

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

Бухарский инженерно-технологический институт

**Кафедра: "Машины и оборудование пищевых и
химических производств"**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

**5321700—Информационно-коммуникационные системы управления
технологическими процессами**

Бухара-2019 г.

ВВЕДЕНИЕ

Изучая науку об измерениях и измерительных приборах, будущий специалист получает теоретические знания и представления о фундаментальных основах науки измерений, современных методах измерения технологических параметров (температуры, давления, расхода, уровня, плотности, вязкости, влажности материалов, концентрации растворов, и методы газового анализа), о современных методах передачи информации на расстояние; о подготовке статистических данных; экспериментально-компьютерных методах обработки результатов опытов, приобретает навыки выбора измерительных приборов в зависимости от условий объекта, а также должен иметь представление о современных первичных преобразователях, используемые при измерениях таких как: микрокалориметры, IDC-элементы, емкостные и резисторные сенсоры, полевые транзисторы, масс чувствительные сенсоры, QCM-кварцевые микровесы, SAW- поверхностный акустический резонатор и другие.

Умение использовать по назначению и принципу действия наиболее распространенные измерительные приборы; выбирать методы измерения параметров, в зависимости от условий технологии; выбирать измерительные приборы, отвечающим требованиям технологии по точности измерения; выбирать необходимые преобразователи сигналов, отвечающим требованиям системы; определять погрешности измерительных приборов и давать оценку на пригодность прибора по данному классу точности; осуществлять поверку и определение погрешности измерительных приборов; читать и понимать принципиальные схемы измерительных приборов; выбор метода измерения, в зависимости от технологических условий и требований технологии по точности измерения, вот не полный перечень требований к современным специалистам.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

Измерением называется познавательный процесс, заключающийся в сравнении данной величине с другой, условно принятой за единицу.

$$Q = U g$$

где: Q - измеряемая величина;

U- число, показывающее, сколько единиц имеется в измеряемой величине;

g - единица измерения.

Устройство, применяемое для сравнения измеряемой величины с единицей измерения, называется измерительным прибором.

Все параметры технологических процессов имеют свои единицы измерения по Международной системы единиц СИ ($^{\circ}\text{K}$, $^{\circ}\text{C}$, М, кг/сек , $\text{м}^2/\text{сек}$, н/м^2 , кг/см^2 и т.д).

Измерения физических величин делятся на технические и лабораторные. Технические измерения, осуществляются в промышленности и имеют сравнительно невысокую точность, а лабораторные в научно–исследовательских работах и при поверке приборов, имеют высокую точность измерения.

Поверкой измерительного прибора называется, сравнения его показания, с показаниями более точного прибора, производимое для определения ошибок измерения.

Для определения численного значения измеряемой величины служат прямые и косвенные методы измерения.

Прямые измерения основаны на непосредственном сравнении измеряемой величины с мерами или показаниями измерительных приборов (весы, объемные счетчики и т.д). Например к прямому методу измерения относятся измерения длины – метром, давления–манометром и т. д.

Различают следующие основные методы прямых измерений: методы непосредственного определения, компенсационный (нулевой) и дифференциальный (разностной) методы.

Методом непосредственного определения, значение измеряемой величины прямо преобразуется в выходную величину прибора и прибор непосредственно показывает значение измеряемой величины.

Компенсационный метод состоит в уравнивании неизвестной измеряемой величины известной. Значение измеряемой величины находится после достижения равновесия по значению уравнивающей (известной) величины. К числу таких приборов можно отнести потенциометры, уравновешенные мосты, приборы с силовой компенсацией и коромысловые весы.

Дифференциальный (разностной) метод заключается в том, что прибором определяется разность между измеряемой и некоторой известной величиной, после чего измеряемая величина находится путем алгебраического сложения значения известной величины и полученной разности (например: гастрономические весы).

Косвенные методы измерений предусматривают определение искомой величины Q не непосредственно, а путем прямого измерения одной или нескольких других величин ($A, B, C, \dots$), с которыми она связана функциональной зависимостью. При этом вычисление измеряемой величины производится по формуле

$$Q=f(A,B,C,\dots)$$

Например: определение количества жидкости в баке по уровню.

Измерительными приборами называются, устройства служащие для прямого или косвенного сравнения измеряемой величины с единицей измерения.

По роду измеряемой величины измерительные приборы классифицируются:

1. Термометры и пирометры – для измерения температуры;
2. Манометры, вакуумметры и др. – для измерения давления;
3. Расходомеры и счетчики – для измерения расхода и количества;
4. Уровнемеры – для измерения уровня;
5. Газоанализаторы – для определения содержания анализируемого компонента в газовой смеси;
6. Концентратомеры – для определения концентрации растворов;
7. Плотномеры – для измерения плотности растворов;
8. Вискозиметры – для определения вязкости жидкостей;
9. Влагомеры (Психрометры) - для измерения влажности газов и воздуха и другие (тахометры, тепломеры, дымомеры, указатели перемещения).

Кроме, этого измерительные приборы подразделяются на следующие группы:

I. По назначению:

- а) Технические – рабочие (конструкция простая, прочная, надежная);
- б) Контрольные (для точных измерений и поверки технических приборов);
- г) Образцовые - используются для поверки измерительных приборов;
- д) Эталонные – первичные и вторичные эталоны являются наиболее точными и являются государственными эталонами единиц измерения.

II. По характеру показаний:

- а) Показывающие;
- б) Самопишущие;
- в) Суммирующие (счетчики).

III. По принципу действия:

- а) Механические;
- б) Электрические;
- в) Пневматические;
- г) гидравлические;
- д) радиоактивные.

IV. По месторасположению:

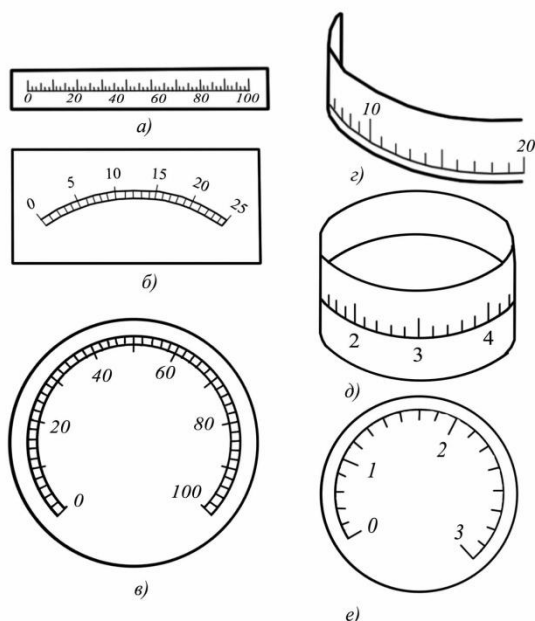
- а) местные - устанавливаются непосредственно в пунктах измерения;
- б) с дистанционной передачей показаний (применяются для централизованного измерения).

V. По габаритам:

Нормальные, малогабаритные и миниатюрные.

Основными элементами измерительных приборов являются измерительный механизм, непосредственно осуществляющее измерение при помощи чувствительного элемента и отсчетное устройство (показывающее самопишущее и суммирующее).

Шкала показывающего прибора может иметь следующие формы:



- а – прямолинейная;
- б – дуговая;
- в – круговая равномерная;
- г – профильная;
- д – барабанная;
- е – круговая неравномерная.

Рис 1.

Отметки на шкале называются **градуировкой**, а численные значения оцифровкой шкалы. Наименьшее подразделение шкалы, выраженное в единицах измерения, носит

название **цены деления** шкалы. Начальная и конечная отметка шкалы определяют нижний и верхний пределы измерения прибора, или диапазон шкалы.

А также шкала прибора может быть равномерной и неравномерной, односторонней и двусторонней. Указательные стрелки приборов выполняются в виде клина, копья (копьевидная) или ножевидной форме (используется в комплекте с точными приборами).

В самопишущих приборах обычно применяются ленточная или дисковая диаграммная бумага.

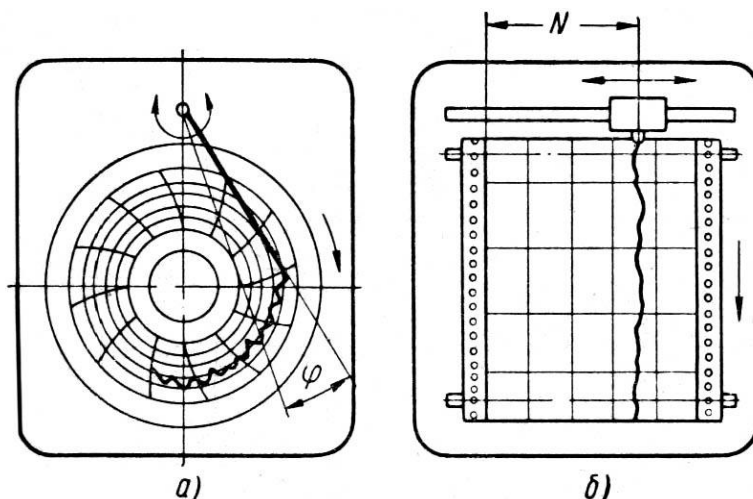


Рис 2.

Для перемещения диаграммы служит механический (часовой механизм) или электрический (синхронный электродвигатель) приводы. Суммирующие приборы для отсчета показаний имеют стрелочный или роликовый счетный механизм.

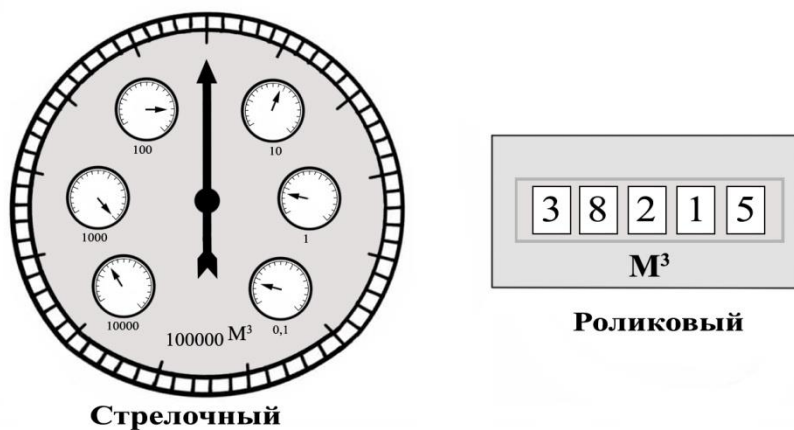


Рис 3.

Прибор, имеющий один корпус, чаще всего является местным, а состоящий из нескольких корпусов — с дистанционной. передачей показаний. Измерительное устройство с дистанционной передачей показаний состоит из первичного и вторичного прибора. В первичном приборе воспринимающая часть комплекта снабжена чувствительным элементом, устанавливаемое в пункте измерения. Вторичный прибор выдает показания измеряемой величины, преобразовывая сигнал, полученный от первичного прибора в соответствующее перемещение отчетного устройства.

Первичные приборы при дистанционном измерении снабжаются первичными преобразователями (датчиками), которые преобразуют измеряемую величину в пропорциональный пневматический или электрический сигнал.

Качество измерительных приборов характеризуется точностью измерения, чувствительностью и быстродействием.

Точность измерительного прибора определяется степенью достоверности его показаний, т.е. насколько результаты измерения отклоняются от действительного значения измеряемой величины.

Чувствительностью прибора называется способность его отзываться на небольшие изменения измеряемой величины. Чувствительность прибора можно выразить отношением линейного или углового перемещения указателя (стрелки) к изменению измеряемой величины вызвавшего это перемещение.

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta A} \quad \text{или,} \quad S = \frac{\Delta \varphi}{\Delta A}$$

это значит, что чем меньше отклонение измеряемой величины отмечается измерительным прибором, тем выше его чувствительность. Чувствительность обратно пропорционально цене деления, поэтому более высокой чувствительностью обладают приборы со шкалой, имеющей небольшую цену деления.

Быстродействие прибора зависит от его инерционности, вызывающий запаздывание показаний.

Для различных приборов существуют свои требования к условиям эксплуатации этих приборов (температура, влажность, вибрации и т. п.).

У нас в республике Узбекистан действует единая государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). Создание ГСП предусматривает широкую унификацию и стандартизацию средств измерения и автоматики. Унификация сигналов (пневматический сигнал 0,02- 0,1 МПа; электрический 0-5; 0-20мА) является основной задачей ГСП.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение физических величин не может быть произведено абсолютно точно вследствие несовершенства измерительных приборов и методов измерения, а также из-за влияния условий измерений. Численное значение ошибок, возникающих при этом, называются погрешностями измерения, т.е. погрешностью измерительного прибора называется разность между его показанием и истинным значением измеряемой величины.

Погрешность измерения может быть выражена в виде абсолютной или, относительной величины.

Абсолютная погрешность «а», выражаемая в единицах измерения представляет собой разность между показанием прибора $A_{п}$, и действительным значением измеряемой величины $A_{д}$,

$$a = A_{п} - A_{д}.$$

а относительная погрешность «b», приводимая в процентах, есть отношение абсолютной погрешности к действительному значению, т.е

$$b = \frac{a}{A_0} 100\%$$

Для определения действительного значения измеряемой величины, в показания прибора вводится поправка "d", численно равная абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком.

В технике применяются приборы, с помощью которых проводят измерения лишь с определенной заранее заданной точностью – допустимой основной погрешностью.

Величины допустимых основных погрешностей, соответствующие нормальным условиям работы приборов, устанавливаются стандартами. По величине допустимых основных погрешностей измерительные приборы подразделяются на следующие классы точности: 0.005; 0.02; 0.05; 0.2; (лабораторные, образцовые и эталонные приборы), 0.35; (контрольные приборы), 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5; (технические приборы).

Условное обозначение **класса точности** соответствует наибольшей основной допустимой абсолютной погрешности «а», отнесенной к диапазону шкалы N и выраженной в процентах, т.е. $\frac{a}{N}100\%$. С другой стороны отношение абсолютной погрешности к диапазону шкалы выраженной в процентах, называется **приведенной относительной погрешностью** β , т.е

$$\beta = \frac{a}{N} 100\%$$

Таким образом, класс точности прибора показывает, какую погрешность может допустить прибор относительно диапазона шкалы прибора (в процентах).

Класс точности обычно обозначается на циферблате прибора.

Погрешность измерения, зависящая от свойств и состояния измерительного прибора при нормальных условиях его работы, называется **основной погрешностью**, а все остальные – дополнительными погрешностями. Для нахождения основной погрешности прибора, он через определенные сроки подвергается проверке, т.е. сравнению его показаний с показаниями более точного прибора, имеющего в несколько раз меньшую погрешность чем поверяемый прибор. Обычно проверку производят в начале при возрастающем значении измеряемой величины (прямой ход), а затем при убывающем (обратный ход).

Наибольшая разность показаний, полученных в том и другом случаях при одном и том же действительном значении измеряемой величины и неизменных внешних условиях, называется **вариацией** показаний прибора. Появление вариации обычно вызывается упругим или термическим последствием чувствительного элемента, трением подвижных частей прибора, наличием зазоров (люфтов) в сочленениях измерительного механизма и прочие.

Вариация показаний прибора γ чаще всего выражается в процентах от диапазона шкалы,

$$\gamma = \frac{A_{np} - A_{обр}}{N} 100\%$$

и должна быть меньше основной допустимой погрешности прибора (класса точности).

Если прибор работает в условиях отличных от нормальных условий, возникает дополнительные погрешности.

Кроме того, погрешности измерения в зависимости от их характера делятся на **систематические, случайные и грубые**.

Систематическими называются погрешности, причины появления которых достаточно хорошо известны.

Случайные погрешности не подчиняются какой-либо известной закономерности.

Результаты измерений, содержащие **грубые** погрешности исключаются из рассмотрения как явно неточные.

Случайные погрешности

Случайные погрешности являются заведомо неопределенными по своей величине и природе. При повторных измерениях они не остаются постоянными, так как возникают в итоге совместного воздействия на процесс измерения многих причин, каждая из которых проявляет себя по-разному и независимо друг от друга.

Для одного измерения случайные погрешности не поддаются учету, однако для ряда повторных измерений одной и той же постоянной величины, проводимых с одинаковой тщательностью, их влияние на полученный результат после исключения систематических и грубых погрешностей можно оценить с некоторой вероятностью.

Теория случайных погрешностей, основанная на методах теории вероятностей и математической статистики, позволяет при проведении некоторого числа повторных измерений уточнить конечный результат. В силу этого теория случайных погрешностей широко используется для оценки точности измерений и надежности работы измерительных приборов.

Большое число повторных измерений одной и той же постоянной величины показывает, что появление одинаковых по размеру и различных по знаку случайных погрешностей сохраняет устойчивую частоту, подчиняющуюся определенной закономерности. Если обозначить через n число проведенных измерений, а через m число полученных одинаковых случайных погрешностей, то вероятность появления этих погрешностей (P) находится по формуле

$$P = \frac{m}{n}$$

При большом числе измерений вероятность появления различных случайных погрешностей в большинстве случаев подчиняется закону так называемого нормального распределения, имеющему вид:

$$P(\Delta_c) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta_c^2}{2\sigma^2}}$$

где $P(\Delta_c)$ - вероятность появления случайной погрешности;

Δ_c - случайная погрешность измерения ($\Delta_c = x - X$);

σ - среднее квадратическое отклонение результата измерения;

e - основание натуральных логарифмов.

На рис.4. показаны кривые 1 и 2 нормального распределения случайных погрешностей, построенные по закону нормального распределения для двух значений среднего квадратического отклонения σ , причем у кривой 1 это отклонение в два раза меньше, чем у кривой 2. Кривые распределения симметричны относительно оси ординат, т.е. появление равных по величине, но

противоположных по знаку случайных погрешностей имеет одинаковую вероятность. В средней части кривые образуют выпуклость, по обе стороны от которой находятся точки перегиба a и b , ниже которых кривые становятся вогнутыми, асимптотически приближаясь к оси абсцисс. Наибольшая вероятность для обеих кривых соответствует случайной погрешности $\Delta_c = 0$. При возрастании погрешности с любым знаком вероятность ее появления уменьшается.

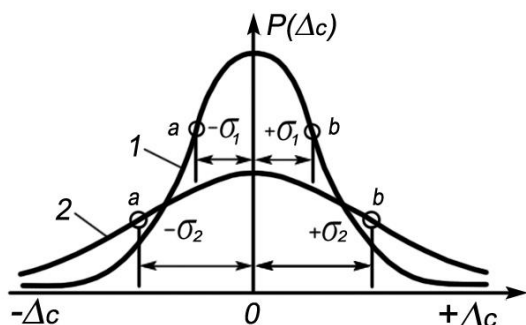


Рис.4

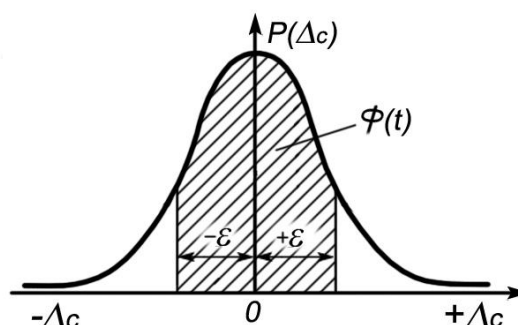


Рис.5

Как видно из рис.4., кривые распределения 1 и 2 имеют различные наибольшие вероятности $P(\Delta_c)$ и расстояния между точками a и b перегиба кривых. Промежутки между этими точками и осью ординат равны среднему квадратическому отклонению $\pm\sigma$ результата измерения, характеризующему степень рассеяния значений случайных погрешностей. Мерой рассеяния случайных погрешностей, т.е. шириной кривой распределения, служит так называемая дисперсия $D(\Delta_c) = \sigma^2$. Чем ниже значение σ , тем меньше рассеяние погрешностей, так как при этом почти вся площадь под кривой распределения располагается вблизи оси ординат, что увеличивает вероятность появления малых и уменьшает появление больших погрешностей. Следовательно, уменьшение σ приводит к повышению точности измерений.

При обработке результатов ряда повторных измерений, содержащих случайные погрешности, находится среднее арифметическое значение $\bar{x}$, представляющее собой конечный результат измерения, т. е.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n$ - ряд измеренных значений, условно обозначаемых x_i ; n - число измерений.

Для оценки случайной погрешности обычно служит среднее квадратическое отклонение результата измерения σ , подсчитываемое по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Основные характеристики кривой нормального распределения случайных погрешностей приведены на рис.5. Вероятность того, что случайные погрешности не выйдут за пределы какого-либо интервала, определяется по площади, ограниченной кривой распределения и этим интервалом, отложенным по оси абсцисс. Такой интервал $\pm\epsilon$, называется доверительным интервалом, а соответствующая ему вероятность появления случайной погрешности (заштрихованная площадь) $\Phi(t)$ — доверительной вероятностью.

Доверительный интервал, характеризующий степень воспроизводимости результатов измерения, может иметь различные значения, причем при большом доверительном интервале получается и большая доверительная вероятность. При измерении может задаваться либо доверительный интервал и по нему определяться доверительная вероятность, либо, наоборот, по доверительной вероятности подсчитываться доверительный интервал. Таким образом, для характеристики значения случайной погрешности необходимо иметь две величины - доверительный интервал и доверительную вероятность.

Доверительный интервал ε обычно выражают через относительную величину t в долях среднего квадратического отклонения σ , т. е.

$$t = \frac{\varepsilon}{\sigma}.$$

Для определения доверительной вероятности $\Phi(t)$ или величины t служит таблица 1, составленная на основании закона нормального распределения случайных погрешностей.

Предположим, что для известного числа измерений величины x по формулам получены соответственно значения $x = 1,27$ и $\sigma = 0,025$. Требуется определить вероятность того, что случайная погрешность Δ_c отдельного измерения x_i не выйдет за пределы выбранного доверительного интервала $\varepsilon = \pm 0,01$, характеризуемого неравенством $1,26 < x_i < 1,28$.

По формуле $t = \frac{\varepsilon}{\sigma}$ находим $t = 0,01 : 0,025 = 0,4$.

Тогда из таблицы 1, доверительная вероятность $\Phi(t) = 0,31$. Следовательно, около 30% общего числа измерений будут иметь случайную погрешность Δ_c , не превышающую $\pm 0,01$.

