения в подшипниках и из-за перетока жидкости между вертушкой и корпусом прибора.

Для выравнивания потока перед счётчиком располагают струевыпрямитель и предусматривают прямые участки трубопровода перед и за прибором.

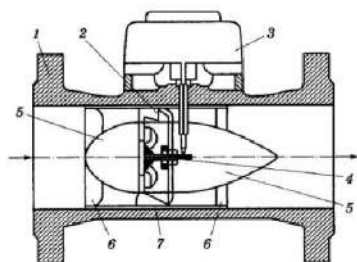


Рис. А.



Рис. Б.

**Рис.4.4 А. Турбинный (тахометрический) газовый счетчик**

**Рис.4.4. Б. Турбинный счетчик воды**

1-корпус; 2- турбина; 3- счетчик; 4- червячная передача; 5-обтекатель; 6-неподвижная направляющая лопатка; 7-гильза.

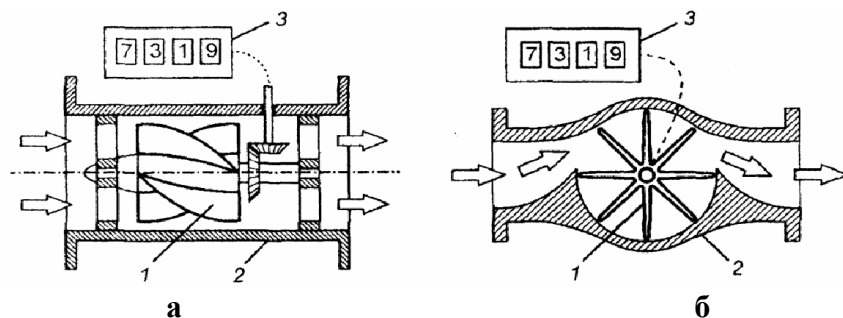
Счётчики изготавливаются для измерения расхода *холодной воды до 30 °С и горячей воды до 90 °С* и имеют крыльчатку из пластмасы или металла соответственно. По форме крыльчатки, счетчики разделяются на **крыльчатые и турбинные** (винтовые).

Ось вертушки в этих счетчиках расположена перпендикулярно потоку -у крыльчатых и параллельно- у турбинных рис 4.5.

Крыльчатые счетчики предназначены для установки в горизонтальных трубопроводах и имеют расход воды до 9 м<sup>3</sup>/час.

Турбинные, устанавливаются в любом положении и измеряют расход до 150 м<sup>3</sup>/час.

Турбинный счётчик воды — ось вращения крыльчатки турбинного расходомера соосна с осью трубопровода, на котором он установлен. Турбинные счётчики выпускаются с диаметром условного прохода от Ду40 и применяются для измерения больших расходов горячей или холодной воды. Для смягчения попадания потока воды на крыльчатку турбинного водомера перед ней устанавливают обтекатель направляющий поток на лопасти под нужным углом.

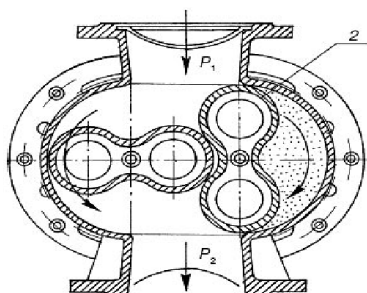


**Рис 4.5 Расположение счетчиков относительно патока жидкости: а-схема объемного счетчика с винтовой турбинкой, расположенной аксиально к потоку: 1 – винтовая турбинка; 2 – корпус; 3 – счетчик;**

**б** –счетчик с турбинкой, расположенной тангенциально к потоку: 1 – турбинка; 2 – корпус; 3 – счетчик

#### 4.5 Ротационные расходомеры

Ротационный (роторный) счетчик — камерный счетчик газа, в котором в качестве преобразовательного элемента применяются восьмиобразные роторы. **Ротационный газовый счетчик** типа РГ рис. 4.6, состоит из корпуса 1, внутри которого вращаются два одинаковых восьмиобразных ротора 2 передаточного и счетного механизмов, связанных с одним из роторов. Роторы приводятся во вращение под действием разности давлений газа, поступающего через верхний входной патрубок и выходящего через нижний выходной патрубок. При вращении роторы обкатываются своими боковыми поверхностями.



**Рис.4.6 Ротационный счетчик газа типа РГ**

1 — корпус; 2 — ротор.

Синхронизация вращения роторов достигается с помощью двух пар одинаковых зубчатых колес, укрепленных на обоих концах роторов в торцевых коробках вне пределов измерительной камеры-корпуса. Для уменьшения трения и износа шестерни роторов постоянно смазываются маслом, залитым в торцевые коробки. Объем газа, вытесненный за пол-оборота одного ротора, равен объему, ограниченному внутренней поверхностью корпуса и боковой поверхностью ротора, занимающего вертикальное положение. За полный оборот роторов вытесняются четыре таких объема.

При изготовлении ротационных счетчиков особое внимание обращается на легкость хода роторов и уменьшение не учитываемых утечек газа через счетчик.

Легкость хода, являющаяся качественным показателем малого трения в механизме, а следовательно, и малой потери давления в счетчике, обеспечивается установкой валов роторов на шариковые подшипники, сведением до минимума трения в редукторе и счетном механизме, а также рациональным выбором конструктивных размеров и частоты вращения роторов. Уменьшение утечек газа достигается тщательной обработкой и взаимной подгонкой внутренней поверхности корпуса и трущихся поверхностей роторов.

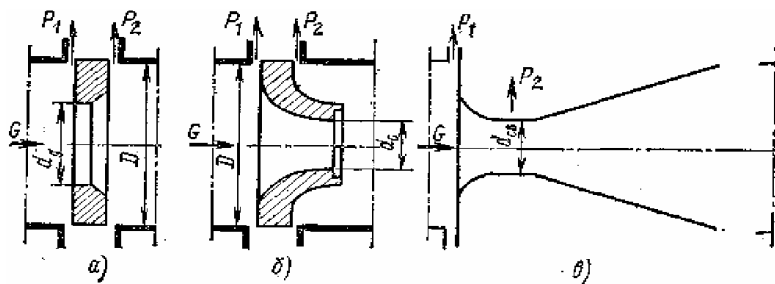
Зазор между корпусом и прямоугольными площадками, расположенными на концах наибольших диаметров роторов, колеблется от 0,04 до 0,1 мм в зависимости от типа счетчика. При изготовлении счетчиков особое внимание уделяется статической балансировке и обработке роторов.

#### 4.6 Расходомеры переменного перепада давления [ 3 ]

**Расходомерами переменного перепада давления** называются измерительные комплексы, состоящие из сужающего устройства (СУ), участка трубопровода вблизи СУ, дифманометра, соединительных линий и дополнительного устройства.

СУ – служат для местного сжатия струи, и является первичным преобразователем (рис 4.7.)

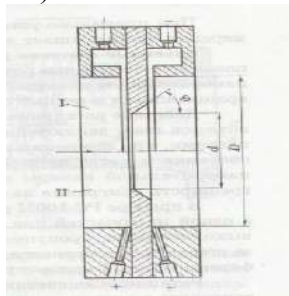




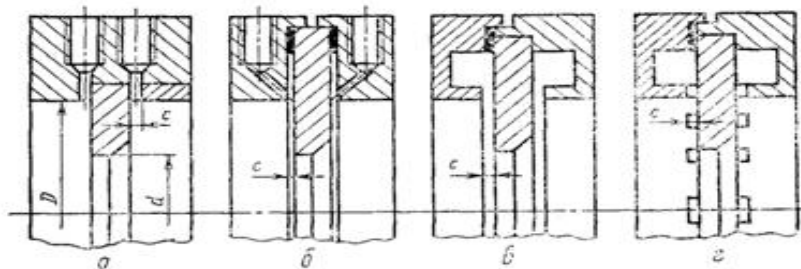
**Рис.4.7 Типы сужающих устройств**

а. диафрагма; б. сопло; в. сопло Вентури.

*По способу отбора давления СУ делятся на:* камерные ( рис 4.8.1) и бескамерные ( рис. 4.8.2.)



**Рис 4.8.1**

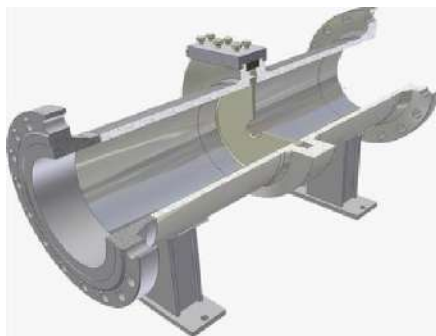


**Рис 4.8.2**

Перепад давления в специальных СУ измеряют через отдельные цилиндрические отверстия ( рис. 4.8.2 а,б) или через две кольцевые камеры, каждая из которых соединяется с внутренней полостью трубопровода кольцевой щелью (рис 4.8.2.в.) или группой равномерно распределенных по окружности отверстий (рис 4.8.2.г.).

При применении отдельных отверстий наилучшие результаты обеспечивает установка специального сужающего устройства в обойму.

Камера перед диском называется плюсовой, за ним минусовой. Наличие камер позволяет усреднить давление по окружности трубопровода и сгладить колебания давления.

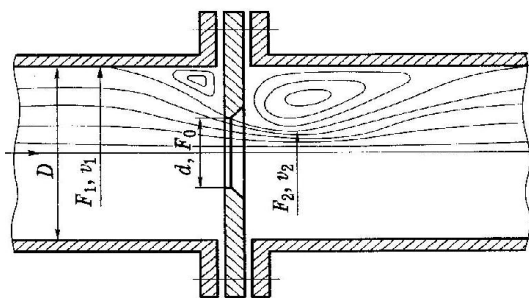


**Рис. 4.8.Общий вид расходомера**



Рассмотрим схему течения газа в трубопроводе с диафрагмой рис.4.9.





**Рис. 4.9 Характер потока в трубопроводе до и после сужающего устройства в виде диафрагмы**

Сжатие струи начинается перед диафрагмой и заканчивается за ней. Далее струя вновь расширяется до полного сечения трубопровода. Перед диафрагмой и за ней образуются зоны с завихрением. Давление перед диафрагмой уменьшается вследствие увеличения скорости, и увеличивается за диафрагмой, но не достигает прежнего значения на величину  $P_n$  в виду потерь на завихрение, удар и трение.

Для изготовления проточной части СУ применяются материалы устойчивые против коррозии: нержавеющая сталь, латунь или бронза.

## **5. Измерение уровня жидкости [ 3]**

Технические средства, применяемые для измерения уровня жидкости, называются **уровнемерами**.

Приборы, предназначенные для сигнализации предельных уровней жидкости, называются **сигнализаторами уровня**.

Измерение уровня жидкости играет важную роль при автоматизации технологических процессов энергетике. Эти измерения особенно важны в тех случаях, когда поддержание некоторого постоянного уровня, например, уровня воды в барабане парогенератора, уровня жидкости в резервуарах, регенеративных подогревателях и других устройствах, связано с условиями безопасной работы оборудования.

### **5.1 Гидростатические уровнемеры [1]**

**Гидростатические уровнемеры**, предназначенные для измерения уровня жидкости с целью поддержания его постоянным, имеют двустороннюю шкалу. Шкала и диаграммная бумага этих уровнемеров градуируются в сантиметрах или метрах, а приборов, применяемых для измерения уровня воды в барабане парогенератора - в миллиметрах.

Уровнемеры, применяемые для измерения по уровню количества жидкости в резервуарах, баках и других устройствах, имеют одностороннюю шкалу. Шкалы и диаграммная бумага этих уровнемеров градуируются в сантиметрах и метрах, а иногда в процентах.

Уровнемеры, применяемые для измерения уровня жидкости с целью поддержания его постоянным в определённых пределах, снабжают устройством для сигнализации предельных отклонений уровня от заданного значения. У сигнализаторов уровня жидкости контактное устройство срабатывает при некотором заданном значении уровня для данного объекта.

Измерение уровня воды в резервуарах, например в конденсаторах паровых турбин ТЭС, имеет важное значение при их эксплуатации. Так при уменьшении уровня в конденсаторе ухудшается напор на всасе конденсатного насоса и снижается вакуум, что ухудшает экономичность работы турбины, а при повышении уровня, в турбину может попасть конденсат. Для большей надёжности уровень контролируют по месту и дистанционно.

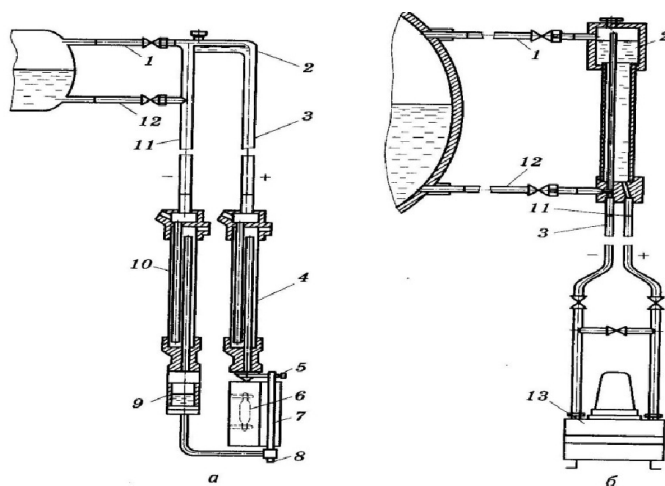
В зависимости от требований, предъявляемых к автоматизации технологических процессов, применяются различные методы измерения уровня жидкости. Если нет необходимости в дистанционной передаче показаний, уровень жидкости с достаточной точностью и надёжностью можно измерять с помощью **водомерных указательных стёкол или показывающими дифманометрами - уровнемерами.**

Измерение уровня жидкости указательными стёклами основано на принципе сообщающихся сосудов. Конструкция арматуры и материал указательного стекла зависит от давления и температуры жидкости, уровень которой необходимо контролировать. Для дистанционного измерения уровня жидкостей, находящихся под атмосферным, вакуумметрическим или избыточным давлением, применяются методы измерения по разности давления с помощью дифманометра, буйковые и поплавковые, ёмкостные, индуктивные, радиоизотопные, волновые, акустические и другие. Например, при измерении буйковым уровнемером об уровне жидкости судят по изменению силы тяжести буйка. Эта сила определяется степенью погружения буйка в жидкость.