Таблица 1.

Значения t и $\Phi(t)$ при большом числе измерений постоянной величины

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0	0	1,4	0,84	2,8	0,995
0,2	0,16	1,6	0,89	3,0	0,997
0,4	0,31	1,8	0,93	3,2	0,9986
0,6	0,45	2,0	0,95	3,4	0,9993
0,8	0,57	2,2	0,972	3,6	0,9997
1,0	0,68	2,4	0,984	3,8	0,99986
1,2	0,77	2,6	0,990	4,0	0,99993

Согласно таблицы 1, при доверительном интервале $\varepsilon = \sigma$ ($t = 1$) значение доверительной вероятности $\Phi(t) = 0,68$. Это соответствует тому, что примерно 70% случайных погрешностей не будут превышать значения среднего квадратического отклонения σ . При $\varepsilon = 2 \sigma$ ($t = 2$) имеем $\Phi(t) = 0,95$, при $\varepsilon = 3 \sigma$ ($t = 3$) $\Phi(t) = 0,997$. Для практических измерений ограничиваются обычно доверительной вероятностью 0,9 или 0,95.

Для предварительной оценки степени достоверности отдельных измерений ряда кроме среднего квадратического отклонения σ применяются также вероятная погрешность Δ_B и предельная погрешность $\Delta_{пр}$.

Вероятная погрешность соответствует значению $t = 0,675$ и доверительной вероятности $\Phi(t) = 0,5$ (таблица 1). Находится она по формуле

$$\Delta_B = 0,675 \sigma$$

Смысл определения этой погрешности состоит в том, что при многократном измерении постоянной величины 50% случайных погрешностей будет меньше вероятной погрешности и 50% - больше ее.

Предельная погрешность равна доверительному интервалу ε , т. е. определяется из равенства

$$\Delta_{пр} = \varepsilon = t \sigma.$$

При пользовании таблицей 1 следует помнить, что она справедлива только для большого числа повторных измерений n . Однако на практике часто число измерений бывает ограниченным, что делает невозможным применение закона нормального распределения случайных погрешностей.

При малом числе повторных измерений n обычно используется распределение случайных погрешностей, предложенное Стюдентом. Для этого распределения доверительный интервал ε или доверительная вероятность P_s определяются в зависимости от величины n по таблице 2, причем величина t_s (называемая дробью или коэффициентом Стьюдента) выражается соотношением

$$t_s = \frac{\varepsilon \sqrt{n}}{\sigma}$$

где σ - среднее квадратическое отклонение.

Значения t_s при P_s при большом числе измерений постоянной величины
Таблица 2.

n	Значения t_s при P_s								
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	0,16	0,51	1,00	2,0	6,3	12,7	31,8	63,7	-
3	0,14	0,45	0,82	1,3	2,9	4,3	7,0	9,9	31,6
4	0,14	0,42	0,77	1,3	2,4	3,2	4,5	5,8	12,9
5	0,13	0,41	0,74	1,2	2,1	2,8	3,7	4,6	8,6
6	0,13	0,41	0,73	1,2	2,0	2,6	3,4	4,0	6,9
8	0,13	0,40	0,71	1,1	1,9	2,4	3,0	3,5	5,4
10	0,13	0,40	0,70	1,1	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
12	0,13	0,40	0,70	1,1	1,8	2,2	2,7	3,1	4,5
14	0,13	0,39	0,69	1,1	1,8	2,2	2,7	3,0	4,2
16	0,13	0,39	0,69	1,1	1,8	2,1	2,6	2,9	4,0
18	0,13	0,39	0,69	1,1	1,7	2Д	2,6	2,9	4,0
20	0,13	0,39	0,69	1,1	1Д	2,1	2,5	2,9	3,9

При большом числе измерений n значения t_s стремятся к соответствующим значениям t , указанным в таблице 2.

Пусть при $n = 6$ получаем по формуле (1-13) среднее арифметическое значение измеряемой величины $\bar{x} = 35,4$ и среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0,25$. Требуется определить доверительную вероятность P_s , если $\bar{x}$ отличается от истинного значения X на величину доверительного интервала $\varepsilon = \pm 0,2$ (т.е., имеет место неравенство $35,2 < X < 35,6$).

Находим по формуле:

$$t_s = \frac{0.2\sqrt{6}}{0.25}$$

Определяем по таблице 2 в зависимости от n и t_s значение $P_s = 0,9$. Следовательно, случайная погрешность отдельного измерения в 90% случаев не выйдет за пределы $\pm 0,2$.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Понятие о температуре и температурных шкалах

Температурой называется величина, характеризующая степень нагретости тела. Это представление о температуре основана на явлении теплообмена между двумя телами, находящимися в тепловом контакте. Тело, более нагретое, отдающее тепло имеет и более высокую температуру, чем тело воспринимающее это тепло. При отсутствии передачи тепла, температуры тел равны.

Согласно молекулярно-кинетической теории сообщаемая телу тепловая энергия, вызывающая повышение его температуры, преобразуется в энергию движения молекул, откуда следует, что температура это величина, прямо пропорциональная средней кинетической энергии частиц вещества.

Для перехода к количественной оценки температуры необходимо установить шкалу температур, т.е. принять начало шкалы (0 шкалы) и единицы измерения температуры (градусы).

Первым устройством для измерения температуры, является водяной термометр Галилея (1597 г.), который не имел шкалу и был просто индикатором температуры.

В 1641 году было создано устройство с произвольными делениями. А спустя полвека Ренальдини предложил в качестве постоянных точек, две точки, точку таяния льда и точку кипения воды. Однако, температурной шкалы еще не существовала.

Первая температурная шкала была предложена Фаренгейтом (1724 г. Голландия). Фаренгейт не был ученым. Он занимался приготовлением стеклянных приборов. Он заметил, что высота столба ртутного барометра зависит от температуры, и он решил создать ртутный термометр с температурной шкалой. В основу своей шкалы Фаренгейт положил три точки:

1. Точка сильнейшего холода («абсолютный нуль»), получаемая при определенных пропорциях воды, льда и нашатыря (0°Ф , чему соответствует $-17,8^{\circ}\text{C}$);
 2. Точка плавления льда (32°Ф , чему соответствует 0°C);
 3. Нормальная температура человеческого тела, обозначенная 96°Ф ($+35,6^{\circ}\text{C}$).
- Позднее, температуре кипения воды было присвоено 212°Ф .

Через несколько лет, в 1731 г. Реомюр предложил использовать для стеклянных термометров спирт, и создает шкалу, в которой точке таяния льда было присвоено 0^0 , а точке кипения воды 80^0 .

В 1742 году Цельсий, используя ртуть, обозначив точку плавления льда за 100^0C , а точку кипения воды 0^0C , построил свою температурную шкалу, но это обозначение было неудобным и через три года было принято обратное, точке плавления льда было присвоено 0^0C , а точке кипения воды, 100^0C .

Был предложен ряд других температурных шкал (Ломоносова, Ламберта).

В температурных шкалах Цельсия, Реомюра, Фаренгейта для разметки шкалы применяли линейную зависимость объемного расширения жидкости в стеклянной оболочке от температуры, а за 1 градус применяли n-ную долю температурного интервала $(t^{\text{II}} - t^{\text{I}})$ т.е.

$$1\text{град} = \frac{t^{\text{II}} - t^{\text{I}}}{n}$$

t^{II} и t^{I} - две легко воспроизводимые постоянные точки.

Постоянными точками называются - значения температур равновесия между твердой и жидкой или жидкой и газообразной фазами различных веществ, при нормальном абсолютном давлении, равном 101325 н/м^2 или $1,0332 \text{ кгс/м}^2$.

Так, в шкале Цельсия и Фаренгейта берутся в качестве этих 2^x точек точки таяния льда и точка кипения воды. Цельсий температуре таяния льда дал численное значение 0^0 , а температуре кипения воды 100^0C и разделил вес интервал $(100-0)$ на 100 и получил 100^0C ную температурную шкалу, Фаренгейт точке таяния льда для численное значение 32 а точке кипения 212 т.е вес интервал $(212-32)$ он разделим на 180 равных частей (градусов), обозначаемых знаком $^0\text{Ф}$.

Переход от Фаренгейта к Цельсию осуществляется по уравнению:

$$t^0\text{C} = 0,556 (n^0\text{Ф} - 32)$$

При построении этих шкал была принята произвольно, что зависимость объемного расширения ртути (рабочей жидкости) от температуры пропорционально линейная, что однако не соответствует действительности, особенно при температурах выше 100^0C (212^0Ф). То же явление наблюдалось бы и при построении температурных шкал, если использовать другие физические свойства рабочего вещества (изменение электрического сопротивления или ТЭДС). С развитием науки и техники возникла необходимость в создании единой температурной школы, независимое от каких либо свойств термометрического вещества.

Если одному какому-либо значению средней кинетической энергии частиц присвоить определенное число градусов (основная точка или реперная точка), то ее будет достаточно для построения линейной бесконечной температурной шкалы начинающей от абсолютного нуля. Абсолютному нулю соответствует нулевая скорость частиц и нулевая средняя кинетическая энергия.

$$T = \frac{mv^2}{3k}$$

где: m, v-скорость и масса части;

k-коэффициент Больцмана

В термодинамической шкале Кельвина единственной экспериментальной основной точкой является тройная точка воды, которой присвоено численное значение $273,16^0\text{K}$. Тройная точка воды - точка равновесия воды в твердой, жидкой и

газообразных фазах. Термодинамическая температура обозначается T и сопровождается знаком $^{\circ}\text{K}$.

Установлено, что термодинамическая шкала совпадает со шкалой газового термометра, заполненным идеальным воображаемым газом, обладающим пропорциональным изменением давления (или объема) в зависимости от температуры, если при построении этих шкал принять одинаковые значения исходных постоянных точек. Близкими по своим свойствам к идеальным газом являются H_2 , N_2 и He (гелий).

Измерение температуры газовым термометром производится обычно по изменению давления газа, заключенного в постоянном объеме. Точность измерения весьма высока, но и сложно. Поэтому газовые термометры были использованы только для построения Международной практической температурной шкалы, приближенно одинаковой с термодинамической шкалой.

В 1848 году Кельвин предлагает термодинамическую температурную шкалу.

В 1877 году Международной комитет мер и весов принял в качестве основной температурной шкалой стоградусную водородную (газовую) шкалу (0 - 100°C , при давлении 760 мм рт. ст.), где температура определялась по давлению водорода в постоянном объеме. Градусы температуры по этой шкале очень близко совпадают с термодинамической шкалой, однако практическое применение его ограничивалось в интервале температур примерно от -25°C до $+100^{\circ}\text{C}$.

В начале XX века в различных странах применялись различные температурные шкалы (Цельсия, Фаренгейта, Реомюра, термодинамическая и водородная), что создавало некоторые трудности.

Поэтому в 1933 году VIII Генеральная конференция мер и весов приняла решение о введении международной температурной шкалы (МТШ).

МТШ является практическим осуществлением термодинамической стоградусной шкалы, у которой t плавление льда и кипения воды при нормальном давлении соответствует 0°C и 100°C . В отличие от шкалы Цельсия (основанной на линейной зависимости между температурой и расширением ртути в стекле) градусы по международной шкале начали называть «градусами международными» или «градусами стоградусной шкалы».

Основные постоянные точки МТШ.

1. Температура равновесия между жидким и газообразным кислородом $-182,97^{\circ}\text{C}$;
2. Температура плавления льда $- 0^{\circ}\text{C}$;
3. Температура кипения воды $- 100,0^{\circ}\text{C}$;
4. Температура равновесия между жидкостью серой и ее паром $- 444,6^{\circ}\text{C}$;
5. Температура равновесия между твердым и жидким серебром $- 960,5^{\circ}\text{C}$;
6. Температура равновесия между твердым и жидким золотом $-1063,0^{\circ}\text{C}$.

Опыт применения МТШ показал на необходимость внесения ряда уточнений и дополнений, чтобы приблизить ее к термодинамической шкале.

В 1948 году МТШ была пересмотрена.

В 1960 году приняты некоторые исправления температурной шкалы 1948 года и была утверждена МПТШ-48-60.

МПТШ –48-60 были внесены следующие уточнения:

1. Вместо точки плавления льда рекомендуется тройная точка воды $+0,01^{\circ}\text{C}$ (точка плавления льда $0,000^{\circ}\text{C}$ отнесена к категории вторичных постоянных точек);

2. Вместо точки кипения серы рекомендуется применять точку равновесия между твердым и жидким цинком (точка затвердевания цинка), которой присвоено значение $+419,505^{\circ}\text{C}$;

3. Температура затвердевания серебра уточнена и присвоено новое численное значение $960,8^{\circ}\text{C}$.

В 1968 году международный комитет мер и весов принял новую МПТШ-68, где внесены уточнения в численные значения постоянных точек. По МПТШ-68 значительно расширен диапазон измерения низких температур (до $13,81^{\circ}\text{K}$).

1. Тройная точка водорода ... $-259,34^{\circ}\text{C}$ ($13,81^{\circ}\text{K}$).

2. Точка кипения кислорода... $-182,962^{\circ}\text{C}$

3. Тройная точка воды ... $0,01^{\circ}\text{C}$

4. Точка кипение воды ... 100°C

5. Точка затвердевание цинка $+419,58^{\circ}\text{C}$

6. Точка затвердевания серебра $+961,93^{\circ}\text{C}$

7. Точка затвердевания золота $+1064,43^{\circ}\text{C}$.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Классификация приборов для измерения температуры

Определение температуры вещества производят посредством наблюдения за изменением физических свойств другого, так называемого термометрического вещества.

Для измерения температуры выбирают такие свойства вещества, которые однозначно изменяются с изменением температуры. Этим требованием наиболее полно соответствуют следующие свойства рабочих веществ: Объемное расширение, изменение давления в замкнутом объеме, изменение электрического сопротивления, возникновение термоэлектродвижущей силы (ТЭДС), и изменение интенсивности излучения. Эти свойства положены в основу устройств приборов для измерения температуры.

Различают следующую классификацию приборов для измерения температуры:

1. Термометры расширения (предел измерения от -190°C до 500°C);

2. Манометрические термометры (предел измерения от -160°C до 600°C);

3. Электрические термометры сопротивления (предел измерения от -200°C до 650°C);

4. Термоэлектрические пирометры (предел измерения от -50°C до 1800°C);

5. Пирометры излучения (предел измерения от 100°C до 6000°C).

Кроме этого приборы для измерения температуры условно делятся на две группы: Термометрию, включающую определение температур от -500°C до 600°C , приборы называемыми термометрами (первые 3 разновидности) и пирометрию, охватывающую измерение более высоких температур, приборы называемыми пирометрами (последние 2 метода).

ТЕРМОМЕТРЫ РАСШИРЕНИЯ

Принцип действие этих приборов основана на свойстве изменять под действием температуры объем, а следовательно и линейные размеры.

Различают жидкостные и механические термометры расширения.

Жидкостные стеклянные термометры расширения

Эти приборы представляют собой резервуар с рабочей жидкостью, соединенный с капилляром – трубкой, имеющий малый внутренний диаметр (рис.6). При нагревании резервуара, заполняющая его жидкость увеличивается в объеме и поднимается вверх по капилляру. По высоте столбика жидкости в капилляре можно судить об изменении температуры.

В качестве рабочих жидкостей применяются ртуть и органические вещества (этиловый спирт, толуол, пентан и другие). Ртуть имеет некоторые преимущества - большой диапазон измерения от -39°C (точка замерзания ртути) до 357°C (точка кипения ртути); несмачиваемость стекла ртутью; легкость получения чистой ртути.

Средний температурный коэффициент объемного расширения ртути $0,18 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$.

Термометрами с органическими заполнителями можно измерить температуру от -190 до 100°C .

Температурный коэффициент объемного расширения $1,13 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$.

Ртутные термометры применяются в пределах от -35°C до 500°C . При измерении высоких температур, для предотвращения кипения ртути пространство над капилляром заполняется инертным газом под избыточным давлением (для повышения температуры кипения).

Ртутные термометры изготавливаются двух видов: со вложенной шкалой и палочные.

Палочный термометр состоит из резервуара соединенного с толстостенным капилляром, имеющий наружный диаметр 6-8 мм. Шкала термометра нанесена непосредственно на наружной поверхности капилляра. Термометр со вложенной шкалой состоит из тонкого капилляра и пластинки из молочного стекла, на которую нанесены деления.

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

Технические термометры типа ТТ, изготавливаются прямые и угловые ($90, 135^{\circ}$) с длиной нижней части от 60 до 2000 мм и верхней части (Н) 110, 160 и 220 мм и диаметром 18 мм.

Основная погрешность у этих приборов не превышает цены деления, которая колеблется от 0,5 до 10°C .

Лабораторные (ТЛ), в зависимости от цены деления делятся на 4 группы (1; 0,5; 0,5 и 0,1).

Следует отметить, что с повышением температуры основная погрешность прибора возрастает.

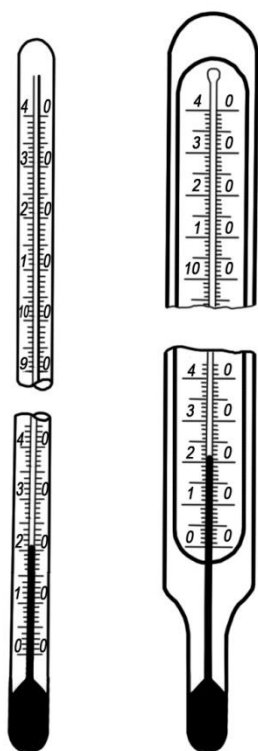
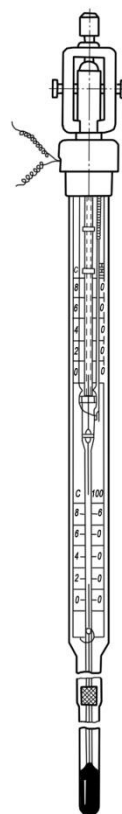


Рис. 6.



Термосигнализатор с
магнитной перестановкой
контакта

Рис.7.

Выпускаются также жидкостные (ртутные) контактные термометры (рис.7.), которые применяются для сигнализации или автоматического регулирования температуры. Этот прибор имеет два контакта нижний, и верхний (платиновая или вольфрамовая проволока), при замыкании которых, цепь замыкается и в управляющую обмотку релейного блока поступить сигнал. При уменьшении температуры цепь размыкается. Существуют контактные термометра с постоянным контактом и контактом с магнитной перестановкой, в котором вращением магнитной головки можно изменять положение контакта вдоль шкалы.

Механические термометры расширения

К механическим термометрам относятся dilatометрические (стержневые) и биметаллические термометры, действие которых основано на относительном удлинении под влиянием температуры двух твердых тел, имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения. Зависимость длины L твердого тела от его температуры t выражается следующим равенством:

$$L = L_0 (1 + \alpha t);$$

L_0 – длина тела, при 0°C ;

α - средний температурный коэффициент линейного расширения тела, град^{-1} .

Dilatометрический термометр имеет закрытую с одного конца трубку 1, помещенную в измеряемую среду и изготовленную из материала с большим коэффициентом линейного расширения (меди, латуни или алюминия).

В трубку вставлен стержень 2, прижимаемый ко дну рычагом 3, скрепленным с пружиной 4. Стержень изготовлен из материала с малым коэффициентом расширения (из фарфора, кварца или сплава инвар). При изменении температуры, трубка изменяет

свою длину, что приводит к перемещению в ней стержня, сохраняющего постоянные размеры и связанного посредством рычагов со стрелкой прибора.

Биметаллический термометр состоит из двух изогнутых и спаянных между собой металлических полосок, из которых полоска 1 имеет большой температурный коэффициент линейного расширения (α_1), а полоска 2 малый температурный коэффициент линейного расширения (α_2). Образованная из этих полосок биметаллическая пластинка, меняет в зависимости от температуры, степень своего изгиба, что при помощи тяги 3, рычага 4 и соединенной с ним стрелки указывается по шкале прибора. При увеличении температуры биметаллическая пластина изгибается в сторону металла с меньшим значением температурного коэффициента линейного расширения α .

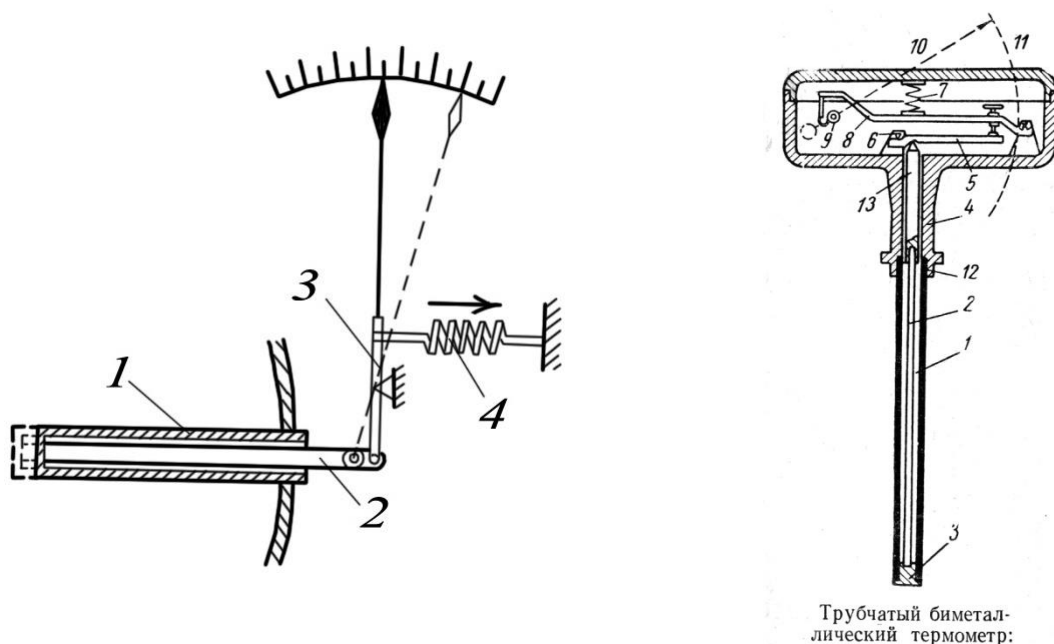


Рис. 8

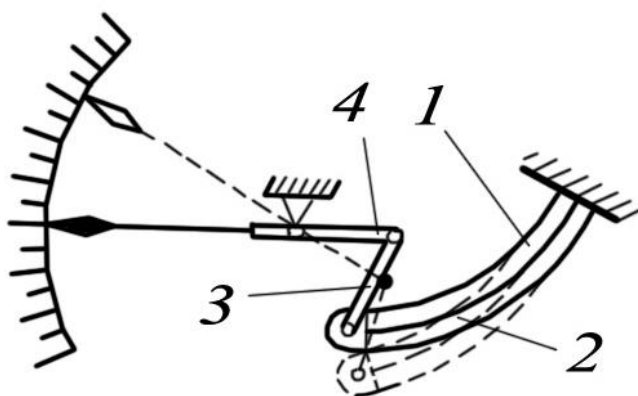


Рис.9

Механические термометры в основном применяются как сигнализирующие приборы. Биметаллические термометры иногда применяются для компенсации влияния температуры окружающей среды на показания других приборов, в которые они встраиваются.

МАНОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

Действие манометрических термометров основана на изменении давления газа или пара, жидкости в замкнутом объеме в зависимости от температуры.

В зависимости от заключенного в системе рабочего вещества манометрические термометры разделяются на газовые, жидкостные и парожидкостные.

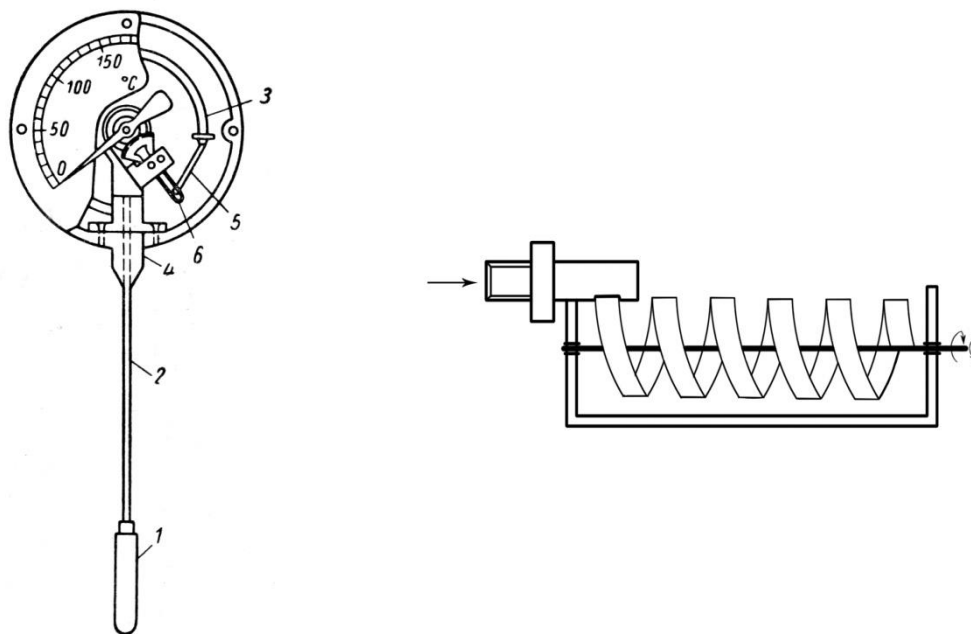


Рис. 10.

Прибор состоит (рис.10.) из термобаллона 1, капиллярной трубки 2 и манометрической части 3-6 (которая включает трубчатую пружину 3; держатель 4; поводок 5 и зубчатый сектор 6). Вся система прибора заполняется рабочим веществом. Термобаллон помещают в объект измерения температуры. При увеличении температуры, допустим, давление внутри замкнутой системы увеличивается. Это увеличение воспринимается манометрической пружиной, которая воздействует через передаточный механизм на стрелку или перо прибора.

При увеличении давления в системе увеличивается усилие на трубчатую пружину пропорционально равенности давлений в системе и окружающем воздухе, пока не уравнивается силой упругости деформации трубки.

Трубчатая пружина может быть выполнена в виде плоской спирали, одного витка или многовитковой. Термобаллон (рис.10.) изготавливается, из нержавеющей стали, а капилляр из медной или стальной трубки с внутренним диаметром 0,2-0,4 мм. Снаружи он защищен металлической оплеткой.

Манометрическим термометрам свойственны следующие дополнительные погрешности:

1. Влияние колебания (барометрического) атмосферного давления - барометрическая погрешность;
2. Влияние колебания температуры окружающей среды - температурная погрешность (в газовых и жидкостных).

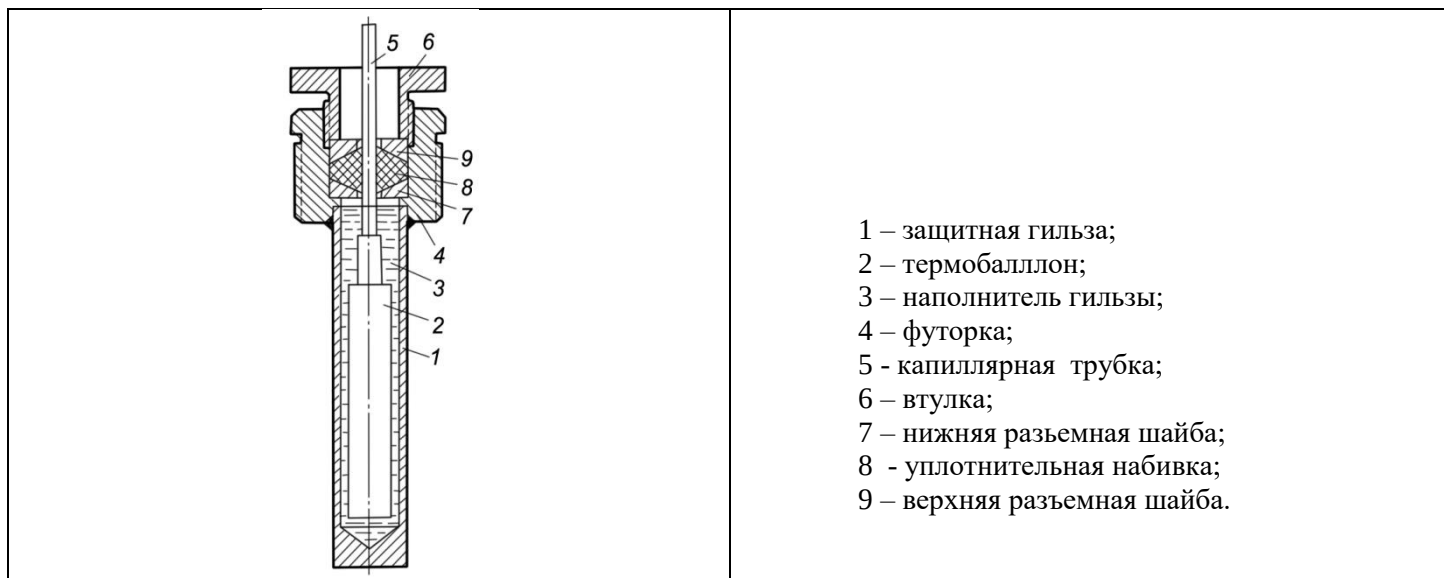


Рис.11.

3. Влияние гидростатического давления жидкости в зависимости от установки термобаллона и трубчатой пружины - гидростатическая погрешность (в жидкостных и парожидкостных).

Газовые манометрические термометры заполняются азотом, термодинамические, свойства которого близки к идеальным. Приборы этого типа имеют равномерную шкалу, т.к. изменение давления газа в системе, при постоянном объеме, пропорционально изменению его температуры, т.е.

$$P_t = P_0 [1 + \beta (t - t_0)] \text{ или,}$$

$$\Delta P = P_t - P_0 = P_0 \beta (t - t_0) \text{ откуда,}$$

$$P_0 = \frac{\Delta P}{\beta(t - t_0)}$$

где: β - термический коэффициент расширения газа;

t, t_0 - конечная и начальная температура;

P_0 - начальное давление при t_0 ;

ΔP - изменение давления при изменении температуры от t_0 до t .

P_0 - колеблется в пределах 1,0-5,0 МПа и до 7,0 МПа, с повышением которого барометрическая погрешность уменьшается.

С изменением температуры окружающей среды появляется некоторая погрешность, которую можно подсчитать,

$$\Delta t_M = \frac{V_M}{V_0} (t_M - t_0); \quad \Delta t_K = \frac{V_K}{V_0} (t_K - t_0);$$

$V_M; V_K; V_0$ - соответственно объем манометрической пружины капилляра и термобаллона;

t_M, t_K - соответственно температура манометрической пружины и капилляра;

t_0 - температура градуировки (20°C).

Из этих уравнений видно, что чем длиннее капилляр, тем больше погрешность прибора. Для уменьшения влияния колебания температуры окружающей среды необходимо увеличить объем термобаллона.

Манометрические жидкостные термометры заполняются жидкостью, к которым предъявляются следующие требования: возможно большой коэффициент объемного

расширения, высокая теплопроводность, небольшая теплоемкость и химическая инертность к материалу термометра. Этим требованиям отвечают ртуть и ксилол, (ртуть $-30 + 600^{\circ}\text{C}$; ксилол $-40 + 200^{\circ}\text{C}$).

Изменения давления в системе в зависимости от изменения температуры можно записать:

$$\Delta P = \frac{\beta}{\mu}(t - t_0)$$

где β -коэффициент объемного расширения жидкости;

μ -коэффициент сжимаемости жидкости.

Шкала у этих приборов также равномерная, из-за линейной зависимости давления от температуры.

Величина температурной погрешности у жидкостных термометров несколько больше чем у газовых, поэтому длина капилляра не превышает 10 м.

Для уменьшения барометрической погрешности жидкость заполняется при начальном давлении $15\text{-}20 \text{ кгс/см}^2$ (до 130 кгс/см^2). Гидростатическая погрешность устраняется путем корректировки пружины и стрелки прибора (при установке термобаллона выше пружины, давлению жидкости в системе от изменения температуры прибавится и гидростатическое давление столба жидкости, если ниже, то на такую величину показания будут меньше).

Парожидкостные манометрические термометры обычно заполняются на $2/3$ объема термобаллона низкокипящей жидкостью (хлористый метил $0 - 150^{\circ}\text{C}$, ацетон $60 + 200^{\circ}\text{C}$, бензол $100 - 250^{\circ}\text{C}$). Действие этих приборов основана на законе Дальтона, дающую однозначную зависимость между давлением и температурой насыщенного пара, вплоть до критической температуры вещества. При повышении температуры усиливается испарение жидкости и увеличивается упругость пара, а в связи с этим усиливается также процесс конденсации, насыщенный пар достигает некоторого определенного равновесного давления, строго отвечающего температуре.

Температурная погрешность у этих приборов отсутствует, но имеется гидростатическая погрешность, а барометрическая, заметно отражается на показаниях прибора, из-за незначительности давления в системе. Одним из требований к этим прибором является то, что при измерении низких температур в системе должен оставаться насыщенный пар, а при измерении высоких температур в термобаллоне оставался жидкость.

Недостатком этих термометров является узкий предел измерений и неравномерность шкалы, сжатая вначале вследствие нелинейной зависимости между давлением насыщенного пара и его температурой.

При измерении температуры среды, находящейся под большим давлением или агрессивной, термобаллон устанавливается в защитной гильзе, заполненный маслом или медными опилками.

К недостаткам манометрических термометров относятся: невысокая точность измерения (класс точности $1\text{-}2,5$), большая инерционность, вследствие значительных размеров термобаллона, а также трудность ремонта при нарушении плотности (герметичности) системы.

Для работы с вторичными приборами изготавливаются манометрические термометры с дистанционной передачей показаний. В этих приборах изменение температуры преобразуется в пропорциональный унифицированный (пневматический, электрический) сигнал, которое далее воспринимается вторичными приборами.

Выпускаются следующие типы газовых термометров: ТПГ-189, ТПГ-189-П, ТПЖ-189, ТПЖ-189-П и другие манометрические термометры.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Принцип действие электрических термометров сопротивления основано на изменении электрического сопротивления металлических проводников в зависимости от температуры. Металлы, при нагреве, увеличивают свое сопротивление. Достоинством термометров сопротивления является: высокая точность измерения, возможность измерения узкого диапазона температур, легкость осуществления автоматической записи и дистанционной передачи показаний.

К материалу термометра сопротивления предъявляются следующие требования:

- 1) Устойчивость физических и химических свойств при нагревании, в частности, однозначность зависимости сопротивления от температуры;
- 2) Высокий температурный коэффициент электрического сопротивления, повышающий чувствительность прибора;
- 3). Большое удельное сопротивление проводника, позволяющее изготовить термометры малых размеров;
- 4). Возможность получения металла в чистом виде, обеспечивающий взаимозаменяемость изготавливаемых термометров.

Из числа чистых металлов наиболее пригодным для приготовления термометров сопротивления является платина (pt) и медь (Cu).

Наилучшим материалом является Pt, т.к. он химически инертен в окислительной среде, и его легко можно получить в чистом виде. Температурный коэффициент электрического сопротивления платины $-3,94 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$ и удельное сопротивление - $0,099 \text{ ом мм}^2/\text{м}$.

С помощью платинового термометра сопротивления можно измерить температуру в пределах $-200^{\circ}\text{C} + 650^{\circ}\text{C}$ Сопротивление R_t платины в зависимости от температуры в интервале от $0^{\circ}\text{C} + 650^{\circ}\text{C}$ находится по формуле

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

A и B - постоянные коэффициенты, которые определяются при градуировке;

R_0 - сопротивления при 0°C .

Рассмотрим устройство платинового термометра сопротивления ТСП-1 Гр21

На каркас из слюдяной пластинки 1 (Рис.12) с размерами $100 \times 10 \times 0,3 \text{ мм}$, имеющий по бокам зубчатую насечку, бифилярно намотана платиновая проволока 2 диаметром $0,007 \text{ мм}$ и длиной 2 м . К концам платиновой обмотки припаяны два вывода из серебряной проволоки ($d=1 \text{ мм}$) 3, присоединяемые к латунным зажимам в головке термометра.

Слюдяная пластинка с обмоткой изолирована с двух сторон более широкими слюдяными накладками 4 и связана с ними в общий пакет серебряной лентой 5.

Этот чувствительный элемент вставляется в алюминиевый вкладыш 6, а он заключен в трубчатую оболочку 7 из алюминия. Серебряные выводы изолированы фарфоровыми бусами 8 (рис 13).

Оболочка 7 с чувствительным элементом помещается в стальной защитный чехол, с приваренным к нему штуцером, для установки термометра в трубопроводах и аппаратах. В верхней части чехла имеется головка с зажимами для присоединения внешних соединительных проводов.

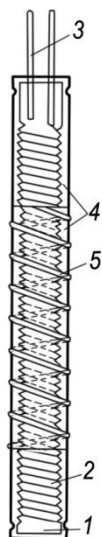


Рис.12.

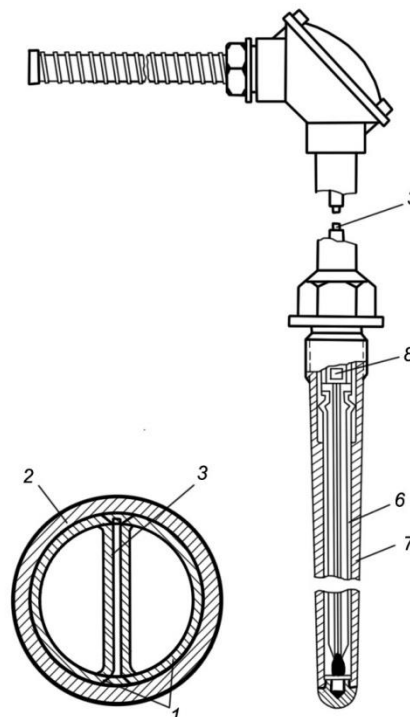


Рис.13.

Медные термометры сопротивления также обладают некоторыми преимуществами: дешевизна, легкость получения в чистом виде и высокий температурный коэффициент электрического сопротивления ($4,26 \cdot 10^{-3} \text{град}^{-1}$).

Недостаток – небольшое удельное сопротивление $0,017 \text{ ом мм}^2/\text{м}$ и легкая окисляемость при высоких температурах.

Поэтому диапазон измерения медными термометрами сопротивления ограничен ($-50^\circ\text{C} + 180^\circ\text{C}$).

Зависимость сопротивления меди от температуры t , в интервале $-50+180^\circ\text{C}$ выражается уравнением

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

Рис.10.

α -температурный коэффициент сопротивления меди (град^{-1}).

Выпускаются платиновые и медные (ТСП и ТСМ) стандартные термометры сопротивления. Градуировочное сопротивление этих термометров при 0°C (R_0) имеют различные значения и в зависимости от этого выпускаются термометры сопротивления различной градуировки.

Платиновые (ТСП), градуировки Гр 20, в которых $R_0=10 \text{ ом}$; Гр-21, в которых $R_0=46 \text{ ом}$ и Гр22, для которого $R_0=100 \text{ ом}$, а также 50П, для которого $R_0=50 \text{ ом}$ и 100П для которого $R_0=100 \text{ ом}$.

Медные (ТСМ) градуировки Гр23, в которых $R_0=53$ ом и Гр24, в которых $R_0=100$ ом, а также 50М, для которого $R_0=50$ ом и 100М для которого $R_0=100$ ом.

Выпускаются термометры сопротивления разной конструкции.

ТСП I: имеет предел измерения $-0+500^{\circ}\text{C}$, рабочее давление до 40 бар (кгс/см^2), выпускается с неподвижным штуцером.

ТСП III: имеет предел измерения $-0+500^{\circ}\text{C}$, при атмосферном давлении выпускается с подвижным штуцером. Инерционность у этих приборов до 4 минут.

Существуют и другие конструкции термометров сопротивлений (лепестковые, прессованные, стеклованные), которые менее инерционны по сравнению с предыдущими термометрами.

ТСП- XXI (одинарный) ТСП-XXII (двойной) имеет предел измерения $-0+500^{\circ}\text{C}$, рабочее давление до 250 бар (кгс/см^2) инерционность – 1 мин. 20 сек;

ТСМ-X (Гр23), предел измерения $-50+100^{\circ}\text{C}$, до 40 кгс/см^2 ;

ТСМ-XIV (Гр23), предел измерения $-50+100^{\circ}\text{C}$, при атмосферном давлении;

ТСМ-XI (Гр23), предел измерения $-50+100^{\circ}\text{C}$, до 40 кгс/см^2 ;

ТСМ-239 (Гр23), предел измерения $-50+100^{\circ}\text{C}$, до 25 кгс/см^2 ;

ТСМ- XII (Гр23), предел измерения $-50+100^{\circ}\text{C}$, при атмосферном давлении.

Кроме этих термометров сопротивлений выпускаются очень много различных модификаций этих приборов, которые отличаются друг от друга конструкцией чувствительного элемента, защитного чехла и в зависимости от условия, где они должны устанавливаться.

Начат выпуск термометров сопротивления с унифицированным выходным сигналом 0-5, 4-20 мА: ТСМУ на пределы от -50 до 200°C ; ТСПУ на пределы от -200 до 500°C

Выпускаются также полупроводниковые термометры сопротивления-терморезисторы (термисторы), которые изготавливаются из смеси окислов марганца, меди, кобальта, никеля путем прессования и термической обработки при высоких температурах. Терморезисторы имеют отрицательный температурный коэффициент, т.е при нагревании уменьшают свое сопротивление.

Выпускаются термисторы цилиндрического типа, цилиндрически защищенного типа и бусиновые.

Термисторы ММТ изготавливают из сплава марганца и меди, а КМТ – из сплава кобальта и марганца.

Недостаток термисторов – невозможность замены друг друга, из-за различной характеристики.

Отклонение при этом от номинального значения, составляет $\pm 20\%$.

В качестве вторичных приборов, работающих с термометрами сопротивления, применяются уравновешенные и неуравновешенные измерительные мосты и логометры.

Уравновешенный измерительный мост

Уравновешенный измерительный мост (рис.14) состоит из 4^x плеч, образующих две параллельные ветви «a b c» и «a d c».

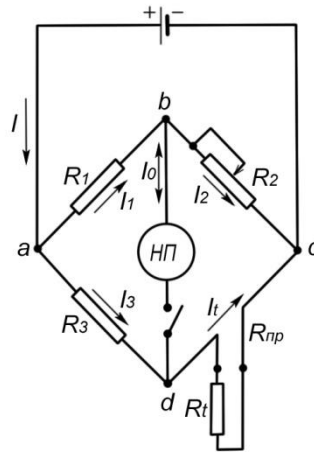


Рис.14.

R_1 и R_3 – постоянные сопротивления;

R_2 – градуированный, переменный реохорд;

R_t – термометр сопротивления;

Б - источник питания постоянного тока;

НП - нулевой гальванометр;

R_{np} – сопротивления соединительных проводов.

При измерении температуры перемещая движок реохорда можно привести мост в равновесие, при котором через диагональ «с d» ток I_0 протекать не будет т.е $I_0=0$. В этом случае потенциалы b и d равны и так I от источника питания разветвляется в вершине моста «а» на две соответствующие части: I_1 и I_3 вызывающие одинаковые падения напряжения на плечах R_1 и R_3 т.е.,

$$I_1 R_1 = I_3 R_3 \quad (1)$$

При этом в двух других плечах моста падения напряжения также равны, т.е.,

$$I_2 R_2 = I_t (R_t + 2R_{np}) \quad (2)$$

Разделив (1) на (2) получим:

$$\frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} = \frac{I_3 R_3}{I_t (R_t + 2R_{np})} \quad (3)$$

Если учесть, что при $I_0=0$: $I_3=I_t$ и $I_1=I_2$ (из закона Кирхгофа), тогда после некоторых преобразований получим,

$$R_2 R_3 = R_1 (R_t + 2R_{np}) \quad (4)$$

Таким образом, это уравнение справедливо при равновесии измерительного моста, когда произведение сопротивлений противолежащих плеч равны. Из (4) можно получить:

$$R_t = \frac{R_2}{R_1} R_3 - 2R_{np}$$

Если учесть что, $\frac{R_2}{R_1}$ и R_{np} – величины постоянные, то каждому значению R_t , при равновесии моста, соответствует определенное значение R_2 , шкала которого может быть градуирована в Омах или в градусах ($^{\circ}\text{C}$).