Простейшим гидростатическим уровнемером является *водомерное стекло*, представляющее собой стеклянную трубку, длина которой определяется диапазоном измеряемого уровня. Трубка соединяется с внутренней полостью резервуара сверху и внизу. Шкала прибора наносится или на самой трубке, или на пластинке, укреплённой в одном каркасе с трубкой, точность такого устройства определяется ценой одного деления шкалы.

*Ёмкостный, индуктивный, радиоизотопный, акустический методы измерения уровня жидкости в энергетике не применяются, поэтому их мы рассматривать не будем.*

Рассмотрим гидростатический уровнемер для паровых котлов (рис 5.1.)



**Рис. 5.1 Гидростатические уровнемеры для паровых котлов**

**а-** с жидкостным однострубным манометром;

**б-** с мембранным дифференциальным манометром;

1,3,11,12-соединительные медные трубки; 2- уравнильный сосуд; 4,10- грязеуловители; 5- вентиль; 6-лампа с рефлектором; 7- измерительная трубка; 8- пробка; 9- широкий сосуд; 13- дифференциальный манометр.

На рис. 5.1.б. уровнемер состоит из 2-х камерного уравнильного сосуда рассчитанного на давление до 16 МПа, мембранного эл. дифманометра 13 типа ДМ.

В плюсовой камере уравнильного сосуда, соединенной трубкой 11 с паровым пространством барабана котла, уровень конденсата поддерживается постоянным.

Минусовая камера открыта сверху, а снизу соединяется с водяным пространством котла. Уровень воды в этой камере соответствует переменному уровню воды в барабане котла. Давление столбов воды этих камер передаётся по соединительным трубкам 11 и 3 камерам

дифманометра через вентили. Такое построение уравнильного сосуда позволяет уравнивать температуру воды находящейся в нём и увеличивает точность измерения уровня.

Уравнильный сосуд устанавливается строго вертикально. Верхняя трубка 1 прокладывается с уклоном к барабану. Нижняя 12 горизонтально. Установка в этих трубках запорных вентилей не допускается. Трубки покрывают изоляцией. Под действием разности давлений в верхней и нижней камерах плунжер перемещается в индукционной катушке, индуцируя некую величину электродвижущей силы  $E$ , зависящую от уровня воды в барабане и фиксируемую с помощью вторичного прибора.

**Недостатки:**

- необходимость надежной тепловой изоляции уравнильных сосудов при высоких параметрах жидкости;
- появление ошибки в измерении уровня при меняющемся давлении среды в резервуаре.

Для устранения последнего недостатка усложняют конструкцию уровнемера вводят устройство коррекции по давлению, температуре, разности плотностей воды и пара.

## 5.2 Поплавковые уровнемеры [ 3]

**Поплавковые уровнемеры** являются простыми и надёжными устройствами. Они широко применяются для измерения уровня жидкости в различных резервуарах, которые находятся под атмосферным или небольшим избыточным давлением.

В баке, расположенном низко, на поверхности жидкости плавает полый цилиндрический поплавок, закреплённый на рычаге. Этот рычаг насажен на ось, присоединённой к корпусу указателя уровня и стрелке вторичного прибора. При изменении уровня жидкости в баке стрелка указателя перемещается вдоль шкалы с диапазоном показаний от 0 до 400 мм и ценой деления 10 мм.

Указатель уровнемера снабжён реостатным преобразователем для передачи показаний вторичному электроизмерительному прибору, установленному на щите управления турбины, и двумя микропереключателями для сигнализации предельных положений уровня жидкости в резервуаре с помощью сигнальных ламп.

## 5.3 Измерение уровня угля и пыли в бункере [3]

Измерение *уровня или количества угля или угольной пыли в бункере* не отличается большой точностью, так как поверхность пыли и угля в бункере не является плоской.

При поступлении пыли или угля в бункер уровень её приобретает выпуклую форму, а при удалении вогнутую. Кроме того, значительное количество пыли или угля налипает на стенки бункера из-за её влажности. По мере удаления пыли или угля из бункера возможно зависание её, а потом скачкообразное понижение уровня пыли или угля.

Бункеры для кускового и пылевидного топлива на тепловых электростанциях в большинстве случаев имеют форму усечённой пирамиды с направленной вниз вершиной. Они выполняются из армированного бетона или стали. Такая форма бункера оказывает определённое влияние на характер движения топлива. При высоте бункера 8÷10 метров слой топлива в нём подвергается достаточно большому горизонтальному сжатию, что вызывает заметное ухудшение его сыпучих свойств. Из-за возможности этих явлений на внутренней поверхности бункера не должно быть никаких выступов, которые могут исказить характер движения топлива.

Технические средства, предназначенные для измерения и сигнализации уровня сыпучих тел, подразделяют на электромеханические, электрические, электронные, пневматические, радиоактивные и весовые.

Всё это большое число уровнемеров пыли повсеместного распространения не получили по ряду эксплуатационных дефектов и сложности конструкции. Одной из наиболее приемлемых

разновидностей является указатель уровня в виде механического щупа для периодического измерения положения уровня пыли в одной из точек поперечного сечения бункера. Очевидно, что выбранная точка измерения должна быть достаточно представительной. Такие указатели имеют невысокую точность измерения, значительную инерционность действия и недостаточно надёжны в эксплуатации вследствие износа подвижных частей.

Указатель уровня пыли в бункере представляет собой автоматически действующую электролебёдку с измерительным устройством - промежутках между очередными измерениями световое табло показывает результат предыдущего измерения.

## **6. Измерение состава газов, воды, пара.**

### **6.1. Контроль состава газов [2]**

Одним из показателей эффективности работы теплоэнергетических установок является удельный расход условного топлива на выработанный киловатт-час электроэнергии или на единицу выработанной теплоты. Эта величина зависит от многих факторов, основным среди которых является режим сжигания топлива. Топливо должно полностью сгорать, тогда количество выделяемой теплоты будет максимальным.

Поэтому поддержание оптимального режима работы топки парогенератора требует непрерывного контроля количественного и качественного состава дымовых газов. Ведь, кроме того, выброс и состав газов существенно влияет и на экологию окружающей среды, где находится тепловая электростанция.

Средства измерений, предназначенные для количественного определения состава газа, называются газоанализаторами и газовыми хроматографами.