С изменением температуры окружающей среды изменяется сопротивление соединительных проводов, которое влияет на точность измерения.

Для устранения этой погрешности измерения применяют трех проводную схему включения термометра сопротивления к мостовой схеме (рис.15). При этом две отдельные соединительные провода окажутся в двух смежных плечах моста т.е, $R_t + R_{np}$ и $R_3 + R_{np}$.

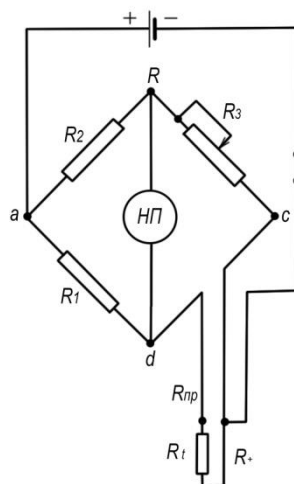


Рис.15.

Если вспомнить соотношение 4, то можно написать,

$$R_2(R_t + R_{пр}) = R_1(R_3 + R_{пр})$$

Откуда следует, что изменение сопротивления $R_{пр}$ компенсируют друг друга, особенно когда сопротивления R_1 и R_2 равны (симметричный мост), происходит полная компенсация колебаний $R_{пр}$.

Достоинством этого прибора является то, что небольшие колебания напряжения источника питания не влияют на точность измерения.

Уравновешенные мосты бывают технические (автоматические) переносные (контрольные) и образцовые.

Автоматический уравновешенный измерительный мост КСМ-3

При измерении температуры в промышленных условиях в комплекте с термометрами сопротивления работают автоматические электронные показывающие и самопишущие уравновешенные мосты.

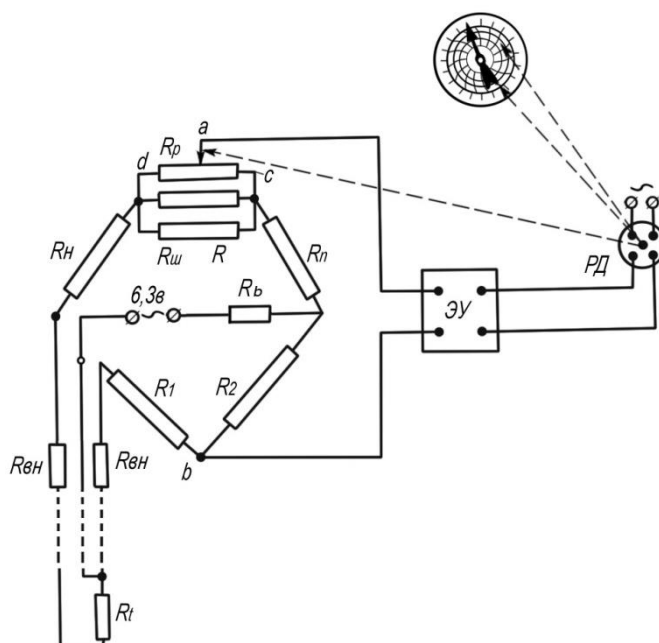


Рис.16.

Для уменьшения влияния температуры окружающей среды, термометры сопротивления подключаются к мостовым схемам по трех проводной схеме подключения.

КСМ-3 состоит из постоянных резисторов R_1 и R_2 , реохорда R_p , шунтирующего резистора $R_{ш}$ – для ограничения тока протекающего через реохорд, резисторов R_n и R для подгонки нижнего и верхнего пределов шкалы прибора, термометра сопротивления R_t . R_{np}^I , R_{np}^{II} – резисторы для подгонки сопротивления соединительных проводов до градуировочного значения.

Вместо нулевого гальванометра в диагональ моста подключен электронный усилитель ЭУ.

Выпускаются следующие разновидности автоматических мостов: КСМ1, КПМ1, КВМ1 миниатюрные приборы; КСМ2 - малогабаритные мосты; КСМ3 - автоматические мосты с дисковой диаграммой; КСМ4 - автоматические мосты с ленточной диаграммой.

Неуравновешенный измерительный мост

Неуравновешенные измерительные мосты (Рис.17.), из-за невысокой точности показаний применяются только для технических измерений. Три плечи этого моста составляют постоянные сопротивления R_1 - R_3 , и четвертое R_t , или R_k (R_k - постоянное, контрольное сопротивление).

Допустим, что мост находится в состоянии равновесия при 0°C . С изменением температуры нарушается равновесия моста, и через диагональ cd протекает ток, величина которого пропорциональна изменению сопротивления R_t , а следовательно температуре. Если подключить в этот диагональ милливольтметр, то угол отклонения стрелки прибора будет пропорционально току I_m .

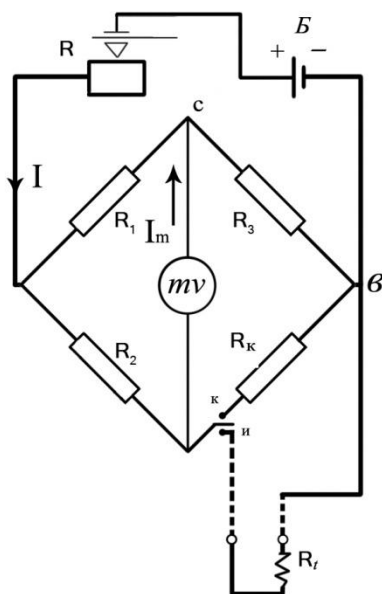


Рис.17.

Достоинством этого метода измерения является непосредственное измерение температуры. Недостатком неуравновешенного моста является то что с изменением напряжения источника питания (Б) $I_{ав}$ пропорционально этому изменению изменяется и ток I_m . Для поддержания однозначной зависимости I_m от R_t необходимо поддерживать напряжение $I_{ав}$ постоянным, что проверяется путем переключения переключателя в положение, «к» (контроль) и тогда в четвертое плечо моста подключается строго

постоянное и известное сопротивление. При этом стрелка милливольтметра должна отклониться до красной отметки.

В зависимости от отклонения стрелки от красной отметки, путем изменения сопротивления R оно доводится до этой отметки. Такая процедура должно повторяться 2 раза в сутки. Не уравновешенные мосты чаще всего применяются при анализе газов (в схемах газового анализа) и в электрических концентраторах.

Логометр

Логометры относятся к приборам магнитоэлектрической системы.

Принцип действие логометра заключается, в измерении отношения токов, протекающих в двух параллельных электрических цепях, питаемых от постороннего источника постоянного тока, в каждую из которых включена соответствующая рамка прибора.

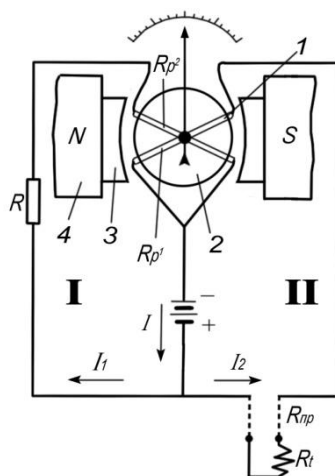


Рис.18.

Прибор состоит из термометра сопротивления R_t , постоянного резистора R источника питания. Между полюсными наконечниками 3 расположен стальной цилиндрический сердечник 2, который образует с магнитными наконечниками неравномерный воздушный зазор. В зазорах перемещаются одинаковые скрещенные жестко связанные рамки R_p^I и R_p^{II} из медного изолированного провода.

Измерительная схема состоит, из двух параллельных цепей. Если сопротивление I цепи равно сопротивлению II цепи то, тогда токи в обеих цепях равны, т.е. $I_1 = I_2$ при,

$$R + R_p^I = R_t + R_p^{II} + R_{np}$$

При этом вращающие моменты равны ($M_1 = M_2$) и стрелка прибора находится по середине шкалы. С изменением температуры, R_t изменяется, что приведет к изменению I_2 и следовательно M_2 . При этом рамка R_p^{II} начинает вращаться и перемещается, допустим, в сторону уменьшения воздушного зазора. Из-за того, что рамки связаны жестко между собой параллельное движение сделает и рамка R_p^I , который перемещается в зону с увеличенным воздушным зазором.

Изменение момента, в этом случае, связана изменением магнитной индукции. Когда рамка находится в среднем положении, магнитная индукция имеет максимальное значение, т.к. плотность магнитных силовых линий в середине больше.

Из-за встречного направления моментов, рамки перемещаются до наступления нового равновесного состояния т.е.

$$M_1 = M_2$$

Такое состояние наступает за счет изменения B_1 и B_2 . Состояние равновесия можно записать,

$$2r_1 n_1 l_1 B_1 I_1 = 2r_2 n_2 l_2 B_2 I_2$$

где, r - радиус рамки;

n - число витков;

l - длина рамки;

B_1, B_2 - магнитные индукции в зонах расположения рамок R_p^I и R_p^{II} .

Геометрические размеры и число витков у обеих рамок одинаковы и поэтому можно записать

$$I_1 B_1 = I_2 B_2 \text{ или } \frac{I_1}{I_2} = \frac{B_2}{B_1};$$

а отношение магнитных индукций $\frac{B_2}{B_1}$ есть функция угла поворота φ подвижной части, зависящая от формы полюсных наконечников и сердечника. Поэтому,

$$\frac{I_1}{I_2} = f(\varphi) \text{ или, } \varphi = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

Известно что,

$$I_1 = \frac{E_\delta}{R_p^I + R} \text{ а, } I_2 = \frac{E_\delta}{R_t + R_p^{II} + R_{np}}$$

подставив получим

$$\varphi = f\left(\frac{R_t + R_p^{II} + R_{np}}{R_p^I + R}\right)$$

величины $R_p^I, R_p^{II}; R_{np}$ и R постоянны, а следовательно можно записать $\varphi = \psi(R_t)$.

Таким образом, угол поворота стрелки логометра зависит только от сопротивления R_t .

Выпускаются следующие модификации логометров:

Л-64, Л-64 И (искробезопасный прибор). ЛР-64-02, с 2^х позиционным регулирующим устройством.

Класс точности у этих приборов 1,5.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПИРОМЕТРЫ

В основу измерения температуры термоэлектрическими пирометрами положен термоэлектрический эффект, заключающийся в том, что в замкнутой цепи состоящий из двух или нескольких проводников (разнородных), возникает электрический ток, если хотя бы два места спая проводников имеют разную температуру.

Цепь, состоящая из двух разнородных проводников, называется термопарой. Спай, имеющей переменную температуру t , называется горячим (рабочим) спаем, а спай имеющий (постоянную) температуру t_0 , холодным спаем. Проводники А и В называются термоэлектродами.

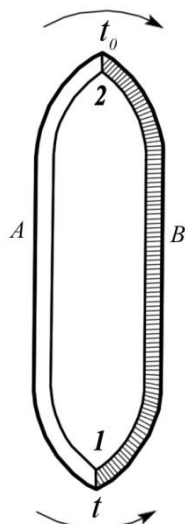


Рис.19.

Термоэлектрический эффект объясняется наличием свободных электронов (у металлов), число которых зависит от рода проводника и его температуры.

Допустим в металле А имеются больше свободных электронов чем в В, при этом в спаях электроны начинают диффундировать из металла А в В в большем количестве чем обратно. В результате А начинает заряжаться положительно, а В отрицательно. Электрическое поле, возникающее на спае, препятствует этому переходу, и скорость диффузии электронов станет, равна скорости их обратного перехода (под влиянием установившегося электрического поля). При этом между А и В возникает некоторая разность потенциалов.

Кроме того, ТЭДС возникает и между концами однородного проводника имеющие разные температуры. При этом электроны перемещаются со спаю, где температура больше к спаю, где меньше, до наступления подвижного равновесия, за счет разности потенциалов действующем в обратном направлении тепловой диффузии электронов.

В термопарах одновременно действует оба выше указанных факторов, вызывающее появления двух суммарных ТЭДС на спаях 1 и 2, в зависимости от их температур и материала термоэлектродов ($e_{AB}(t)$ и $e_{BA}(t_0)$).

Результирующая ТЭДС $E_{AB}(tt_0)$, вырабатываемая термопарой, равна алгебраической сумме ТЭДС споев т.е.

$$E_{AB}(tt_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0),$$

но если учесть, что $e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0)$ то,

$$E_{AB}(tt_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0),$$

Следовательно, ТЭДС термопары равна разности двух действующих навстречу измеряемых ТЭДС, появляющихся на ее концах 1 и 2. При равенстве $t=t_0$; $E_{AB}(tt_0)=0$. Отсюда видно, что при $t_0=\text{const}$,

$$E_{(tt_0)} = f(t).$$

Включение третьего проводника в цепь термопары

Для включения измерительного прибора необходимо разорвать электрическую цепь термопары. ТЭДС термопары при разрыве и включении другого, третьего проводника С также одинакова, при постоянстве температур t и t_0 и температур концов проводника С.

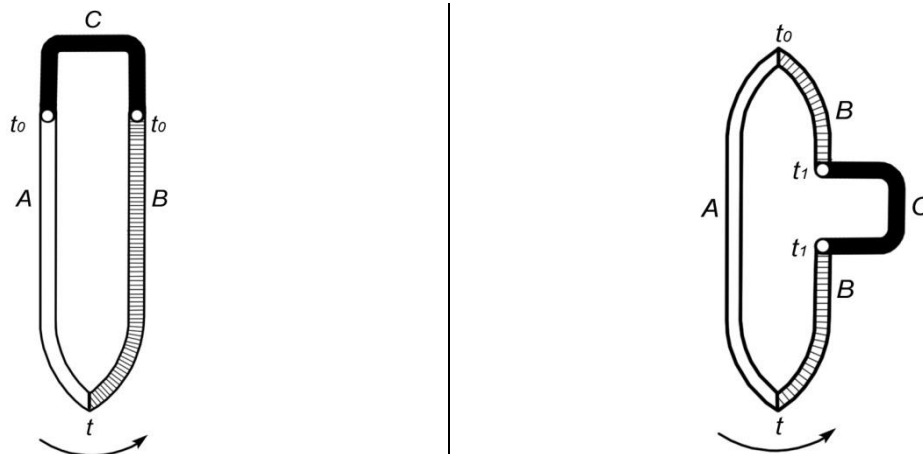


Рис.20.

В первом случае, если мы разорвем электрическую цепь с холодного спая и подключим третий провод С:

$$E_{ABC}(t \ t_0 t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0);$$

При условии $t=t_0$, $E_{ABC}(t t_0 t_0) = 0$ т.е.,

$$e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) = 0;$$

тогда, $e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) = -e_{AB}(t_0)$

и следовательно,

$$E_{ABC}(t t_0 t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0).$$

В другом случае, если мы разорвем цепь в проводнике В:

$$E_{ABC}(t t_1 t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1) - e_{BA}(t_0)$$

если учесть, что $e_{BC}(t_1) = -e_{CB}(t_1)$ и $e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0)$ то получим $E_{ABC}(t t_1 t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$.

Из этого следует, что ТЭДС термопары не изменяется от введения в ее цепь третьего проводника, если концы этого проводника имеют одинаковые температуры. Изменение температуры концов третьего проводника введет дополнительные погрешности при измерениях.

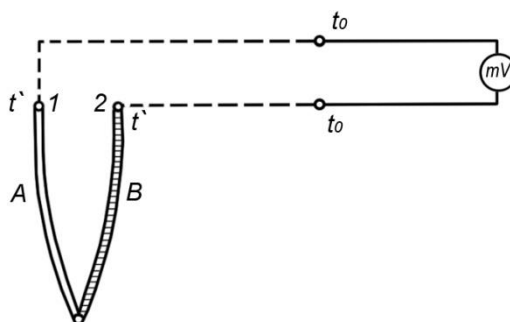


Рис.21.

Обычно градуировка термопары осуществляется при температурах холодного спая 0°C и 20°C . Однако при измерениях температура холодного спая t_0 , может отклониться от градуировочного значения, при этом если,

$$t_0^1 \geq t_0 \text{ то } E_{AB}(t t_0^1) \leq E_{AB}(t t_0);$$

если, $t_0^1 \leq t_0$ то $E_{AB}(t t_0^1) \geq E_{AB}(t t_0);$

Их разность и будет представлять собой поправку на изменение температуры холодного спая, т.е

$$E_{AB}(tt_0) - E_{AB}(tt^I_0) = \Delta$$

Δ - поправка.

Термоэлектродные материалы и термопары

Любая пара проводников может образовать термопару, но не всякая может быть пригодна для практического применения. К материалу термоэлектродов предъявляются следующие требования:

1. Постоянство ТЭДС во времени;
2. Возможно большая ТЭДС;
3. Однозначная зависимость ТЭДС от температуры;
4. Небольшой температурный коэффициент электрического сопротивления;
5. Большая электропроводность;
6. Устойчивость к воздействиям высоких температур;
7. Воспроизводимость термоэлектрических свойств, позволяющий взаимозаменяемость термопар.

В качестве термоэлектродных материалов используются следующие: платина, платинородий (10% родия); хромель, алюмель, капель, железо, медь, константан, сплав никеля-кобальта, специальный алюмель.

Существуют стандартные и нестандартные термопары изготавливаемые из этих материалов.

К стандартным термопарам, которые включены в государственный стандарт относятся:

1. Платинородий - платиновая термопара - ТПП (от -20⁰С до 1300 -1600⁰С);
2. Платинородий - платинородиевая термопара - ТПР (от + 300⁰С до 1600 -1800⁰С);
3. Хромель - алюмелевая термопара – ТХА от -50⁰С до 1000 -1300⁰С;
4. Термопара из сплава НК-СА – ТНС (от +300⁰С до 1000⁰С);
5. Хромель - копелевая термопара – ТХК (от -50⁰С до 600-800⁰С).

Также существуют нестандартные термопары

Железо - копель от 0⁰С до 600 - 800⁰С

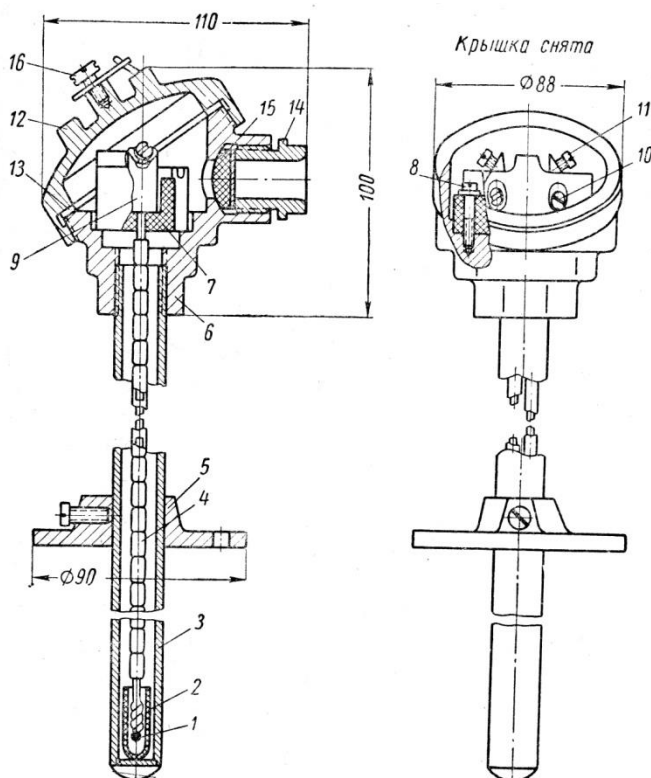
Железо - константан от 200⁰С до 600 - 800⁰С

Медь - копель от 0⁰С до 400 - 600⁰С

Медь - константан от -200⁰С до 300 - 400⁰С

Вольфрам – молибденовая термопара до 2300⁰С

Термопара устанавливается в объект измерения с помощью защитной арматуры.



- 1-горячий спай термопары;
- 2-фарфоровый наконечник;
- 3-защитная трубка;
- 4-фарфоровые бусы;
- 5-передвижной флянец для крепления термопары;
- 6-корпус головки;
- 7-фарфоровая колодка;
- 8-винты для крепления колодки;
- 9-зажимы;
- 10-винты для крепления термоэлектродов в зажимах;
- 11-винты для крепления проводов;
- 12-крышка;
- 13-прокладка;
- 14-штуцер для вывода;
- 15-асбестовый шнур;
- 16-винт для цепочки.

Рис.22.

Компенсация изменение температуры холодных спаев

При измерении температуры температура холодных спаев (свободные конца термопар) должны имеет постоянную температуру, т.к. его колебание приводит изменению ТЭДС, независимо от температуры рабочего спая. При увеличении температуры холодного спая (t_0) от градуировочного, ТЭДС уменьшается.

Для точного измерения холодные спаи необходимо поддерживать при температуре градуировки.

Существует несколько методов исключения влияний колебания температуры холодных спаев.

В первом методе, холодные спаи термостатируются, т.е. температура холодного спая поддерживается при постоянном значении. Для этого холодные спаи с помощью соединительных проводов, которые называются термоэлектродными проводами (компенсационными проводами) и которые должны быть термоэлектрически подобны, термопаре, они как бы наращиваются (удлиняются), что позволяет отнести холодные спаи к более благоприятным условиям, где температура холодного спая t_0 , поддерживается постоянно.

Существует также метод автоматического введения поправки на изменение температуры холодных спаев с помощью компенсационной коробки типа КТ-54, к шести зажимам которого подключены электрический прибор ЭП, источник питания ИП и термопара Т.

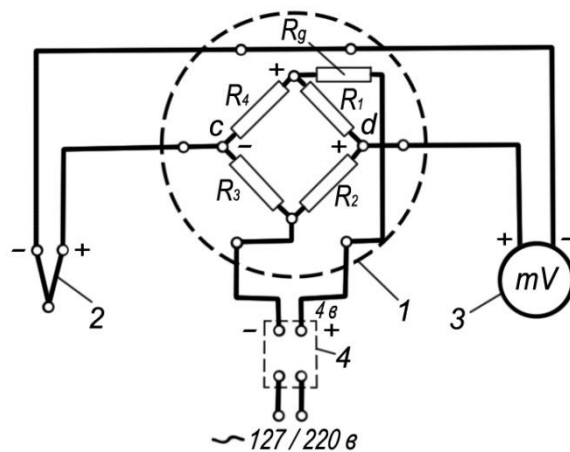


Рис.23.