подавляющее большинство промышленных автоматических газоанализаторов предназначено для измерения концентрации *одного компонента в газовой смеси*. Существуют газоанализаторы, предназначенные для анализа различных составляющих *многокомпонентных газовых смесей*.

Газоанализаторы градуируются в процентах по объёму, г/м<sup>3</sup>, мг/л. Первая единица измерения является более удобной, так как процентное содержание компонентов газовой смеси сохраняется при изменении температуры и давления.

Газоанализаторы в отличие от средств измерения температуры, давления представляют собой установку, содержащую кроме измерительного преобразователя (приёмника) ряд устройств, обеспечивающих отбор, подготовку и транспортирование пробы газа через прибор.

Для газоанализаторов характерно наличие двух групп приборов. В первую группу входят измерительные приборы, во вторую – индикаторы, сигнализаторы, детекторы утечки газов. Приборы второй группы в основном являются переносными, более простыми по конструкции и имеют меньшее число вспомогательных устройств.

#### ***Классификация газоанализаторов:***

- 1. Автоматические*
- 2. Переносные*

**Автоматические газоанализаторы** служат для непрерывного анализа газов в промышленных установках и бывают показывающими и самопишущими, имеют дистанционную передачу показаний на щиты управления.

**Переносные газоанализаторы** служат для контактных измерений и лабораторных исследований.

#### ***По принципу действия газоанализаторы (ГА) делятся на:***

- 1. Терромагнитные.*
- 2. Электрохимические.*

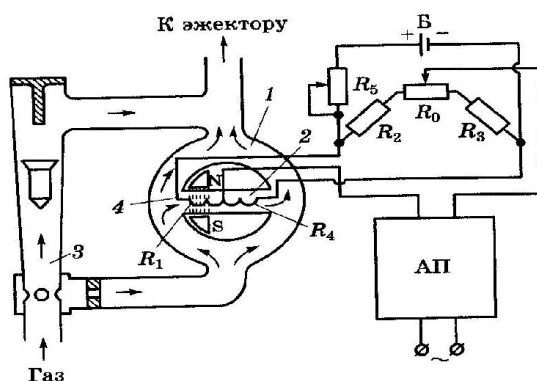
3. Химические.
4. Хроматографические.

Шкалы этих приборов градуируются в процентах объемного содержания отдельных компонентов в газовой смеси.

В общем случае в дымовых газах котлоагрегата содержится: азот, кислород, двуокись углерода, водяной пар, двуокись серы, водород, метан.

## 6.2. Автоматические термомагнитные ГА [1]

Автоматические термомагнитные газоанализаторы служат для определения содержания в дымовых газах кислорода, магнитные свойства которого отличаются от других газов (рис 6.1).



**Рис.6.1 Принципиальная схема магнитного газоанализатора на  $O_2$**

1-кольцевая камера; 2-горизонтальная трубка; 3-ротамерт; 4-постоянный магнит; АП-автоматический потенциометр; Б- источник постоянного тока;  $R_0$ ,  $R_5$  -реостаты;  $R_1$ - $R_4$ - плечи моста сопротивления; N-S -полюса постоянного магнита;

Газовая смесь, просасываемая водоструйным эжектором, поступает в кольцевую камеру 1 из немагнитного материала. Расход газа поддерживается постоянным с помощью ротаметра 3, пропускающего избыточную часть газа в обход камеры. Кольцевая камера 1 посередине соединена горизонтальной трубкой 2, внутри которой помещены одинаковые активные плечи электрического сопротивления  $R_1$ - $R_4$  неуравновешенного моста (платиновые термометры сопротивления ТСП).

Под действием тока активные плечи моста нагреваются до температуры  $200^\circ C$ . Два других плеча  $R_2$  и  $R_3$  выполнены из манганина и имеют постоянное сопротивление.

Реостат  $R_0$  служит для установки электрического нуля прибора. Питание моста производится от источника тока Б с реостатом  $R_5$  для регулировки силы тока. В другую диагональ включен автоматический потенциометр (АП) со шкалой, градуированной в % содержания  $O_2$ . Постоянный магнит 4 создает неоднородное магнитное поле и проходящий около него газ втягивается в магнитное поле и вытесняет более нагретый газ, то есть возникает термомагнитная конвекция в горизонтальной трубке, скорость которой зависит от содержания кислорода в газе.

Плечо  $R_1$  охлаждается сильнее чем  $R_4$  т.к. омывается более холодным газом. Поэтому оно имеет меньшее сопротивление, что приводит к нарушению равновесия моста и отклонению указательной стрелки потенциометра. Разбаланс моста будет тем сильнее, чем больше содержится кислорода в исследуемом газе.

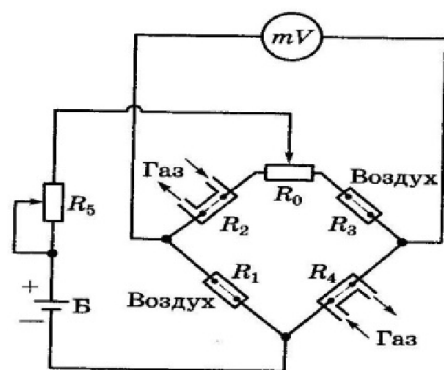
Отбор пробы для АГ производится газоотборным устройством, который помещается в поток газа, при отсутствии завихрения и др. возмущений потока.

ГА устанавливается в прямых вертикальных участках газохода с нисходящим потоком газа, с температурой  $\approx 600^\circ C$ . Температура газа при поступлении в прибор  $\approx 35^\circ C$ .

### 6.3. Электрические газоанализаторы (рис 6.2)

**Принцип действия** основан на использовании свойств высокотемпературной гальванической ячейки, которая обладает кислородоионной проводимостью.

Отрицательный электрод омывается атмосферным воздухом, выполняющего роль сравнительного газа, а второй электрод омывается потоком дымовых газов. Помещённая в газопровод гальваническая ячейка развивает ЭДС (от платиновой термопары, которая зависит от температуры газа и парциального давления кислорода в нём).



**Рис. 6.2. Принципиальная схема электрического газоанализатора на  $CO_2$ :**

$R_0$ ,  $R_5$  -реостаты;  $R_1$ - $R_4$ -плечи для сопротивления;  $B$ - источник постоянного тока;  $mV$  - милливольтметр.

**Достоинство:**

- простое устройство;
- не требуют отбора пробы газа;
- чувствительный элемент этого прибора помещается в газопроводе.

Ячейка работает при температуре от 700 до 1200  $^{\circ}C$ .

### 6.4. Переносные газоанализаторы (химические и хроматографические) [ 3].

#### 6.4.1.Химические газоанализаторы.

**По назначению** химические ГА, делятся для частичного и общего анализа газа.

**Химические ГА** производят определение процентного содержания отдельных компонентов газовой смеси путём поглощения (абсорбции) их соответствующими хим. реактивами.

Принцип действия объемных химических газоанализаторов рассматривается на примере газоанализатора ГХП-2 (рис. 6.3), предназначенного для измерения двух компонентов газовой смеси:  $CO_2$  и  $O_2$ .