Данное устройство собрано по схеме уравновешенной мостовой схеме. R_1 - R_3 - постоянные манганиновые сопротивления, R_n - резистор из никеля имеющий большой температурный коэффициент электрического сопротивления. Т и ЭП включены последовательно в диагональ моста «ав», а источник питания в диагональ «cd». При $t_0=20^0\text{C}$ мост находится в равновесии и потенциалы «а» и «в» равны, а при отклонении t_0 от 20^0C равновесие моста нарушается вследствие изменения никелевого сопротивления R_n . Между «а» и «в» появляется разность потенциалов, которая равна по величине изменению ТЭДС термопары, вызванным отклонением температуры холодных спаев от градуировочного значения, и противоположному по знаку. В результате показание прибора зависит только от температуры рабочего спая. В качестве электроизмерительных приборов в термоэлектрических пирометрах применяются пирометрические милливольтметры и потенциометры.

Пирометрические милливольтметры

Пирометрический милливольтметр является чувствительным прибором магнитоэлектрической системы. Работа его основана на взаимодействии магнитного поля образуемого проводником, по которому протекает электрический ток, создаваемый термопарой, с магнитным полем находящего в приборе постоянного магнита 2. Через проводник, имеющий форму прямоугольной рамки 1, и которое может вращаться вокруг оси, протекает электрический ток I .

Рамка помещена в магнитное поле постоянного магнита. При взаимодействии магнитных полей на рамку действует сила F , действующая согласно правилу левой руки, равная

$$F = n \ell B I$$

Где, n - число витков;

ℓ - активная высота;

B - магнитная индукция;

I - силы тока.

В результате на рамку воздействует вращающий момент, M_b ,

$$M_b = 2 r \cdot F = 2 n \ell B I = C_1 B I$$

Однако, при отклонении рамки от плоскости параллельной направлению магнитных линий постоянного магнита на угол φ значение M_b уменьшиться, т.е.

$$M_b = 2 r F \cdot \cos \varphi$$

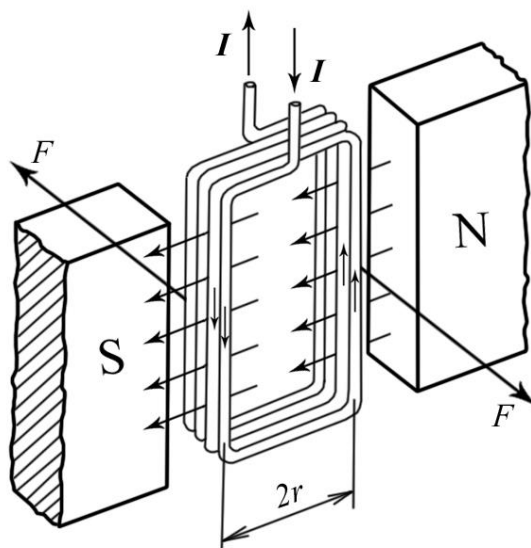


Рис.24.

Поэтому, для обеспечения постоянства величины $M_{\text{в}}$, при различных φ , для получения равномерной шкалы прибора, рамку 1 помещают в концентрированное радиальное магнитное поле, образованное при помощи стальных полюсных наконечников 3 и цилиндрического сердечника 4, расположенного внутри рамки. Полюсные наконечники отделены друг от друга вкладышами 5 из немагнитного материала. Таким образом, с изменением электрического тока протекаемого через рамку, пропорционально ему изменяется и вращающий момент $M_{\text{в}}$, под воздействием которого, рамка стремится повернуться вокруг оси, до совпадения по направлению ее магнитного поля, с полем постоянного магнита.

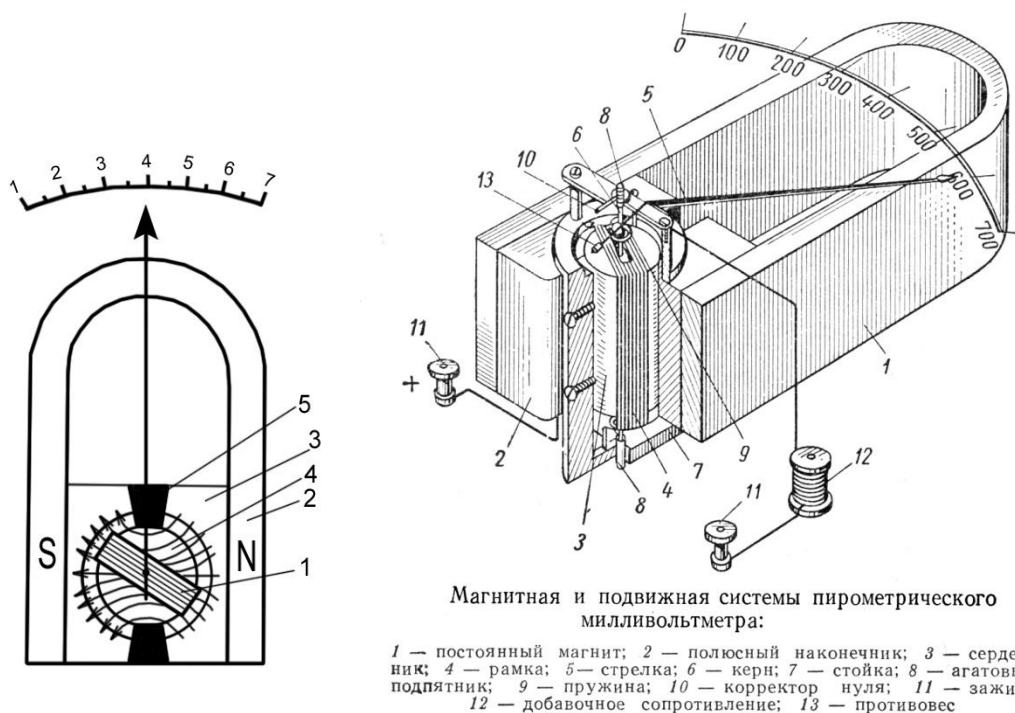


Рис.25.

Это движения рамки вызывает закручивание спиральной пружины, скрепленной с ней одним концом, противодействующей повороту рамки. Противодействующей

момент спиральной пружины M_{Π} , растяжки или подвесной ленты, появляющейся при их закручивании равен,

$$M_{\Pi} = C_2 P \varphi$$

где, C_2 - постоянная, характеризующая упругое устройство (коэффициент, зависящий от геометрических размеров спирали).

P - модуль упругости материала при растяжке или сдвиге;

φ - угол закручивания.

В состоянии равновесия подвижной части

$$M_B = M_{\Pi} \quad \text{или,} \quad C_1 B I = C_2 P I$$

$$\text{откуда} \quad \varphi = \frac{c_1}{c_2} \cdot \frac{B}{P} \cdot I \quad \text{или} \quad \varphi = S \cdot I$$

Из последнего уравнения видно, что угол поворота подвижной части стрелки прибора зависит только от тока, протекаемого через рамку измерительного прибора.

Выпускаются милливольтметры М-64, МР-64-02.

Погрешности при измерении ТЭДС пирометрическими милливольтметрами.

Величина протекающего в цепи тока

$$I = \frac{E_{(tt_0)}}{R_M + R_{\Pi} + R_t}$$

R_M , R_{Π} , R_T – соответственно, сопротивления милливольтметра, соединительных проводов и термopара. Или же,

$$\varphi = SI = S \frac{E_{(tt_0)}}{R_M + R_{\Pi} + R_t}$$

Таким образом, угол поворота подвижной части прибора при $E_{(tt_0)} = \text{const}$ зависит и от R_M , R_{Π} , R_T .

Поэтому, при измерении температуры, возможны погрешности от изменения температуры окружающие среды (соединительных проводов и милливольтметра).

Из анализа уравнений,

$$E_{(tt_0)} = I R_M + I R_{\text{вн}}$$

где, $I R_M = I_{\text{ав}}$ - падение напряжения в цепи милливольтметра, которое измеряется прибором. Следовательно,

$$I R_M = U_{\text{ав}} = E_{(tt_0)} - I R_{\text{вн}}$$

Падение напряжение измеряемое милливольтметром всегда меньше $E_{(tt_0)}$, что можно доказать следующим образом,

$$I = \frac{E_{tt_0}}{R_M + R_{\text{вн}}};$$

$$I \cdot R_M = \frac{E_{(tt_0)} \cdot R_M}{R_M + R_{\text{вн}}} = \frac{E_{(tt_0)} \frac{R_M}{R_M + R_{\text{вн}}}}{\frac{R_M}{R_M}} = \frac{E_{(tt_0)}}{1 + \frac{R_{\text{вн}}}{R_M}};$$

$$IR_M = U_{ab} = \frac{E_{(t_0)}}{1 + \frac{R_{BH}}{R_M}};$$

Из последнего уравнения также видно, что U_{ab} всегда меньше от $E_{(t_0)}$ и она ближе к E_{t_0} при случае, когда R_M больше чем R_{BH} . Чем больше сопротивление внешней цепи R_{BH} и чем меньше сопротивления милливольтметра, тем больше погрешность измерения. При чрезмерном увеличении R_M , уменьшается величина тока, и возникают затруднения при конструировании прибора.

Потенциометры

Принцип действие потенциометра заключается в том, что развиваемая термопарой ТЭДС, уравнивается (компенсируется) равным ей по величине, но обратным по знаку напряжением от вспомогательного источника тока, которое затем измеряется с большой точностью.

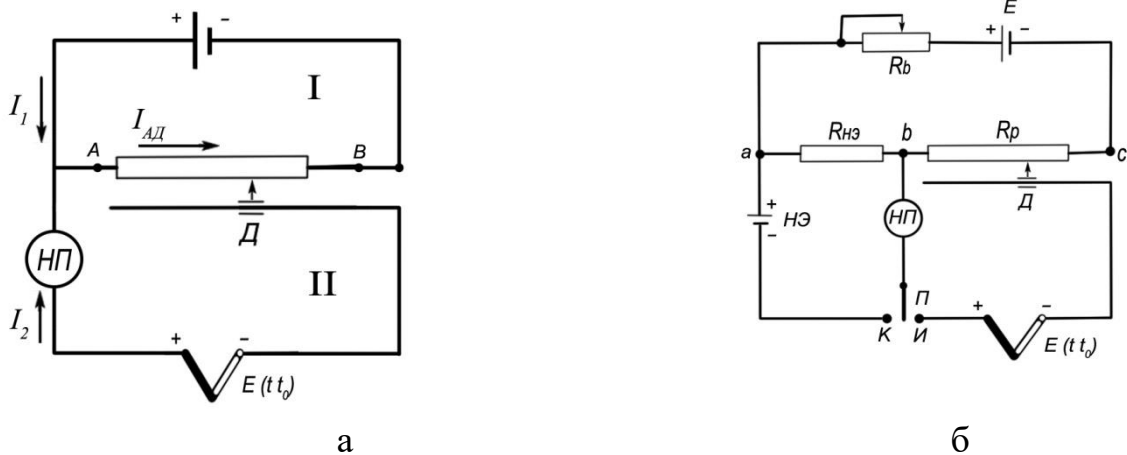


Рис.26.

Термопара подключается таким образом (рис 26-а), что ее ток на участке сопротивления R_{AD} идет в том же направлении, что и от вспомогательного источника. Величина тока в цепи источника E равно I_1 , а в цепи термопары I_2 . Ток на участке R_{AD} , по I- закону Кирхгофа равно,

$$I_{AD} = I_1 + I_2,$$

Данный потенциометр состоит из двух цепей: I-цепь источника питания; II-цепь термопары. На основании II - закона Кирхгофа, ТЭДС развиваемая термопарой, равно падению напряжений на сопротивлениях ($R_{МП}$; R_{BH} ; R_{AD}) II цепи, т.е,

$$E_{(t_0)} = I_2(R_{МП} + R_{BH}) + I_{AD} R_{AD} = I_2(R_{МП} + R_{BH}) + I_1 R_{AD} + I_2 R_{AD} = I_2(R_{МП} + R_{BH} + R_{AD}) + I_1 R_{AD}$$

Откуда,

$$I_2 = \frac{E_{(t_0)} - I_1 R_{AD}}{R_{МП} + R_{bh} + R_{AD}};$$

Из этого уравнения видно, что $I_2 = 0$, когда числитель равен нулю.

Передвигая контакт D до E_{AB} (при условии $E_{(t_0)} < E$) можно найти положение, при котором ток в цепи термопары будет равен нулю ($I_2 = 0$), тогда,

$$E_{(t_0)} - I_1 R_{AD} = 0 \text{ или, } E_{(t_0)} = I_1 R_{AD} \text{ или, } I_1 R_{AD} = U_{AD}$$

Если учесть, что

$$\frac{U_{AD}}{R_{AD}} = \frac{E}{R_{AB}}; \text{ и } \frac{R_{AD}}{R_{AB}} = \frac{l}{L}$$

то можно написать,

$$E_{(tt_0)} = U_{AD} = E \frac{R_{AD}}{R_{AB}} = E \frac{l}{L};$$

В последнем уравнении переменным является l , которое зависит от положения движка реохорда. Кроме этого может меняться во времени и ток в цепи реохорда, что вводит дополнительные погрешности при измерении. Нужная величина тока I_1 устанавливается также компенсационным методом. В приводимой схеме (рис. 26-б) имеются три электрической цепи.

I - цепь источника тока.

II - цепь нормального элемента

III - цепь термопары.

При переключении переключатся в положении «К» (контроль) реостатом R_v регулируют силу тока до тех пор пока стрелка гальванометра (НП) не встанет на нуль шкалы. Отсутствие тока в цепи II наступит в тот момент, когда ЭДС нормального элемента $E_{нэ}$ будет компенсирована обратным ей по знаку падением напряжения на сопротивлении $R_{нэ}$ (в участке «а в»).

В этом случае рабочий ток I_1 (примет требуемое значение) в измерительной цепи будет равен

$$I_1 = \frac{E_{нэ}}{R_{нэ}} = const, \text{ потому что } E_{нэ} \text{ при } 20^0\text{C} \text{ развивает строго постоянную ЭДС}$$

равную 1,0186 в.

$R_{нэ}$ - из манганина, т.е. const.

Переключив переключатель в положение «и» термопара подключается последовательно с НП и R_p . Перемещая D, находится такое его положение, при котором разность потенциалов в точках «в» и «D» будет равно ТЭДС. При этом ток $I_2=0$, и

$$E_{(tt0)} = I_1 R_{AD} = R_{AD} \frac{E_{нэ}}{R_{нэ}}$$

если учесть что, $E_{нэ}=const$ и $R_{нэ}=const$, то определение ТЭДС сводится к определению длины участка измерительного сопротивления R_p .

Преимуществом компенсационного методе является, то что измерение ТЭДС осуществляется при отсутствии тока в цепи термопары, поэтому изменение сопротивления термопары, соединительных проводов и «НП» в результате колебания температуры окружающей среды не оказывает влияния на точность измерения.

Автоматические электронные потенциометры

Если, в потенциометрах небалансный ток измерительной цепи потенциометра вызывает отклонение стрелки нулевого прибора, то в электронных потенциометрах нулевой прибор отсутствует. Он заменен электронным нуль - индикатором.

Все сопротивления выполнены из манганина, а R_k из меди или никеля.

Цепь источника тока состоит из двух ветвей: рабочей, в которую включен реохорд R_p и вспомогательной, состоящий из двух сопротивлений $R_{нэ}$ и R_k .

Наличие вспомогательной ветви дает возможность вводить автоматическую поправку на температуру холодного спая термопары и на величину рабочего тока.

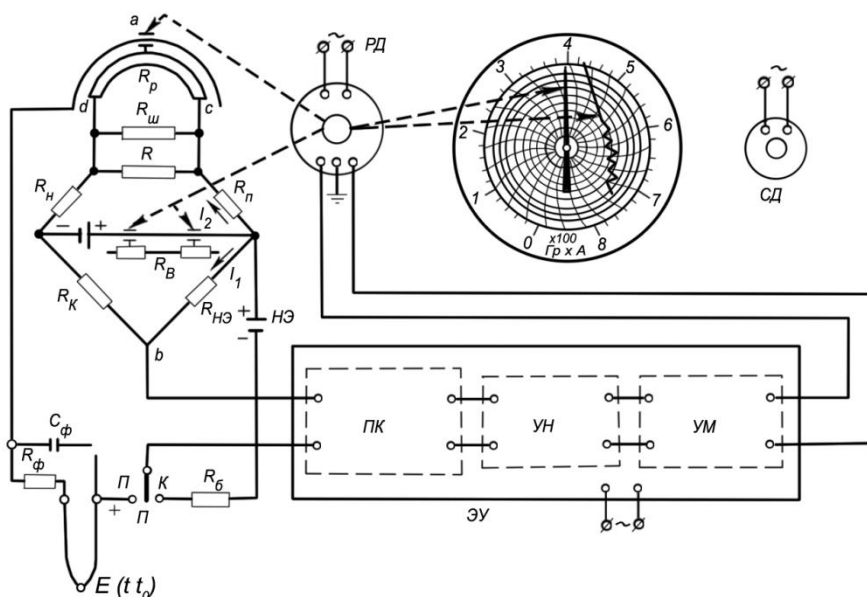


Рис.27.

Измеряемая термо ЭДС компенсируется падением напряжения на реохорде R_p , и на R_n и R_k т.е.

$$E_{(tt_0)} = I_1 R_p + I_2 R_n - I_1 R_k = U_{cd}$$

При изменении температуры изменяется $E_{(tt_0)}$ и она не станет, равной U_{cd} , при этом на вход ЭУ через преобразовательный каскад ПК поступает напряжение небаланса, равное

$$\Delta U = E_{(tt_0)} - U_{cd}$$

В ПК напряжение небаланса (ΔU) постоянного тока, преобразуется в переменное, и затем усиливается по напряжению и мощности в ЭУ, до значения, достаточного для вращения ротора реверсивного двигателя РД. Ротор РД кинематически связан со стрелкой отсчетного устройства (ОУ) измерительного прибора и движком реохорда R_p . При появлении ΔU , ротор РД вращается и перемещает движок R_p до тех пор, пока

$$\Delta U = 0 \text{ т.е. } E_{(tt_0)} = U_{cd}$$

Для установки рабочего тока I_1 переключатель ставится в положение «к» (контроль). При этом, если падение напряжение $I_1 R_{HЭ}$ не равно ЭДС нормального элемента, то электронный усилитель получает сигнал, равный разности этих напряжений $E_{HЭ} - I_1 R_{HЭ} = \Delta U_1$ и ротор РД вращаясь, доводит $I_1 R_{HЭ}$ до $E_{HЭ}$, при этом $I_1 = \frac{E_{HЭ}}{R_{HЭ}}$

и на РД сигнал не поступает. В этот момент устанавливается вполне определенное значение рабочего тока I_2 .

R_T - для ограничения тока в цепи НЭ;

R_M - шунт реохорда R_p ;

R_T – сопротивление предназначенное для ограничения тока через R_p .

В современных автоматических потенциометрах из-за применения стабилизированных источников питания, отсутствует цепи нормального элемента для установки рабочего тока.

С увеличением температуры холодных спаев, ТЭДС термопары уменьшается на величину $E_{(t_{t_0})} - E_{(t_{t_0}^1)}$, однако при этом также изменяется и U_{cd} т.к. R_k , которое находится в одинаковых условиях с холодными спаями термопары, изменяется, т.е.

$$E_{(t_{t_0})} - E_{(t_{t_0}^1)} = I_2 R_p + I_2 R_n - I_1 (R_k + \Delta R_k)$$

т.е. изменение ТЭДС за счет изменения температуры холодных спаев компенсируется дополнительным падением напряжения $I_1 \Delta R_k$, за счет изменения сопротивления R_k .

Выпускаются также потенциометры КСП-4 с ленточной диаграммой и многоточечные.

Рассмотрим схему автоматического электронного потенциометра типа КСП-4 для измерения температуры в трех точках.

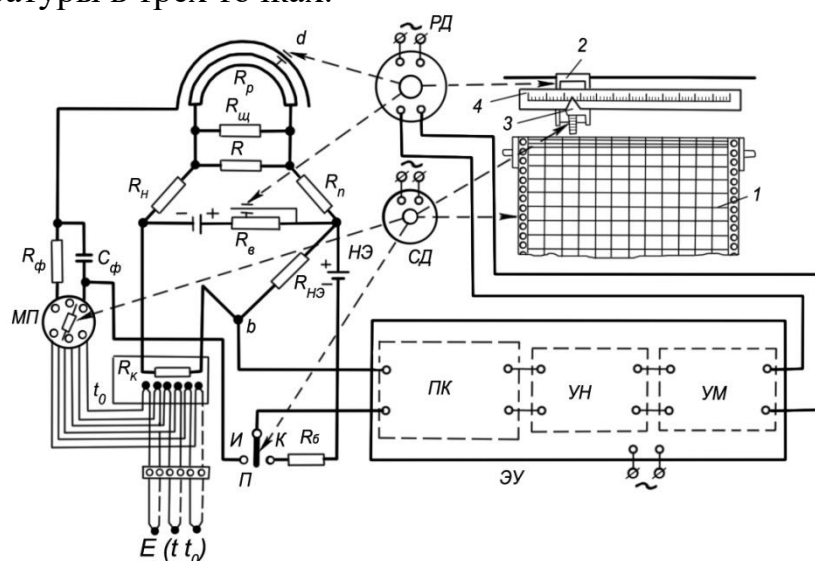


Рис.28

П - двухполюсный трехпозиционный переключатель, переключение которого осуществляется с помощью СД.

Кроме вышеприведенных приборов выпускаются следующие потенциометры КСП1, КПП1, КСП2 и КПП2 т.е. миниатюрные и малогабаритные автоматические потенциометры.

ПИРОМЕТРЫ ИЗЛУЧЕНИЕ

Действие этих приборов основана на измерении излучаемой телом энергии, зависящий от его температуры и физико-химических свойств.

Основным преимуществом пирометров излучения является бесконтактность измерения и возможность измерения температуры в пределах 100-5000⁰С.

С повышением температуры нагретого тела интенсивность его излучения возрастает. До 500⁰С тела излучают невидимые инфракрасные (тепловые) лучи большой длины волны, с дальнейшим повышением температуры появляются видимые лучи меньшей длины и тело начинает светиться. Вначале тело имеет темно красный

цвет, потом красный, оранжевый, желтый и, наконец белый цвет, состоящий из комплекса лучей разной волны.

Таким образом, с увеличением температуры нагретого тела возрастает интенсивность монохроматического излучения (одно цветного, т.е. яркость тела) для данной длины волны, а также увеличивается интегральное (полное) излучение телом энергии, что позволяет использовать эти два свойства нагретых тел для измерения температуры.

Таким образом, различают пирометры частичного излучения и пирометры полного излучения.

Пирометры частичного излучения.

Оптические пирометры. В оптических пирометрах производится сравнение монохроматической яркости нагретого тела излучателя, температуру которой измеряют, и накала нити, встроенного в прибор пирометрической лампы.

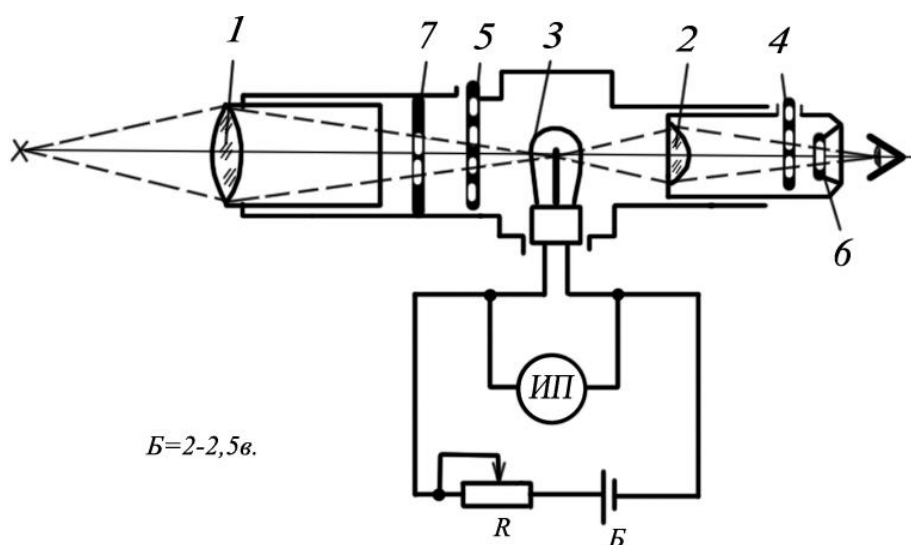


Рис.29.

Оптический пирометр состоит из следующих элементов:

- 1 - объективная линза;
- 2 - окулярная линза;
- 3 - пирометрическая лампа (лампа накаливания);
- 4 - красный светофильтр;
- 5 - серый поглощающий фильтр;
- 6 - диафрагма выходная;
- 7 - диафрагма входная.

Телескоп пирометра состоит из объективной линза 1 и окуляра 2, в фокусе объектива установлен пирометрическая лампа с дугообразной вольфрамовой нитью, накал которого можно изменят реостатом. Для получения монохроматического (одноцветного) излучения с длиной волны 0,65 мкм перед окуляром установлен красный стеклянный светофильтр 4. Между объективом и пирометрической лампой установлен поглощающее (затемненное, серое) стекло, который служит для увеличения верхнего предела показаний пирометра, т.к. видимая яркость излучателя при этом ослабляется в несколько раз, при неизменной яркости нити лампы.

Таким образом, принцип действие оптических пирометров основана на сравнении яркости двух тел, тело температуру которого необходимо измерить и вольфрамовую нить.

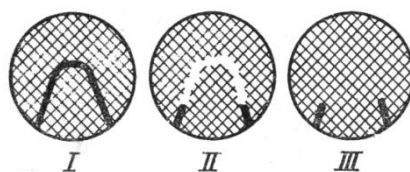


Рис.30.

При этом если яркость нити будет больше яркости излучателя, то на светлом фоне нити будет казаться черной (состояние I), если же наоборот то нить будет проектироваться светлой линией на более темном фоне (состояние II), и при совпадении яркости нити и излучателя, изогнутая часть нити сольется со светлым фоном излучателя и как бы исчезает из поля зрения наблюдателя. В этот момент и производится отсчет яркостной температуры по шкале амперметра, включенного в цепь пирометрической лампы и градуированного в градусах ($^{\circ}\text{C}$).

Вольфрамовую нить нельзя подвергать нагреву свыше 1500°C т.к. может быть нарушена градуировка шкалы прибора из-за распыления нити при ее перегреве и загрязнении при этом внутренних стенок колбы лампы.

Достоинством оптических пирометров является сравнительно высокая точность, компактность и простота обращения с ним, а недостаток, потребность в источнике питания, невозможность автоматической записи, а также субъективность метода измерения, основанного на спектральной чувствительности зрения наблюдателя.

Выпускается оптический пирометр ОППИР- 007.

Фотоэлектрические пирометры

Принцип действие этих приборов, также основана на измерение температуры по интенсивности (яркости) монохроматического излучения, при котором изменяется фототок пропорциональный световому потоку от излучателя и служит для измерения температуры в пределах $500 - 4000^{\circ}\text{C}$. По сравнению с визуальными пирометрами частичного излучения они имеют ряд преимуществ. Непрерывность, безинерционность и объективность измерения.

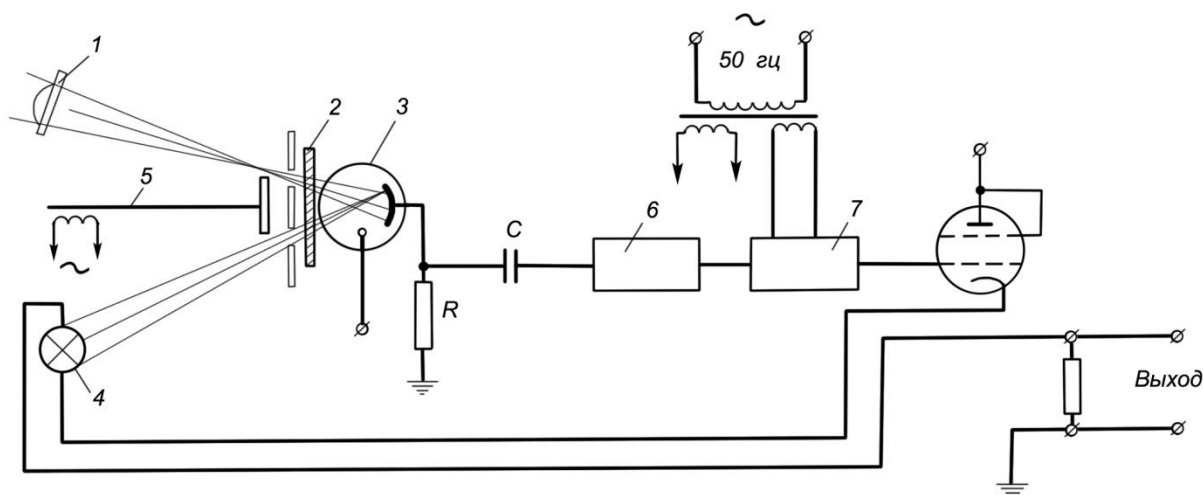


Рис.31.

Фотоэлектрический пирометр типа ФЭП-4 с пределом измерения $800 - 1300^{\circ}\text{C}$ состоит из фокусирующего объектива 1, направляющего излучения в фотоэлемент 3, через верхнее отверстие кассеты красного светофильтра 2. На нижнее отверстие падают лучи от лампы накаливания, включенного в анодную цепь выходного каскада силового блока и служащей для получения обратной связи по световому потоку. Отверстия кассеты переключаются частотой 50 гц при помощи заслонки 5, вибрирующей под воздействием обмотки, питаемый переменным током.

Благодаря выбранной форме отверстий кассеты на фотоэлемент подаются синусоидально изменяющиеся – световые потоки от излучателя и лампы накаливания. В результате к электронному усилителю подается переменное напряжение, амплитуда которого зависит от разности фототоков, возникающих при освещении фотоэлемента излучателем и лампы накаливания. Благодаря этому ток в цепи лампы накаливания меняется автоматически до величины, обеспечивающей одинаковую освещенность фотоэлемента от обоих источников света. Падение напряжения, вызываемое от этого тока на постоянном сопротивлении, является мерой температуры.

Класс точности у этих прибора 1.

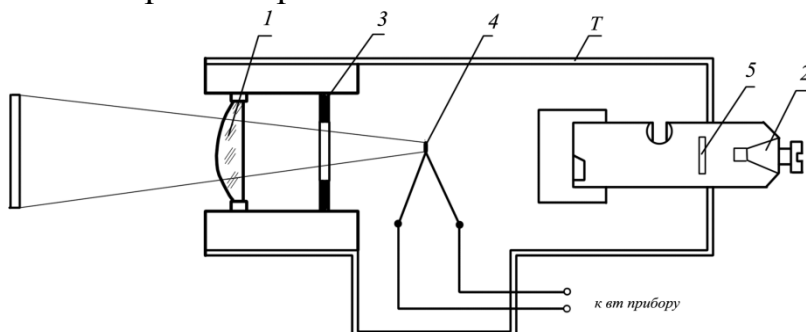
Выпускаются также прибор ФЭП-3, осуществляющий прямое измерения температуры по силе фототока.

Пирометры полного излучения. Радиационные пирометры.

Измерение температуры этими пирометрами основана на использовании теплового излучения нагретых тел. Улавливаемые пирометром тепловые лучи концентрируются при помощи собирательной линзы на термочувствительном элементе, состоящим из небольшой термобатареи (ряда последовательно соединенных термопар). Лучистый поток направляется линзой на рабочие концы термопар, по степени нагрева которых судят о температуре излучателя. В качестве вторичных приборов применяются пирометрические милливольтметры или автоматические потенциометры.

Преимущество пирометров полного излучения является объективность метода измерения, отсутствие постороннего источника питания и возможность применения дистанционной передачи показаний на вторичные прибора. Однако они уступают предыдущим пирометрам в точности измерения.

Шкала неравномерная – сильно сжатая в начале и очень растянутая в конце.



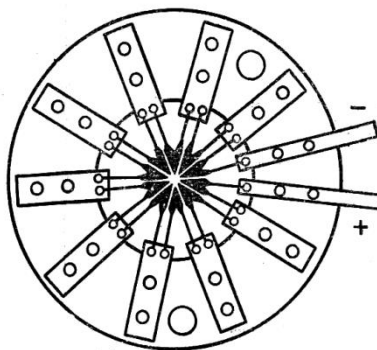


Рис.32.

Радиационный пирометр РАПИР, состоит из следующих основных узлов: телескопа, т.е. объективной линзы 1, с окуляром 2 с цветovým стеклом 5 и диафрагмы 3, направляющее излучения в рабочие спаи термобатареи 4, помещенные в камере с зачерненными стенами. Лучистый поток, направленный на рабочие концы термобатареи, преобразуется в электрический сигнал, который передается вторичному прибору.

Предел измерения этого прибора 400 - 2500°C.

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

Давлением жидкости газа или пара называется сила, равномерно действующая на единицу площади, а единицей давления является единица силы, действующая на единицу площади.

Давление является одним из основных параметров химика технологических процессов.

Рассмотрим такой пример: на выходе выпарного аппарата необходимо поддерживать концентрацию раствора 30%, которое является оптимальным, При определенном значении давления (например, 200 мм.рт.ст.), этой концентрации соответствует температура раствора на выходе аппарата 85°C. При изменении давления, как известно, изменяется температура кипения. Поэтому при изменении давления, если поддерживать ту же температуру (85°C), то на выходе концентрация изменится, и она будет в этом случае не оптимальным. Подобных примеров в химической технологии можно приводить сколько угодно.

Единицы и методы измерения давления

При измерении давления различают: барометрическое, избыточное и абсолютное давления. Барометрическое давление (P_b) создается массой воздушного столба земной атмосферы и зависит от высоты местности и метеорологических условий. Величина давления среды, превышающее барометрического, называется избыточным давлением. Абсолютное (полное) давления среды ($P_{абс}$) может быть больше или меньше барометрического.

$$P_{изб} = P_{абс} - P_{бар}; \quad P_{раз} = P_{атм} - P_{абс}$$

В международной системе единиц СИ в качестве единицы давления принято давление вызываемое силой Ньютон, равномерно распределенной на поверхности площадью 1 м^2 , т.е. 1 н/м^2 .

Единица н/м^2 очень мала, что видно по сравнению единиц измерения давления: $1\text{ кгс/см}^2=10^4\text{ кгс/м}^2=10332\text{ мм.вод.ст}=760\text{ мм.рт.ст.}=9,8\cdot 10^4\text{ н/м}^2=0,980665\text{ бар}=14,5\text{ англ.ф унт/дюйм}^2$ (т.е сила 1 фунт=0,453592кгс, действующая на квадратный дюйм 6,451582).

Приборы для измерения давления классифицируются:

I. По принципу действия:

1. жидкостные;
2. деформационные (пружинные);
3. грузопоршневые;
4. электрические.

II. По роду измеряемой величины:

1. Манометры;
2. Вакуумметры;
3. Моновакуумметры;
4. Напорамеры;
5. Тягомеры;
6. Тягонапорамеры;
7. Барометры;
8. Дифференциальные манометры.

ЖИДКОСТНЫЕ МАНОМЕТРЫ

Принцип действия этих приборов основана на уравнивании измеряемого давления давлением столба жидкости соответствующей высоты.

Жидкостные стеклянные манометры в основном применяются в лабораторных условиях. Для производственных измерений применяются редко. Различают U-образные, чашечные, чашечные с наклонной трубкой, колокольные и кольцевые.

Двухтрубный U-образный стеклянный манометр

В этих приборах измеряемое давление определяется по высоте столба уравнивающей жидкости (h) с плотности (ρ) и плотности среды (ρ_c) над уравнивающей жидкостью

$$P = (\rho - \rho_c)gh = \rho gh - \rho_c gh$$

Где, $g = 9,80665\text{ м/сек}^2$, среднее значение ускорения силы тяжести;

ρ и ρ_c – соответственно, плотность жидкости в U-образном стеклянном манометре и плотность среды над жидкостью;

h - высота столба уравнивающей жидкости.

Если учесть что, $\rho \gg \rho_c$ то можно написать,

$$P = \rho gh \quad \text{или} \quad P = kh$$

$$P_1 = P_6 + \rho gh; \quad P_2 = P_6 + P_{\text{изб}},$$

С учетом, что, в момент уравнивания $P_1 = P_2$, то

$$P_6 + \rho gh = P_6 + P_{\text{изб}}$$

$$P_{\text{изб}} = \rho g h = \rho g (h_1 + h_2)$$

Недостатком этих манометров является двухмерный отсчет.

Предел измерения до 2 кгс/см². Погрешность измерения может быть 2 мм столба жидкости. В качестве рабочей жидкости применяется ртуть, дистиллированная вода или спирт.

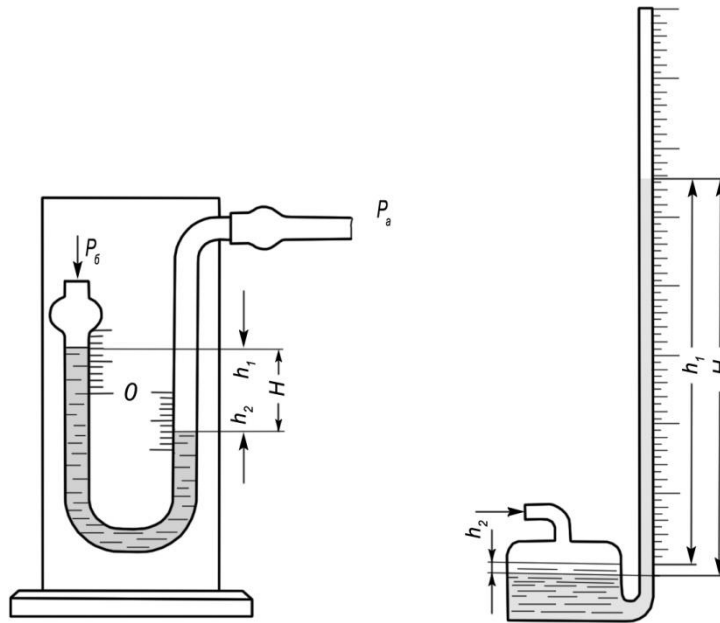


Рис.33.

Однотрубный чашечный манометр

У этих приборов отсчет производится по уровню в узкой измерительной трубке (одномерный отсчет). Однотрубный чашечный манометр имеет широкий металлической сосуд (чашку) 1, к нижней части которого подключена стеклянная измерительная трубка 2, рядом с которой закреплена миллиметровая шкала 3. Свободный конец измерительной трубки сообщается с атмосферой, а сосуд 1 соединяется с объектом измерения посредством трубки 4. Под давлением измеряемой среды ($P = P_a - P_g$), уровень рабочей жидкости в стеклянной измерительной трубке 2, поднимается на высоту h_1 , а в сосуде 1 опустится на высоту h_2 . Общая высота $h = h_1 + h_2$ уравнивает измеряемое давления.

Объем жидкости вытесненной из сосуда в измерительную трубку равно

$$h_1 f = h_2 F$$

где, f и F – соответственно, площади сечения трубки и сосуда.

Решим следующее,

$$h = h_1 + h_2 = h_1 + \frac{f}{F} h_1 = h_1 \left(1 + \frac{f}{F}\right); \text{ или,}$$

$$h = h_1 \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right) = h_1 + h_1 \frac{d^2}{D^2}$$

откуда, общая высота столба жидкости будет больше измеренной по шкале прибора на величину $h_1 \frac{d^2}{D^2}$, обычно отношения $\frac{d^2}{D^2}$ меньше или равно 0,01, что практически не

вызывает заметных дополнительных погрешностей при отсчетах по одному уровню т.е. $h \approx h_1$ или, $P = \rho g h_1$.

Микроманометр с наклонной трубкой

Существуют манометры с наклонной трубкой, отсчет измеряемого давления в которых также производится по высоте столба жидкости, т.е. $h = l \sin \varphi$

$$P = \rho g l \sin \varphi$$

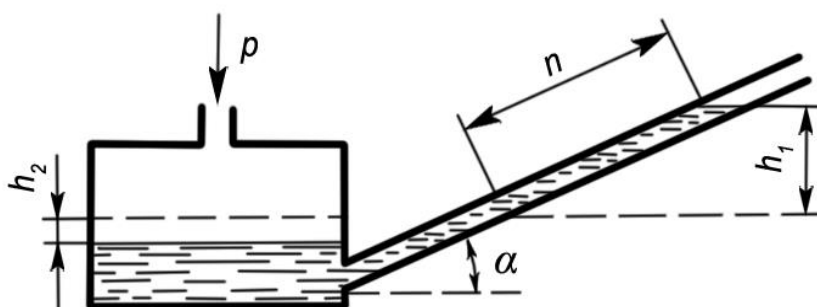


Рис.34.

1-доска

2-сосуд

3-измерительная трубка

4-уровень

Технические жидкостные манометры

К техническим жидкостным манометрам относятся, поплавковые, колокольные и кольцевые.

Поплавковые жидкостные манометры

Эти манометры в основном применяются как дифманометры.

У этих приборов одно из колен расширено и в нем помещен поплавок, связанный со стрелкой прибора. При P_1 больше P_2 уровень в левом сосуда понизится на высоту h_1 . Разность давлений $(P_1 - P_2)$ уравнивается давлением, создаваемым столбом жидкости высотой $H = h_1 + h_2$.

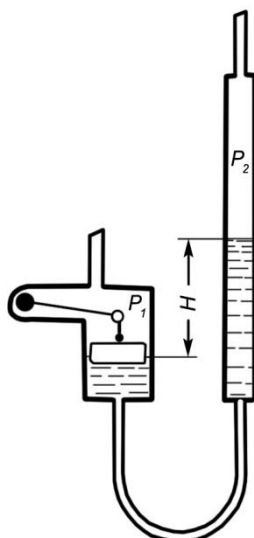


Рис.35.

Условие равновесия, имеет вид: $P_1 - P_2 = (\rho - \rho_1)gH$
 Известно, что объемы вытесненной жидкости.

$$h_2 \frac{\pi D^2}{4} = h_1 \frac{\pi d^2}{4}$$

$$h_1 = h_2 \frac{D^2}{d^2}; \quad \text{тогда } H = h_2 \left(1 + \frac{D^2}{d^2}\right)$$

Подставляя значение H находим,

$$P_1 - P_2 = h_2 g \left(1 + \frac{D^2}{d^2}\right) (\rho - \rho_1)$$

или же, обозначив постоянные составляющую в последнем уравнение можно записать

$$P_1 - P_2 = k_1 * k_2 * h_2$$

Т.е разность давлений может быть выражена величиной перемещения поплавка.

Колокольные манометры

Колокольные приборы используются для измерения малых давлений и разрежений (тягимеры и напоромеры) и в качестве дифманометров.

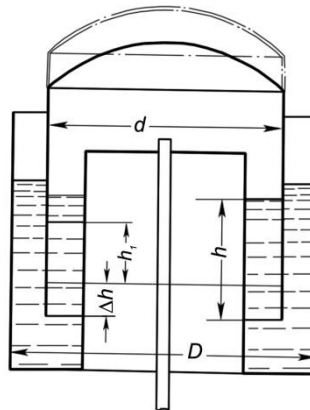


Рис.36.

Прибор состоит из сосуда с жидкостью 1 и колокола 2, под которую через трубку 3 подводится измеряемое давление, с изменением которого колокол перемещается вверх или вниз. Существует два разновидности колокольных манометров, в первом усилие создаваемое давлением уравнивается Архимедовой силой, а в другом, грузью или пружиной. В первом при увеличении давления колокол начинает подниматься вверх и с уменьшением погружения колокола уменьшается Архимедова выталкивающая сила и при уравнивании этих сил колокол остановится. Во втором приборе усилие создаваемое давлением уравнивается упругостью пружины.