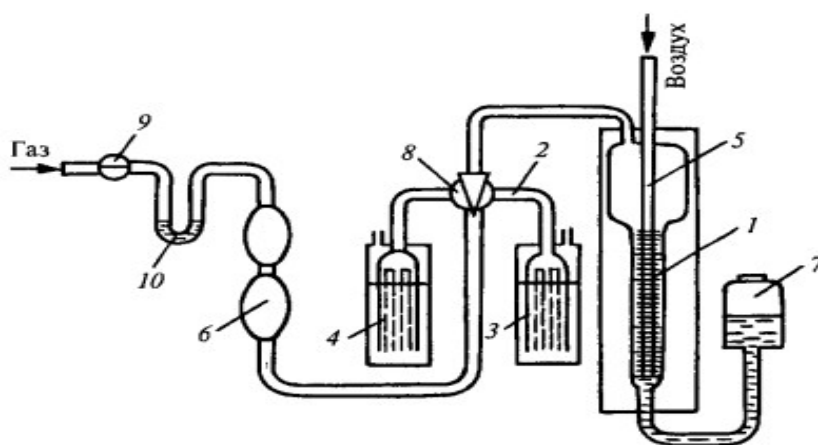
Прибор включает в себя измерительную бюретку 1, соединенную с гребенкой 2, к которой подключены два поглотительных сосуда 3, 4. Сосуд 3 заполнен раствором едкого калия и предназначен для поглощения  $CO_2$ , сосуд 4 содержит щелочной раствор пирогаллола для поглощения  $O_2$ .

Поскольку последний раствор поглощает  $CO_2$ , при проведении анализа вначале определяют содержание  $CO_2$ , а затем кислорода. Внутри мерной бюретки находится сообщающаяся с

атмосферой трубка 5, которая используется для контроля давления пробы газа после поглощения определяемого компонента. Мерная бюретка термостатирована.

Отбор пробы при открытом кране 9 и прокачивание газа через прибор осуществляются резиновой грушей 6. При прокачивании газа кран 8 находится в положении, показанном на рисунке, напорный сосуд 7 с запирающей жидкостью опущен и газ через трубку 5 выталкивается в атмосферу. При подъеме напорного сосуда 7 запирающая жидкость при достижении конца трубки 5 отсекает от атмосферы пробу газа объемом 50 см<sup>3</sup>. В двух других положениях крана 8 проба газа в мерной бюретке 1 сообщается с сосудами 3 и 4.

Фильтр 10 служит для очистки газа. В качестве запирающей используется жидкость, не поглощающая компоненты анализируемой газовой смеси; часто применяются насыщенные растворы поваренной соли или хлористого кальция.



**Рис. 6.3** Схема газоанализатора ГХП-2:

1 — измерительная бюретка; 2 — гребенка; 3, 4 — поглотительные сосуды; 5 — трубка; 6 — резиновая груша; 7 — напорный сосуд; 8, 9 — краны; 10 — фильтр.

Цена деления мерной бюретки ГХП-2 составляет 0,1 мл. При предельной погрешности измерения объема  $\pm 0,1$  мл погрешность в оценке остаточного объема пробы составляет  $\pm 0,2$  %.

**Недостаток:**

- невысокая точность оценки изменения объема;
- невозможность использовать для измерения малых концентраций.

#### 6.4.2 Хроматографический газоанализатор [2].

*Хроматографические газоанализаторы предназначены* для анализа многокомпонентных газовых смесей, состава жидкостей и твердых тел.

Хроматографы являются приборами периодического действия, более сложными по устройству, чем рассмотренные газоанализаторы.

Процесс измерения в этих приборах распадается на две стадии: **хроматографическое разделение** газовой смеси на отдельные компоненты и **идентификация (детектирование) компонентов**, включающая качественный и количественный их анализ.

Хроматографическое разделение смеси на отдельные компоненты, открытое в 1903 г. М.С. Цветом, осуществляется за счет различной скорости движения газов вдоль слоя сорбента, обусловленной характером внешних и внутренних межмолекулярных взаимодействий.



Хроматографию можно использовать для анализа низкокипящих газов, смесей летучих и термически стойких твердых и жидких веществ, температура кипения которых достигает 500°C и выше.

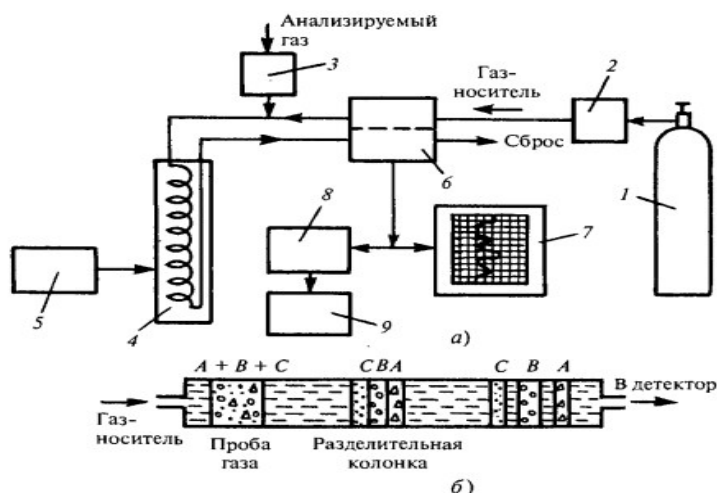
**Преимущество:**

- высокая чувствительность (достигающая при использовании ионизационных детекторов  $10^{-11} \dots 10^{-12}$  г/см<sup>3</sup>) в сочетании с малым объемом отбираемой пробы,
- сравнительно высокая точность
- малое время анализа.

Принципиальные схемы хроматографа и разделения смеси газов в колонке представлены на рис.6.4.

Из баллона 1 газ-носитель поступает в хроматограф. Для поддержания в процессе работы постоянной скорости газа-носителя используется регулятор 2, содержащий редуктор, манометр и измеритель расхода газа. В газ-носитель дозатором 5 периодически вводится проба анализируемого газа. В разделительной колонке 4, заполненной твердым или жидким сорбентом, анализируемая смесь разделяется на компоненты.

Вдоль слоя сорбента с большей скоростью движутся наименее сорбируемые газы. Поэтому в пробе смеси газов, содержащей три компонента А, В и С, первым выносятся наименее сорбируемый газ А, а последним — хорошо сорбируемый С. После разделения каждый компонент с газом-носителем образует бинарную смесь, анализ которой может быть произведен различными методами, в том числе рассмотренными выше и реализуемыми в детекторе 6.



**Рис. 6.4. Принципиальная схема газового хроматографа:** 1 — баллон; 2 — регулятор; 3 — дозатор; 4 — разделительная колонка; 5 — терморегулятор; 6 — детектор; 7 — регистрирующий прибор; 8,9 — микропроцессорное и цифropечатающее устройств

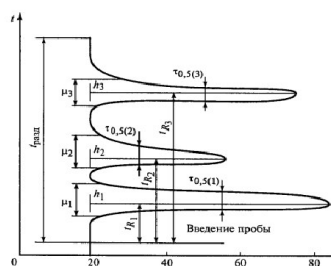
Поскольку в процессе измерения свойства газа-носителя могут меняться, при пропускании последнего через детектор фиксируются изменения его свойств, вызванные присутствием компонента анализируемой смеси.

Для улучшения разделения компонентов температурный режим колонки может меняться с помощью терморегулятора 5 с программным управлением. Выходной сигнал детектора 6 подается на регистрирующий прибор 7, микропроцессорное 8 и цифropечатающее 9 устройства. На диаграмме самопишущего прибора 7 выход каждого из компонентов сопровождается пиком, площадь которого зависит от концентрации этого газа.

График, фиксирующий выход компонентов, называют хроматограммой. Использование микропроцессорного измерительного устройства с соответствующим интерфейсом обеспечивает

автоматический анализ хроматографического разделения и позволяет ввести информацию о составе газов в АСУ ТП.

Хроматограмма (рис.6.5) является носителем как качественной информации о виде компонентов смеси, так и количественной об их концентрации.



**Рис. 6.5 Хроматограмма разделения смеси трех компонентов.**

Значение последней определяется площадью пика или его высотой. Поскольку разделение газов осуществляется за счет их различных сорбционных свойств, время выхода того или иного компонента при постоянной скорости газа-носителя определяет вид газа.

### 6.5. Методы контроля качества воды и пара [2,3].

Широкое внедрение в энергетику мощных энергоблоков на высокие и сверхкритические параметры привело к необходимости организации надёжного автоматического непрерывного и периодического химического контроля за водным режимом электростанций и работой установок водоочистки и конденсатоочистки.

Для осуществления контроля за водным режимом электростанций и работой установок очистки воды и конденсата необходимо измерять разнообразные показатели качества отличающихся по химическому составу сред.

Эти среды находятся под различным избыточным давлением, имеют различную температуру, отличаются по количеству механических и других примесей. Вследствие этого во многих случаях для снижения давления и температуры, а также для удаления механических примесей или растворённых газов из пробы контролируемой среды необходимо перед первичным преобразователем устанавливать специальные дополнительные устройства.

Для отбора представительной пробы среды используют различные пробоотборные устройства. Применение дополнительных устройств позволяет создать для первичных измерительных преобразователей одинаковые нормальные эксплуатационные условия и повысить точность измерений.

В настоящее время уделяется огромное внимание экологии и охране окружающей среды. Одним из важных моментов работы по охране окружающей среды является контроль за состоянием естественных и искусственных водоёмов и анализ сбросных вод электростанций.

К числу наиболее распространённых **методов анализа** постоянного химического контроля качества воды и пара на электростанциях относятся: **кондуктометры (или солемеры), кислородомеры, водородомеры, определители натрия, кремнемеры, жесткомеры и рН-меры.**

Измерительные преобразователи этих приборов имеют выходной сигнал постоянного тока и работают в комплекте со вторичными приборами: автоматическими показывающими и самопишущими миллиамперметрами, снабжёнными сигнализирующими устройствами.

Отбор проб воды и пара из трубопроводов в характерных точках пароводяного тракта для определения содержания вредных веществ производится с помощью пробоотборных зондов, устанавливаемых с помощью сварки на прямых участках трубопроводов.

При отборе проб зонды устанавливают так, чтобы входное отверстие было направлено навстречу потоку. Глубина погружения зондов в трубопровод должны быть не менее  $0,25 \div 0,5$  внутренних диаметров трубопровода. Проба воды, пара или конденсата, поступающая в первичный преобразователь измерительного прибора, должна иметь температуру не более  $40^{\circ}\text{C}$  и давление не более 0,14 МПа. Расход пробы составляет от 10 до 30 кг/ч.

Подготовка измеряемой пробы (это охлаждение, редуцирование и прочее) производится в отдельности для каждого измерительного прибора с помощью специального пробоподготовительного устройства. Все трубопроводные линии и оборудование пробоподготовительного устройства, соприкасающиеся с отбираемой пробой, изготавливаются из хромоникеливтитанистой стали.

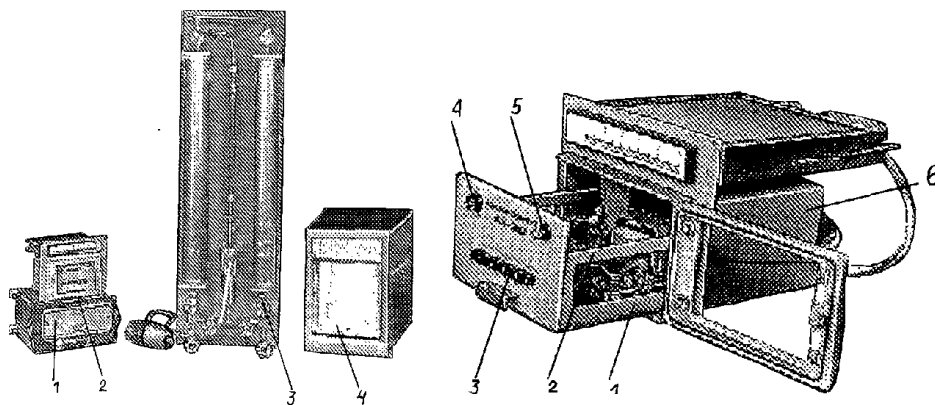
Внутренний диаметр соединительных трубок составляет  $8 \div 10$  мм.

Измерительные приборы и относящиеся к ним пробоподготовительные устройства должны размещаться отдельно друг от друга в смежных вентилируемых помещениях с температурой окружающего воздуха  $15 \div 25^{\circ}\text{C}$ .

### 6.5.1. Кондуктометр автоматический типа АК-310

**Кондуктометр типа АК-310** (рис. 6.6.) предназначен для непрерывного измерения и преобразования в унифицированный электрический сигнал проводимости (УЭП), обусловленной содержанием растворенных солей в паре, питательной и химически обессоленной воде, а также в конденсате турбин.

Принцип действия прибора основан на изменении проводимости раствора в зависимости от его соледержания. Измерение проводимости производится контактным чувствительным элементом. При этом ток, проходящий через заполненный раствором чувствительный элемент, прямо пропорционален проводимости раствора.



**Рис.6.6. Блок преобразователя кондуктометра типа АК-310**

Прибор состоит из блока чувствительного элемента 3, блока преобразователя 2, измерительного преобразователя 1 и микроамперметра 4.

Измерительная **цепь блока преобразователя** выдает соответствующий сигнал на микроамперметр и измерительный преобразователь.

Кондуктометр представляет собой трехдиапазонный прибор с контактным чувствительным элементом.

**Блок чувствительного элемента** состоит из чувствительного элемента и предвключенного Н-катионитового фильтра, соединенных посредством трубок из нержавеющей стали.