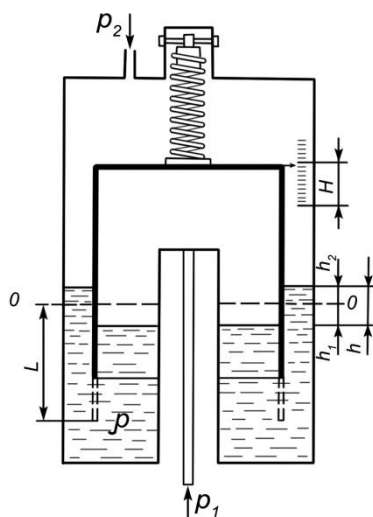


Рис.37.

Кольцевые манометры

Предназначены для измерения малых избыточных давлений, разрежения и разности давлений.

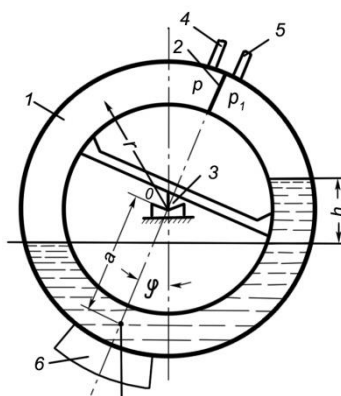


Рис.38.

Прибор представляет собой замкнутое кольцо 1, разделенной перегородкой 2, и подвешенный на опоре 3 в геометрическом центре. С двух сторон перегородки 2 имеются патрубки 4 и 5 для подвода измеряемого давления. К нижней части подвешен груз G(6). Полость кольца до половины заполнена рабочей жидкостью. При изменении ΔP , т.е $P_1 > P_2$ уровень жидкости в левой половине кольца понизится. Разность уровней будет при этом пропорционален разности давлений т.е

$$P_1 - P_2 = \rho g h$$

Сила от разности давлений $P_1 - P_2$, действующая на перегородку, создает вращающий момент

$$M_p = (P_1 - P_2) S r$$

S - Площадь перегородки;

r - Средний радиус кольца.

Под действием этого момента кольцо поворачивается вокруг точки опоры, по часовой стрелке. Поворот кольца создает противодействующий момент.

$$M_G = G a \sin \varphi$$

G - Сила тяжести груза;

φ - Угол поворота кольца;

a - расстояние центра тяжести груза от точки опоры.

При уравнивании обоих моментов кольцо остановится в новом положении равновесия $M_p = M_G$;

$$P_1 - P_2 = \frac{Ga}{Sr} \sin \varphi \quad \text{или,} \quad P_1 - P_2 = k \sin \varphi$$

Т.е. измеряемый перепад давления пропорционален синусу угла поворота кольца.

Шкала прибора неравномерная. Угол поворота не должна превышать 60° . Этими приборами можно измерить давление до 250 мм. рт. ст. и 250 мм. вод. ст. Погрешность 1,5% от верхнего предела.

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ (ПРУЖИННЫЕ) МАНОМЕТРЫ

Принцип действия пружинных манометров основано на использовании упругой деформации специальных пружин, возникающей под влиянием измеряемого давления. Т.е. основано на уравнивании измеряемого давления усилиями деформации различного вида упругих элементов. По роду применяемых пружин эти приборы можно разделить:

1. Приборы с трубчатой пружиной;
2. Мембранные приборы;
3. Сильфонные приборы.

Приборы с трубчатой пружиной

Французский механик Бурдон случайно обнаружил при испытании змеевиков, что концы дефектных змеевиков – имеющих сплюснутую форму сечения, перемещаются при изменении давления. Это привело его к мысли создать прибор для измерения давления на базе трубок некруглого сечения, которые в настоящее время носят название манометров Бурдона.

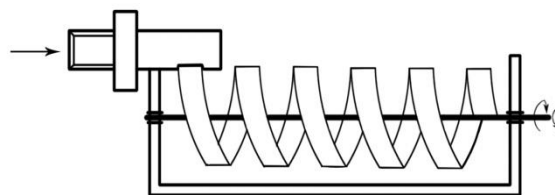
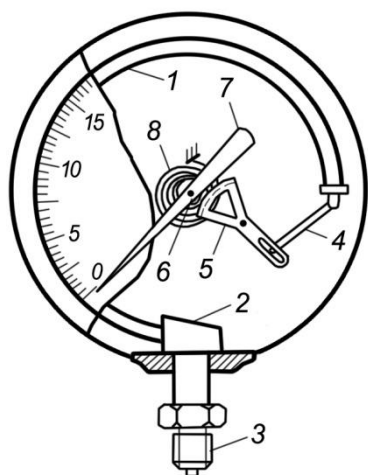


Рис.39.

Этот прибор состоит из согнутой по дуге окружности трубки 1 эластического сечения и держателя 2. При изменении измеряемого давления внутри трубки, деформируясь, стремится принять круглое сечение. Упругость пружины возрастает, что противодействует этой деформации трубки. При этом, свободный конец трубки разогнется и через поводок 3, зубчатый сектор 4 и шестеренки 5 перемещает стрелку прибора 6 на определенный угол, пропорциональный изменению давления.

Перемещение свободного конца трубки, при изменении давления, можно объяснить неравенством площадей нижней и верхней стенки прибора. При увеличении измеряемого давления, сила действующая на верхнюю стенку PS_v , будет больше силы, действующей на нижнюю стенку PS_n , т.е $PS_v > PS_n$. В результате свободный конец трубки перемещается до уравнивания этой силы, с упругостью пружины ($PS_v - PS_n = \Delta F$).

Наиболее наглядно и просто можно объяснить работу манометра следующим образом. Примем два допущения: 1. При увеличении давления малая ось "в" (сечения) увеличивается; 2. При деформации длина трубки остается постоянным, т.е AB и $A'B'$ сохраняют первоначальную длину. Обозначим $OA = r$; $OA' = R$; $\angle AOB = \gamma$

эти же величины после деформации r' ; R' ; γ'

согласно второму допущению

$$R\gamma = R'\gamma' \text{ и } r\gamma = r'\gamma'$$

вычитая получим

$$(R-r)\gamma = (R'-r')\gamma'$$

Учитывая, что малая ось до деформации меньше малой оси после деформации ($R-r < R'-r'$) и обозначив их соответственно "в" и "в'" можно написать

$$v\gamma = v'\gamma'$$

и если учесть, что $v < v'$ то, $\gamma < \gamma'$ т.е под действием давления угол изгиба трубки уменьшается и трубка разогнется.

Приборы с трубчатой пружиной выпускаются и как многовитковые (6-9 витков), которые отличаются высокой чувствительностью по сравнению с одновитковыми (рис.9).

Выпускается в промышленности следующие модификации пружинных манометров.

Для местного контроля: ОБМ: ОБВ: ОБМВ:

Для дистанционного контроля:

МП-П2.}

МП-Э2 } 0-40; 0-60; 0-100 кгс/см²; (Манометры пружинные, с пневматическими и электрическими преобразователями);

МП-П3.}

МП-Э3 } 0-160; 0-250; 0-400 кгс/см²; (Манометры пружинные, с пневматическими и электрическими преобразователями);

МП-П4.}

МП-Э4 } 0-600; 0-1000 кгс/см²; (Манометры пружинные, с пневматическими и электрическими преобразователями);

МС_в-П1; 0-1000 кгс/см²; (Манометры сверхвысокого давления, пружинные, с пневматическим преобразователем);

МС_в-П2; 0-1600 кгс/см²; (Манометры сверхвысокого давления, пружинные, с пневматическим преобразователем);

МС_в-П13; 0-2500 кгс/см²; (Манометры сверхвысокого давления, пружинные, с пневматическим преобразователем);
 МС_в-П4; 0-4000 кгс/см²; (Манометры сверхвысокого давления, пружинные, с пневматическим преобразователем);
 МС_в-П5; 0-6000 кгс/см²; (Манометры сверхвысокого давления, пружинные, с пневматическим преобразователем);
 МС_в-П6; 0-10000;кгс/см²; (Манометры сверхвысокого давления, пружинные, с пневматическим преобразователем);
 Также выпускается ВП-П2 и ВП-П3 (Вакуумметры пружинные, с пневматическим преобразователем);

Мембранные манометры

Чувствительный элемент мембранных манометров может быть выполнен в виде гофрированных мембран, мембранных коробок и мембранных блоков. Эти приборы предназначены для измерения небольших избыточных давлений и разрежений (манометры, напоромеры, тягомеры). Прогиб мембраны у этих приборов является функций давления, действующей на нее. Мембранный манометр с чувствительной гофрированной мембраной имеет следующий вид.

При изменении измеряемого давления P , мембрана прогибается до уравнивания усилия, действующего на мембрану от измеряемого давления, упругостью мембраны. Прогиб мембраны передается через передаточные механизмы стрелке прибора.

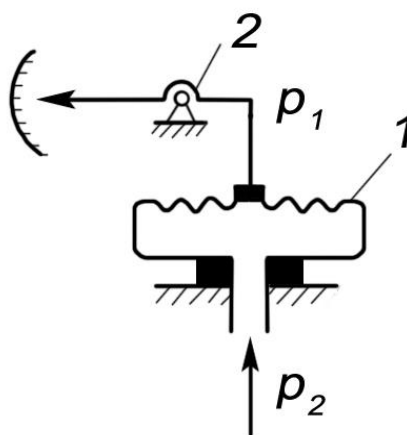


Рис.40.

Мембранный анероидный манометр служат измерения атмосферного давления P_a . Давления P_2 внутри анероидной коробки 0,01мм.рт.ст.

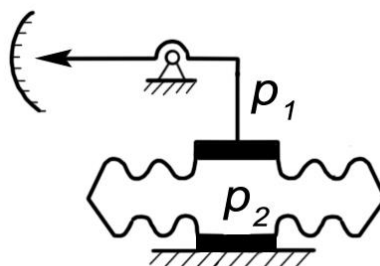


Рис.41.

Мембранный манометр с манометрической коробкой, служит для измерения малых давлений. Измеряемое давление P_2 подается в манометрическую коробку.

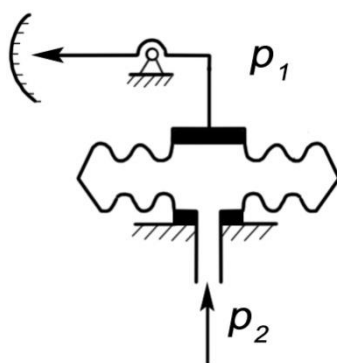


Рис.42.

Выпускается также anerоидные и манометрические коробки в виде блоков.



Рис.43.

Мембранные приборы могут быть использованы для измерения перепада давления. В этих приборах перепад давлений. $P_1 - P_2 = \Delta P$ уравнивается с упругостью чувствительной мембраны.

Выпускается следующее разновидности мембранных приборов;

Тягомеры ТМ-П1 25-0;...2500-0 мм.вд.ст.

Напоромеры ТН-Н1 0-25;...0-2500 мм.вд.ст.

Тягонапоромеры ТНМ-П1- -12,5-+12,5;-1250-+1250 мм.вд.ст.

Дифманометры ДМ-П1; ДМ-П2 и т.д

Выходным сигналом пневматических преобразователей является давление сжатого воздуха, изменяющееся в диапазоне 20—100 кПа, давление питания 140 кПа. Преобразователи обеспечивают передачу выходного сигнала по пневматической линии связи с внутренним диаметром 4 мм на расстояние до 150 м или с внутренним диаметром 6 мм на расстояние до 300 м по трассе. Расход воздуха питания на один прибор не превышает 3 л/мин.

Принцип действия пневматического преобразователя давления типа 13ДИ13 (рис.) основан на силовой компенсации. Измеряемое давление подводится в камеру 1 измерительного блока, воздействует на мембрану 2 и сильфон 3 и заставляет поворачиваться на небольшой угол рычаг 5 вокруг опоры, образованной двумя тягами и упругой мембраной 4. При этом перемещается заслонка 7 индикатор рассогласования относительно сопла 8, питаемого сжатым воздухом. Возникший в линии сопла сигнал усиливает давление на выходе пневмореле 9 и поступает в сильфон обратной связи 10 и на выход преобразователя. Пружина корректора нуля 6 служит для компенсации усилия, развиваемого

сильфоном обратной связи, а также для установки величины выходного сигнала 0,02 МПа при отсутствии измеряемого избыточного давления (начало шкалы).

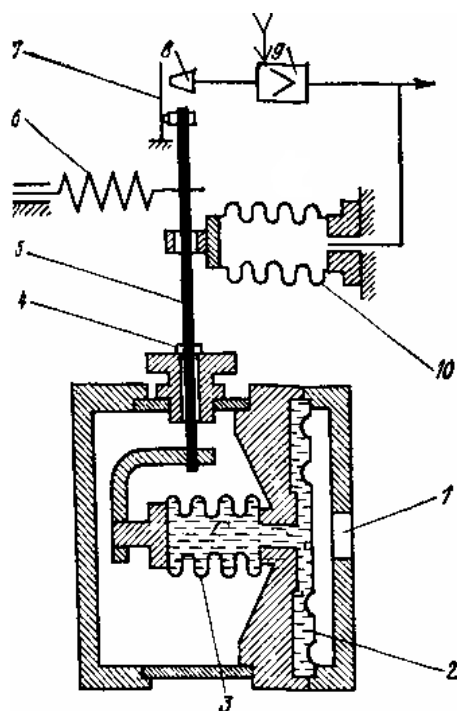


Рис. 44.

Сильфонные манометры

Чувствительным элементом сильфонных манометров является цилиндрический тонкостенный сосуд с кольцевыми складками, гофрами, называемый сильфоном.



Рис.45.

Изготавливается из латуни, берилловой бронзы и нержавеющей стали. При увеличении давления P_1 сильфон 1 разжимается до уравнивания сил упругости и усилия на дно 3 от изменения давления P_1 . Дно сильфона через передаточный механизм связан со стрелкой прибора. Выпускается сильфонные манометры, в которых измеряемое давление подается в надсильфонное герметичное пространство. Для получения однозначной зависимости перемещения дна мембраны или сильфона от изменения давления применяют мембранные и сильфонные манометры с жесткой пружиной.



Рис.46.

Выпускается следующие разновидности сильфонных приборов:

Манометры сильфонные с пневматическими или электрическими преобразователями:

МС-П1: МС-Э1 0-0,4: 0-4 кгс/см² (0-4*9,8*10⁴Н/м²)

МС-П2: МС-Э2 0-6: 0-25 кгс/см²

Вакуумметры сильфонные с пневматическими или электрическими преобразователями:

ВС-П1 ВС-Э1 0-0,4: 0-1 кгс/см²

Напорометры сильфонные с пневматическими или электрическими преобразователями:

НС-П1 НС-Э1 0-40: 0-250 кгс/м²

НС-П2 НС-Э2 0-400: 0-4000 кгс/м²

Тягомеры сильфонные с пневматическими или электрическими преобразователями:

ТС-П1 ТС-Э1 0-40: 0-250 кгс/м²

ТС-П2 ТС-Э2 0-400: 0-4000 кгс/м²

Тягонапорометры сильфонные с пневматическими или электрическими преобразователями:

ТНС-П1 ТНС-Э1 -20-20: -125-125 кгс/м²

ТНС-П2 ТНС-Э2 -200-200: -2000-2000 кгс/м²

Моновакуумметры сильфонные с пневматическими или электрическими преобразователями:

МВС-П1 МВС-Э1 -1-0,6: -1-3 кгс/см²

МВС-П2 МВС-Э2 -1-5; -1-0-24 кгс/см²

Грузопоршневые манометры

Принцип действие грузопоршневых манометров основана, в уравнивание силы давления измеряемой среды, на свободно передвигающейся в цилиндре поршень, силой, создаваемой калиброванным грузом. По величине массы этого груза определяют действующее на поршень избыточное давления. Эти приборы обладают высокой чувствительностью и могут измерят давление до 2500 9,8 *10⁴Н/м² и более (2500 кгс/см²).

Применяются в основном для поверки градуировки пружинных манометров.

В сосуд 1 с цилиндрической колонкой 2, заполненный маслом и сообщающийся посредством соединительного штуцера 3, с измеряемой средой, вставлен вертикально, с небольшим зазором (3-5мкм) стальной поршень (плунжер) 4.

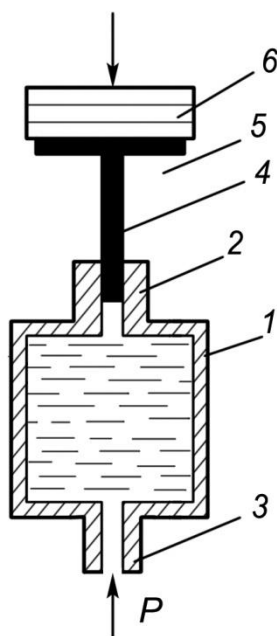


Рис.47.

С наружной стороны поршень скреплен с тарелкой 5, на которую в зависимости от величины измеряемого давления накладываются калиброванные грузы 6 (гири), уравновешивающее воспринимаемое поршнем давление.

$$P = \frac{g (G_1 + G_2)}{F}$$

Где, P - измеряемое давления;

G_1 и G_2 – масса поршня с тарелкой и грузов;

F - Площадь поршня;

g – нормальное ускорение свободного падения.

Изготавливаются грузопоршневые манометры; МП-2,5; МП-6; МП-60; МП-600; МП-2500; класс точности 0,05.

Электрические манометры и вакуумметры

Действие приборов этой группы, основано на прямом или косвенном преобразовании давления в какую-либо электрическую величину, функционально связанную с давлением. К таким приборам относятся манометры сопротивления, емкостные манометра, пьезоэлектрические манометры, теплопроводные манометры и ионизационные манометры.

Манометры сопротивления

Действие этих приборов основано на изменении сопротивления проводника под действием внешнего давления. Электрическим проводником обычно служит манганин. Изменение сопротивления в этих приборах следует линейному закону, т.е

$$\Delta R = k R P$$

ΔR - изменение сопротивления;

R- Сопротивление проводника;

P - измеряемое давление;

k- пьезокоэффициент, величина которого зависит от материала проводника.

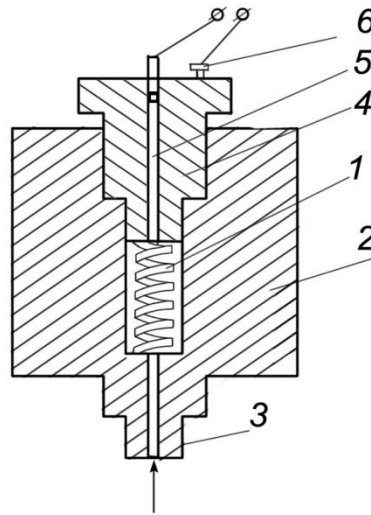


Рис.48.

Измеряемое давление в прибор подается через патрубок 3. При этом сопротивление проводника 1, находящего в корпусе 2 прибора, изменяется. Проводник намотан бифилярно в виде катушки, один конец обмотки катушки припаян к гайке 4, с зажимом 6, а другой к медному стрежню 5. Данный чувствительный элемент подключается в одно из плеч мостовой схемы и может быть измерен. Для измерения давления также могут быть использованы и тензометры. В этих приборах изменение сопротивления от давления следует тому же закону, т. е.

$$\Delta R = k R P$$

К - коэффициент тензочувствительности.

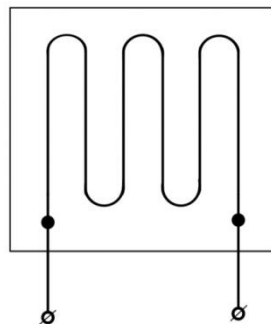


Рис. 49.

Принцип действие тензометра (Рис.49.) основана, в преобразовании усилия или пропорциональный ему деформации в изменение сопротивления проводника (проволоки ($d=0,02-0,05\text{мм}$), наклеенную на поверхность деформирующего тела.

Емкостные манометры

Действие приборов основано на изменении емкости плоского конденсатора, при изменении расстояния между обкладками. При изменении измеряемого давления емкость плоского конденсатора изменяется от зависимости.

$$C = \frac{E S}{\delta}$$

Где; С – емкость;

Е - диэлектрическая проницаемость;

S - Поверхность конденсатора;

δ - расстояние между обкладками.

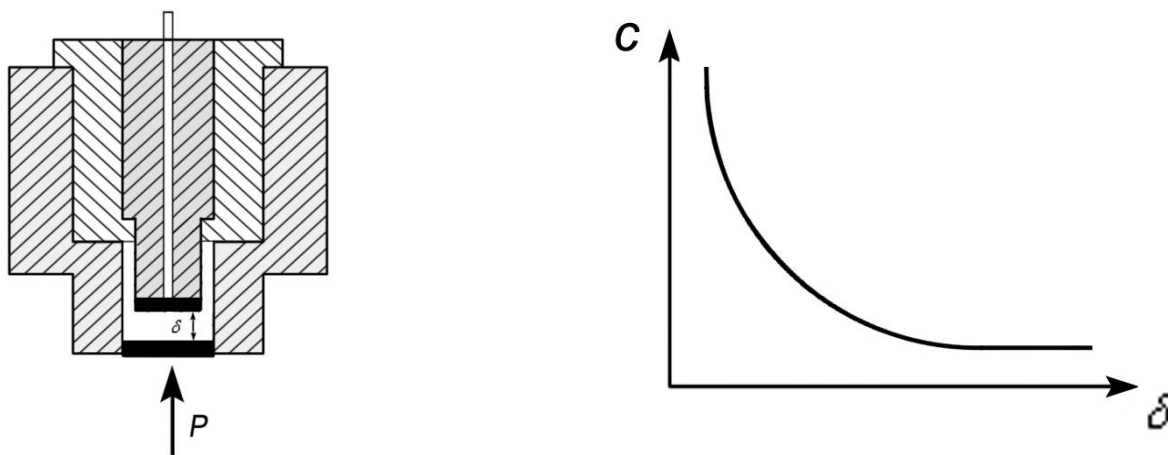


Рис.50.

При изменении измеряемого давления P , изменяется расстояние между обкладками конденсатора δ , что приводит к изменению электрической емкости C .