Предвключенный Н-катионитовый фильтр представляет собой трубу из нержавеющей стали с внутренним диаметром 70 мм и длиной 600 мм, имеющую с обеих сторон крышки. Верхняя крышка имеет специальный штуцер для выпуска воздуха при заполнении фильтра водой. Под крышками установлены сетчатые фильтры в виде стаканов из полиэтилена, заполненные стекловатой. Корпус сетчатого фильтра служит одновременно уплотнением между корпусом фильтра и крышками.

Блок преобразователя монтируется на щите на расстоянии от блока чувствительного элемента не более 100 м вместе с показывающим прибором, микроамперметром М<sub>1</sub> -730 на вертикальной панели утопленным монтажом. К панели блок преобразователя крепится винтами.

#### **Условия эксплуатации**

##### **1. Параметры контролируемой пробы:**

- температура - 30-40 °С;
- расход не более 30 л/час;
- давление не более 0,1 МПа.

##### **2. Параметры окружающей среды:**

- температура - 5-50 °С;
- относительная влажность (при t не более 35 °С) - 80%;
- атмосферное давление - (630-800) мм рБ.ст.

##### **3. Параметры питания:**

- напряжение - 220<sup>+22</sup> - <sup>-33</sup> В
- частота переменного тока - (50±1) Гц.

##### **4. Технические характеристики:**

- диапазон измерений УЭП, приведенный к температуре 35 °С: (0-0,1), (0-1)мкСм/м (микросименс на метр);
- предел допустимого значения основной приведенной погрешности - ±4% от верхнего предела измерений;
- изменение показаний кондуктометра не превышает половины предела допустимой основной приведенной погрешности:
- 1) при неизменных значениях параметров контролируемой пробы и нормативных условиях эксплуатации в течение 7 суток;
- 2) при отклонении температуры окружающего воздуха от (20±5) °С до любой температуры в пределах от 5 до 50 °С на каждые 10 °С.

Изменение показаний кондуктометра при изменении температуры контролируемой пробы от 35 °С на +5 °С не превышает значения предела допускаемой основной приведенной погрешности. Выходной сигнал при сопротивлении нагрузки 2кОм составляет от 0 до 5 мА.

Время переходного процесса при расходе контролируемой пробы (20±3) л/час не превышает 1 минуты.

Потребляемая мощность - 45 Вт.

#### **6.5.2. pH-метр ( рис 6.7)**

Показателем, *характеризующим химический состав воды*, является концентрация свободных ионов водорода Н<sup>+</sup> в питательной воде. Концентрация водородных ионов характеризует степень кислотности или щёлочности растворов. Молекула воды распадается (диссоциирует) на ионы Н<sup>+</sup> и ионы гидроксильной группы ОН<sup>-</sup>.

Степень диссоциации молекул воды весьма невелика: Н<sup>+</sup>=ОН<sup>-</sup>=10<sup>-7</sup> г·моль/л.

Отрицательный логарифм степени диссоциации  $10^{-7}$  называется показателем  $H^+$  и обозначается рН.

Для нейтральной химически чистой воды показатель рН будет равен 7. При наличии кислоты в воде показатель рН будет меньше 7, а для щелочных растворов – больше 7.

После обработки конденсата гидразином вода на станции должна иметь щелочной характер, что контролируется измерением показателя рН. Для поддержания наиболее благоприятного водного режима на электростанции рекомендуется иметь показатель рН  $8,5 \div 9,5$ . Приборы, предназначенные для измерения рН называются рН-метры.

Автоматический рН-метр может измерять показатель рН контролируемых растворов в пределах  $1,5 \div 14,5$ .

**Прибор рН-метр состоит из первичного прибора, преобразователя и вторичного прибора.** Температура контролируемого раствора обычно лежит в пределах от 5 до  $50^{\circ}C$ .

В качестве **вторичного прибора** используются миллиамперметры и потенциометры. Датчик прибора содержит два специальных электрода измерительный стеклянный и вспомогательный сравнительный, образующих при погружении в исследуемый раствор гальванический элемент, ЭДС которого зависит только от рН и температуры водного раствора. Правильность результатов измерения показателя рН автоматическими приборами будет во многом зависеть от правильности подготовки пробы для анализа. Значение показателя рН существенно зависит от температуры пробы. Поэтому в автоматических приборах вводится устройство температурной компенсации, то есть дополнительный резистор, сопротивление которого зависит от температуры подаваемой пробы. При этом повысились надёжность и точность измерения рН.



**Рис 6.7 Внешний вид рН-метра**

Действие рН-метра основано на измерении величины ЭДС электродной системы, которая пропорциональна активности ионов водорода в растворе — **рН** (водородному показателю). Измерительная схема, по сути, представляет собой вольтметр, проградуированный непосредственно в единицах рН для конкретной электродной системы (обычно измерительный электрод — стеклянный, вспомогательный — хлорсеребряный). Большинство современных стеклянных электродов делают так, что бы в паре с хлорсеребряным ЭДС была примерно равна нулю при  $pH = 7$ , то есть в нейтральной среде.

При основном (щелочном) рН, (но, обычно, не более 14 — предел для стеклянных электродов) напряжение на выходе датчика варьируется от 0 до  $-0,41V$ . При кислотном рН, напряжение на выходе датчика колеблется от 0 до  $+0,41V$ .

## 7. Специальные измерения [2,3]

### 7.1 Устройство для измерения параметров вибрации.

Устройство *предназначено для измерения параметров вибрации* (амплитуда и число циклов) в процессе испытания на усталостную прочность лопаток турбин. Состоит из лазера с механизмом наведения, фотоприёмника и блока обработки информации.

Устройство позволяет измерять амплитуду вибрации с точностью  $\pm 0,005$  мм, существенно улучшить условия труда персонала, обслуживающего испытательное оборудование.

### 7.2 Высокотемпературная тензометрическая установка МЭИ

Установка МЭИ для высокотемпературной тензометрии трубопроводов пара и горячей воды на тепловых и атомных электростанциях предназначена для измерения деформаций наружной поверхности стенки трубопровода под действием возникающих в них механических напряжений, обусловленных различными причинами (внутренним давлением, температурной неравномерностью, самокомпенсацией температурных удлинений, весовой нагрузки и т. д.)

Измерение деформаций осуществляется с помощью двухбазового электромеханического роликового тензометра одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Прибор для измерения паросодержания в трубопроводах ТЭС методом гамма--просвечивания. Этот прибор предназначен для измерения в эксплуатационных условиях среднего по сечению истинного объёмного паросодержания в трубопроводах с двухфазным течением, например влажного пара.

Проектирование и эксплуатация современных энергетических турбоустановок требует знания паросодержания двухфазных потоков. Этот параметр определяет гидравлическое сопротивление, служит для оценки эффективности работы оборудования и является фактором, определяющим эрозию проточной части турбин и трубопроводов. Достаточно точное определение паросодержания является неотъемлемой частью любого исследования двухфазных потоков.

Особенно важно определение паросодержания в эксплуатационных условиях, когда дополнительные врезки в оборудование и искажение режима движения среды нежелательны. Малогабаритность и конструктивные особенности прибора обеспечивают возможность измерения паросодержания в сложных производственных условиях на работающем оборудовании.

Принцип действия прибора основан фиксированном ослаблении узкого пучка жёсткого гамма-излучения при прохождении через трубопровод, заполненный исследуемой средой. Прибор состоит из механической и электронной части и источника радиоактивного излучения.

Механическая часть представляет собой конструкцию, обеспечивающую жёсткое закрепление источника и детектора излучения на трубе. Электронная часть – это блок детектора, состоящая из фотоэлектронного умножителя и монокристалла йодистого натрия, преобразующего энергию ионизирующих гамма-лучей в энергию световых вспышек. Фотоэлектронный умножитель соединён с пересчётным устройством, который суммирует электрические сигналы и представляет их в цифровом виде.

### 7.3 Тахометр

**Тахометр** предназначен для измерения угловых скоростей вращения (чисел оборотов в минуту) вращающихся валов. Тахометры бывают стационарные и переносные (ручные). Стационарный тахометр выпускается типа ТС-100. он может измерять числа оборотов от 150 до 8000 в минуту. Шкала тахометра градуируется с учётом коэффициента тахометра. Коэффициентом тахометра называется отношение числа оборотов в минуту приводного вала к

числу оборотов, показываемому тахометром. Коэффициент тахометра наносится на самой части шкалы в виде дроби.

Тахометры выпускаются типа ТМ и применяются для работы в условиях стационарной установки. Эти приборы охватывают диапазон измерения угловых скоростей от 0 до 16000 об/мин. Преобразование оборотов вала в угловое перемещение стрелки магнитоиндукционным измерительным узлом основано на взаимодействии магнитного поля вращающихся магнитов с индукционными токами, наведёнными этим полем в чувствительном элементе.

Основная допустимая погрешность тахометров при температуре  $+20\pm 5^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности окружающего воздуха от 30 до 80% не превышает в рабочем диапазоне 1% от верхнего предела измерения шкалы. Тахометр типа ТМ надёжно работает при температуре окружающего воздуха от  $-60\pm 5^{\circ}\text{C}$  до  $+60\pm 5^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха до 98% при температуре  $35^{\circ}\text{C}$ .

## **Контрольные вопросы для студентов**

### ***Тема: Средства измерения температуры***

1. Какие существуют температурные шкалы?
2. Какие термометры относятся к термометрам расширения?
3. Что является термометрическим веществом в жидкостных термометрах для измерения различных температур?
4. Какого типа манометрические термометры используются при измерении температур? В чем их отличие?
5. Опишите конструкцию и принцип работы манометрического газового термометра.
6. К какому типу термометров относятся биметаллические термометры?
7. Покажите схематически термометры расширения, применяемые в системах регулирования.
8. Как определяются термо-э.д.с. для термопар с различными электродами?
9. Какие вторичные приборы используются совместно с термопарами? Опишите принцип их действия.
10. Перечислите стандартные промышленные термопары. Для каких температурных диапазонов измерения они предназначены?
11. Что такое термометр сопротивления? Какие термометры сопротивления и их градуировки вам известны?
12. Какие вторичные приборы используются совместно с термометрами сопротивления? Опишите принцип их действия.
13. Опишите методику установки термоприемников при измерении температуры газов, жидкостей и пара.

### ***Тема: Средства измерения давления***

1. Объясните физическую сущность давления. Какие виды давления вам известны?
2. В каких единицах измеряется давление? Взаимосвязь между этими единицами.
3. Проведите классификацию средств измерения давления.
4. Перечислите известные вам жидкостные приборы для измерения давления.
5. Какие поправки необходимо вводить к показаниям жидкостных приборов давления?



6. Какие типы упругих чувствительных элементов используются в приборах давления?
7. Перечислите основные характеристики упругих чувствительных элементов.
8. Покажите схематично конструкцию манометра с трубчатой пружиной.
9. Перечислите электроконтактные приборы давления и укажите их назначение.
10. Для чего предназначаются дифференциальные манометры? Какие их типы вам известны?
11. Какими достоинствами и недостатками обладают дифманометры?
12. Чем отличаются преобразователи давления от измерителей? Какие современные преобразователи давления вам известны?
14. Перечислите основные методы установки приборов давления. Для чего используются жидкостные и мембранные разделители?

### ***Тема: Средства измерения расхода и количества вещества***

1. Приведите классификацию приборов для измерения расхода и количества.
2. Какие приборы относятся к расходомерам переменного перепада давления?
3. Какие сужающие устройства применяются при измерении расходов? Дайте их характеристику.
4. Основные требования к сужающим устройствам. Правила их установки в трубопроводах.
5. Какие параметры среды влияют на точность измерения расхода?
6. Какие приборы относятся к расходомерам обтекания.
7. Какие приборы относятся к тахометрическим расходомерам и счетчикам? Дайте их краткую характеристику.
8. Объясните принцип действия индукционных и ультразвуковых расходомеров. Для каких сред целесообразно их применение?

### ***Тема: Средства измерения уровня***

1. В каких технологических объектах измерение уровня является одним из основных измерений?
2. Какого типа уровнемеры используются в промышленности?
3. Покажите схему поплавкового уровнемера жидкости. Какими преимуществами и недостатками он обладает?
4. Чем отличаются акустические и ультразвуковые уровнемеры? Покажите их структурные схемы и объясните принцип работы.
5. Изобразите принципиальную схему емкостного уровнемера и поясните принцип его работы.
6. Для чего используются уравнительные сосуды при измерении уровня жидкостей с помощью дифманометров-уровнемеров?
7. Покажите различные варианты схем подключения дифманометров-уровнемеров при измерении уровня в барабане паровых котлов.
8. Чем отличаются схемы измерения уровней жидкости в емкостях с избыточным или вакуумметрическим давлением и без него?
9. Какой тип уровнемеров может быть использован для измерения уровня сыпучих тел?

### ***Тема: Средства измерения состава газа, воды и другие приборы***

1. Перечислите классификацию газоанализаторов. Чем они отличаются?
2. Принцип действия термомагнитного газоанализатора. Возможно ли измерить концентрацию углекислого газа с его помощью? Почему?

3. На чем основан принцип действия электромагнитного газоанализатора.
4. Перечислите недостатки химического ГА.
5. Что такое хроматограмма? Где она может быть получена?
6. Перечислите методы контроля качества воды, пара и конденсата. Для каких целей определяют их качество?
7. Средство измерения ионов водорода  $H^+$ .
8. Что такое УЭП?
9. Назовите средства измерения вибрации.

## Литература

### Основные источники:

1. Соколов Б.А. Контрольно-измерительные приборы [Текст]: учеб. Пособие / Б.А.Соколов – М.: Издательский центр «Академия». – 2012. – 64 с. 23.5 см. – 1 000 экз. – ISBN 978-5-7695-5733-0
2. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д, Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232