Пьезоэлектрические манометры

Действие пьезоэлектрических манометров основано на свойствах некоторых кристаллических веществ, создавать электрические заряды под действием механической силы. Это явление называется пьезоэффектом. Пьезоэффект наблюдается у кристаллов кварца, титанита бария и некоторых других веществ. Особенностью пьезоэффекта является, его безинерционность. Заряды возникают мгновенно в момент приложения силы. Возникающие на гранях кристалла электрические заряды сохраняются во время действия силы, и исчезают с прекращением ее действия.

В теплопроводных манометрах используются зависимость теплопроводности газов от давления. При измерениях давления (0,0001-10мм.рт.ст) с изменением давления изменяется теплопроводность газа и следовательно меняется и сопротивление термометра сопротивления включенного в одно из ключ мостовой схемы.

Действие ионизационных манометров основано на измерение ионного тока (собираемого коллектором ионов), зависящего от давления. (в зависимости от давления газа электроны на своем пути ионизируют большое или меньшее количества молекул, ионы собираются коллектором и создают ток I_k ; $I_k = k \cdot I_{\text{анод}} \cdot P$)

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ПОКАЗАНИЙ НА РАССТОЯНИЕ

Большое разнообразие первичных преобразователей с физически разнородными выходными сигналами требует значительной номенклатуры контрольно-измерительных и регулирующих приборов, что затрудняет их эксплуатацию и ремонт. Кроме того, при использовании машин централизованного контроля и управления требует большое количество различных вторичных преобразователей, преобразующих разнородные физические величины в единую величину. Поэтому в целях рационализации, отдельные

системы и приборы объединены в рамках **Государственной системы приборов (ГСП)**.

Структурно ГСП состоит из электрической, пневматической и гидравлической ветвей, которые связаны между собой через соответствующие преобразователи. ГСП предусматривает преобразование различных измеряемых параметров в единую форму информации, удобную для передачи на расстояния. Унификацией входных и выходных сигналов достигается взаимозаменяемость приборов и обеспечивается совместная работа первичных преобразователей с различными приборами, входящую в данную ветвь ГСП.

Для теплоэнергетических параметров (t , P , G , H) ГСП состоит из трех ветвей, объединяющих приборы с электрическим токовым (аналоговым), электрическим частотным (дискретным) и пневматическими выходными сигналами.

Установлены следующие унифицированные сигналы:

1. Для электрической аналоговой ветви: 0-5 мА; 0-20 мА; 0-10 В; 0-2 В;
2. Для электрической частотной (дискретно цифровой) ветви: 1500-2500 Гц;
3. Для пневматической ветви: 0,02 – 0,1 КПа (0,2-1,0 кгс/см²).

Преобразователи электрической аналоговой ветви

Эти электрические преобразователи аналоговой ветви выполняются по схеме силовой компенсации или по схеме компенсации перемещения.

Преобразователи, выполненные по схеме силовой компенсации

Измеряемый параметр воздействует на чувствительный элемент измерительного блока 1 (например: мембрана манометра) и преобразуется в пропорциональное усилие F , которое передается на рычаг 2.

Поворот этого рычага через ролик 3, промежуточный рычаг 4 и ленточную тягу 5 передается компенсационному рычагу 6, на котором укреплены сердечник 7 дифференциально-трансформаторного индикатора равновесия и катушка 8 магнитоэлектрического силового механизма.

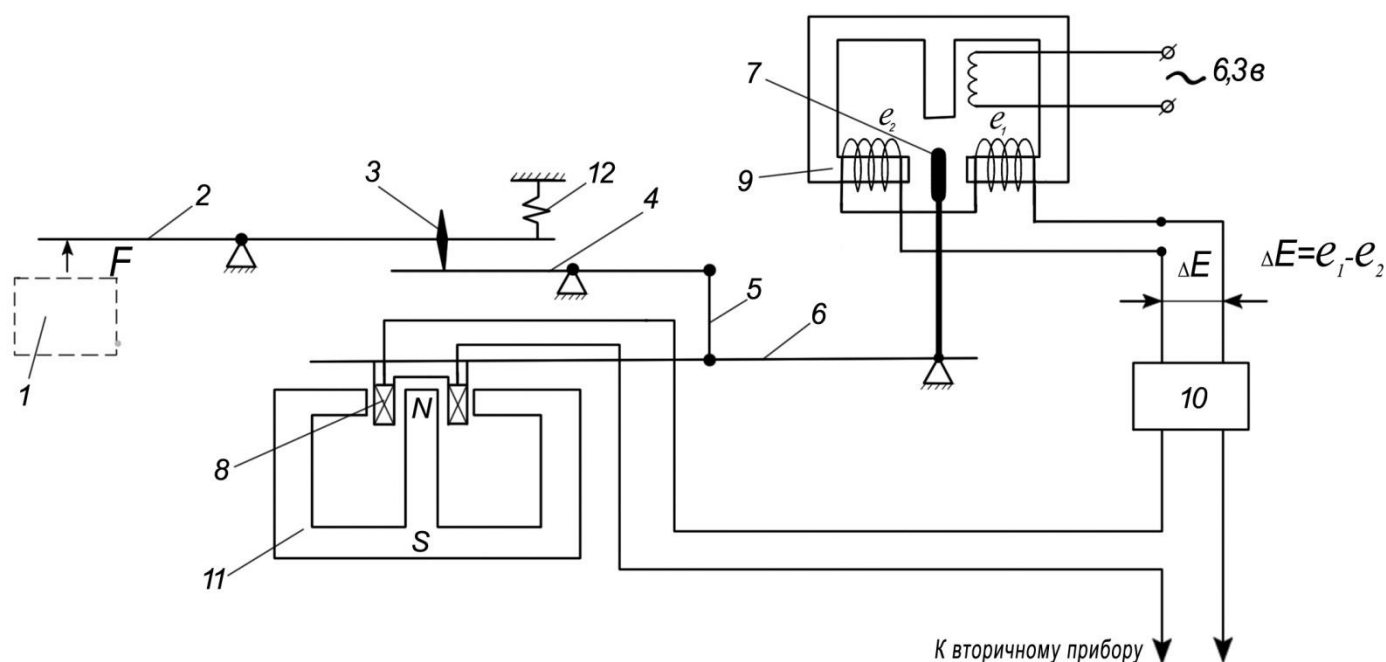


Рис.51.

При отклонении сердечника 7 от равновесного положения в цепи, составленной из двух включенных навстречу вторичных обмоток ярма 9, возникает сигнал переменного тока промышленной частоты. Этот сигнал поступает на вход электронного усилителя ЭУ. Усиленный и выпрямленный сигнал поступает в линию дистанционной передачи и одновременно в последовательно соединенную с ней катушку 8 магнитоэлектрического силового механизма. Взаимодействие магнитного поля, создаваемого током в катушке 8, с полем постоянного магнита 11 создает усилие на рычаге 6, которое уравнивает измеряемое (входного) усилие.

Нулевая точка прибора настраивается пружиной 12. Настройка на заданный диапазон осуществляется перемещением ролика 3 и подвижной ленточной тягой 5.

Выходной сигнал изменяется в пределах 0-5ма и 0-20 ма и может передавать сигнал на расстояние до 10 км.

Преобразователи, выполненные по схемы компенсации перемещений

К числу таких приборов относятся дифференциально-трансформаторные, ферродинамические (сельсинные) преобразователи.

В дифференциально-трансформаторных преобразователях, перемещение сердечника первичного прибора уравнивается известным перемещением сердечника вторичного прибора. Эти преобразователи используются при измерении давления, расхода и уровня веществ (Р, G Н и др. значений), которые могут быть преобразованы в перемещение сердечника катушки преобразователя.

Первичные обмотки выключены последовательно и питаются напряжением переменного тока от обмотки силового трансформатора электронного усилителя ЭУ. Вторичные обмотки включены навстречу одна другой с выходом на ЭУ. Внутри катушек находятся сердечники (магнитопроводы).

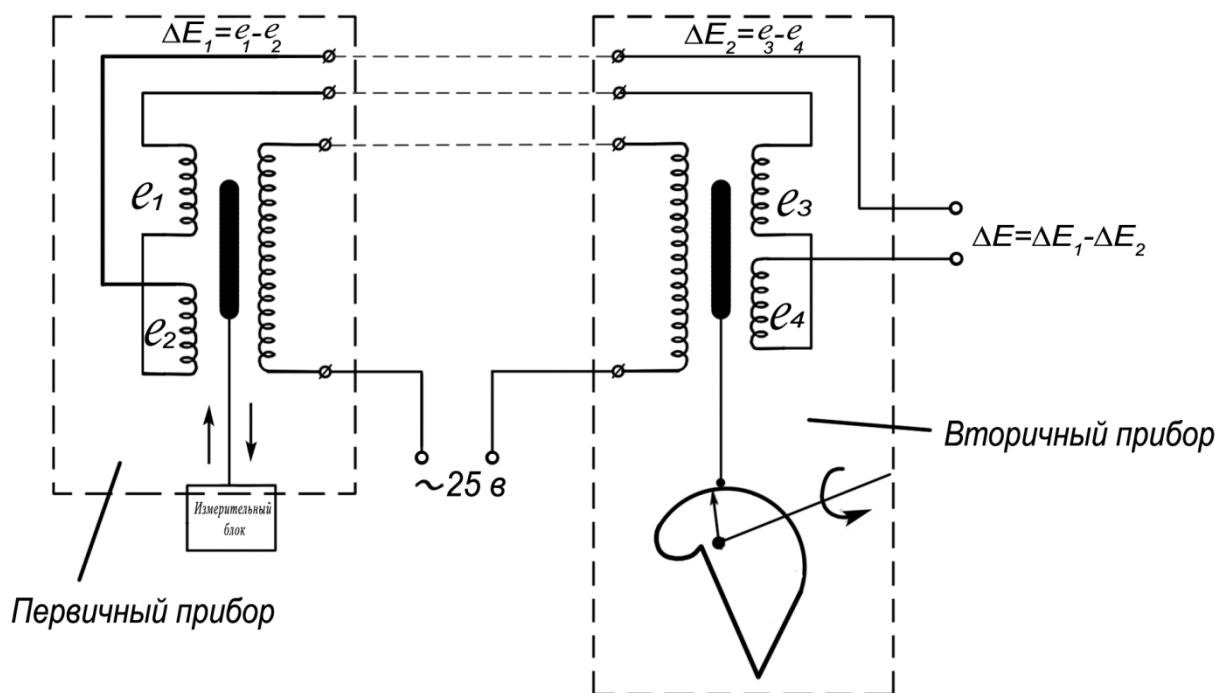


Рис.52.

Если сердечники обеих катушек находятся в среднем положении то, $\Delta E_1 = e_1 - e_2 = 0$; $\Delta E_2 = e_3 - e_4 = 0$; и $\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 = 0$.

При изменении измеряемого параметра, сердечник первичного прибора перемещается, в катушках возникает напряжение разбаланса и ΔE_1 не станет равным нулю, величина которого зависит от величины перемещения сердечника. С появлением ΔE_1 , появляется разностной сигнал $\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2$, не равный нулю. Это напряжение усиливается в ЭУ до величины необходимой для вращения ротора РД. Ротор РД кинематически связан со стрелкой прибора и профилированным диском. При вращении профилированного диска, сердечник в катушке вторичного прибора перемещается, и это продолжается до тех пор, пока не уравновесятся ЭДС наводимые в катушках первичного и вторичного прибора. Т.е. $\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 = 0$. При этом ротор РД остановиться и наступить равновесие в системе.

Преобразователи электрической дискретно цифровой ветви (частотные)

Наибольшее распространение получили струнные преобразователи, которые представляют собой электрически изолированную металлическую струну 1, расположенную между магнитными наконечниками 2 постоянного магнита. Один конец струны жестко закреплен, а второй конец связан с подвижным рычагом 3.

Измеряемый параметр, преобразованный в пропорциональное усилие F воспринимается рычагом 3 и связанной с ней струной 1. Если по струне пропустить ток, то вследствие взаимодействия тока с магнитным полем постоянного магнита, возникают поперечные колебания струны, частота которых зависит от натяжения струны под действием усилия F .

Собственная частота поперечных колебаний струны преобразуется усилительным устройством 4 в частоту переменного тока, который является выходным сигналом преобразователя.

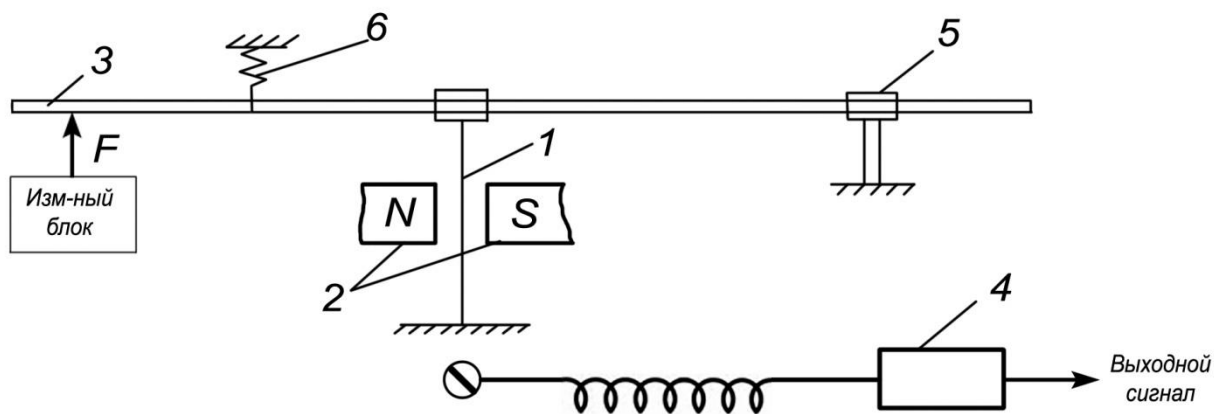


Рис.53.

Собственная частота колебаний струны f_0 в зависимости от усилия F можно записать,

$$f_0 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho * S}}$$

l – длина;

S – поперечное сечение струны;

ρ – плотность материала струны.

Струны выполняются из вольфрамовой проволоки $d=0.05$ мм и длиной 20мм. Настройка преобразователя производится изменением длины рычага 3. Начальное значение выходного сигнала 1500гц, устанавливается при помощи пружины 6. Дальность передачи сигнала 10км.

Преобразователи пневматической ветви

В пневматических преобразователях основным элементом является преобразователь типа сопло-заслонка.

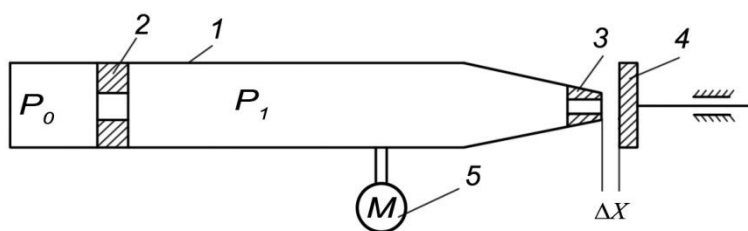


Рис.54.

1 - трубка;

2 - дроссель постоянного сечения;

3,4 - сопло, заслонка;

5 - манометр;

Если изменить зазор Δx между соплом 3 и заслонкой 4, то давление P_1 в междроссельном пространстве изменится. Зависимость Δx от P_1 приведен на рис. 54.

Притом, при изменении Δx на 0,08мм, давления на выходе (P_1) изменится от 0,01 – 0,11 КПа (0,1-1,1 кгс/см²).

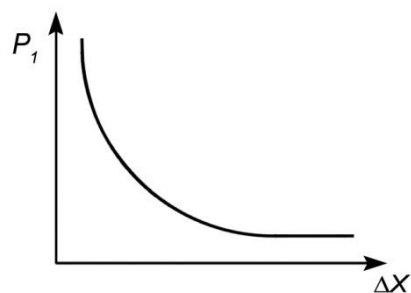


Рис.55.

Пневматические преобразователи, выполненные по схеме силовой компенсации

Измеряемый параметр, преобразованный в пропорциональное усилию F , перемещает рычаг 1, при этом происходит перемещение заслонки 2 относительно сопла 3. Изменится расстояние Δx .

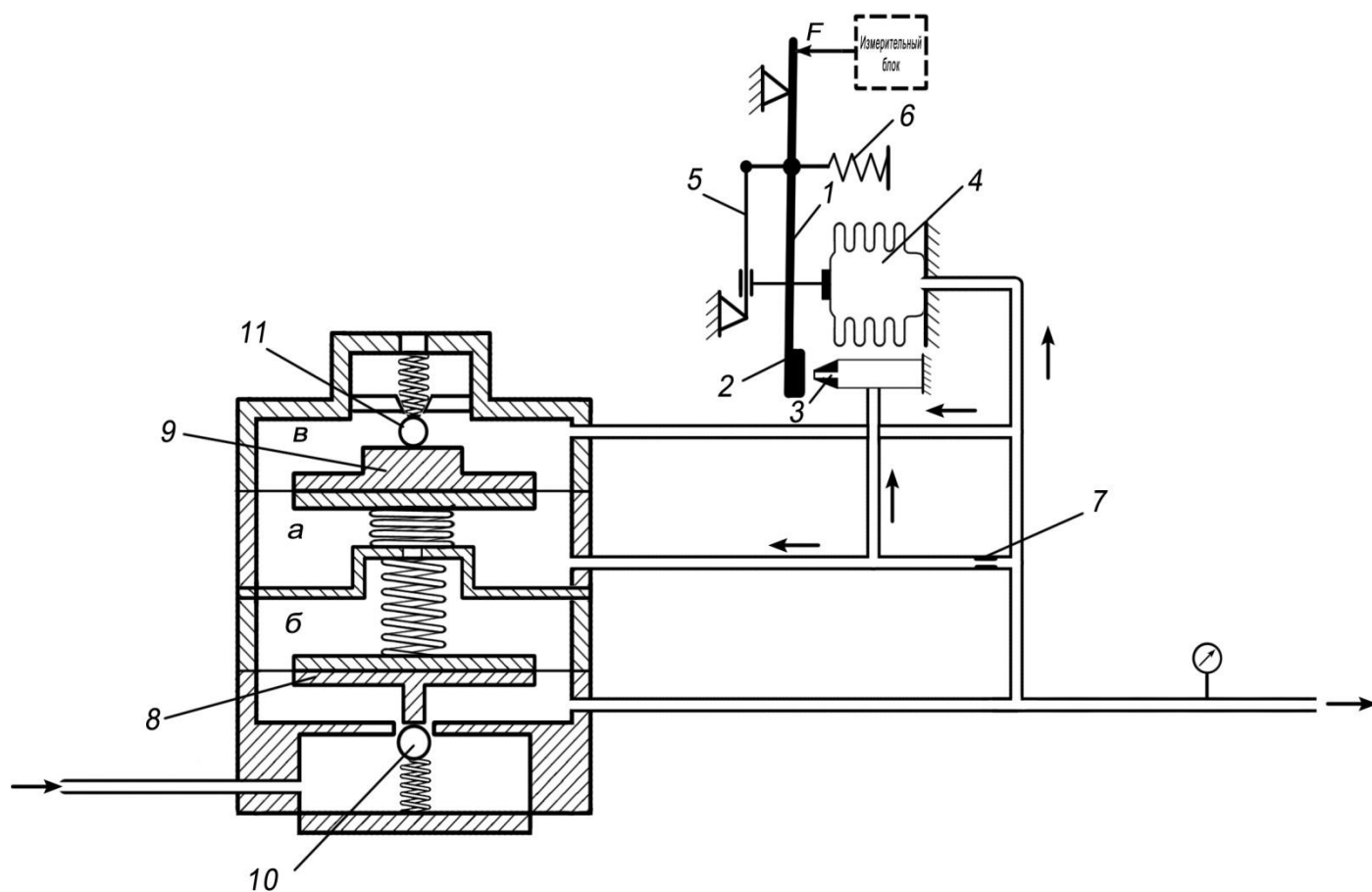


Рис.56.

- 1, 5 - рычаги;
- 2, 3 - заслонка, сопло;
- 4 - сильфон;
- 6 - пружина;
- 7 - постоянный дроссель;
- 8, 9 - мембраны;
- 10 - впускной клапан;
- 11 - выпускной клапан;

Изменение зазора между соплом и заслонкой вызывает изменение давления на линии сопла (в камере «а»), прогиб мембраны 8 и 9 и положения клапанов 10 и 11, что вызывает изменения давлений в камерах «б» и «в». Давление в камерах «б» и «в» изменяется до тех пор, пока заслонка 2, под действием сильфона обратной связи 4, не займет такое положение относительно сопла, когда усилие на сильфоне обратной связи не станет равным усилию F измерительного блока. Настройка преобразователя, на заданный диапазон измерения, производится перемещением сильфона вдоль рычага 5. Точная установка начального значения выходного сигнала осуществляется при помощи пружины 6. Предельное расстояние передачи пневматического сигнала 300 м.

Электропневматические и пневмоэлектрические преобразователи

При создании комбинированных электропневматических систем автоматического контроля, регулирования и управления применяют электропневматические преобразователи для преобразования электрических сигналов постоянного тока в пневматический выходной сигнал и пневмоэлектрические преобразователи для преобразования пневматических сигналов в электрический выходной сигнал.

Электропневматические преобразователи

Рассмотрим в качестве примера устройство малогабаритного электропневматического преобразователя типа ЭПП-М. Этот преобразователь предназначен для пропорционального преобразования непрерывного электрического сигнала постоянного тока $0—5$ мА в унифицированный пневматический сигнал $0,2—1$ кгс/см² ($0,02—0,1$ МПа).

Принципиальная схема электропневматического преобразователя типа ЭПП-М изображена на рис. 8-12-1. Входным устройством служит магнитоэлектрический силовой механизм, состоящий из магнитопровода 2, постоянного магнита 1 и рамки 3, укрепленной на рычаге 4 с точкой опоры 5. Индикатор рассогласования состоит из сопла 6 и шарика 7, контакт которого с соплом осуществляется по острой кромке. Устройство обратной связи 8 представляет собой силовой элемент типа сопло-шарик. Сопло имеет развитую цилиндрическую часть, и поэтому шарик работает как поршень. Пневматический усилитель 9 выполнен по схеме, показанной на рис. 8-10-2.

Перемещение силового элемента обратной связи вдоль рычага обеспечивает

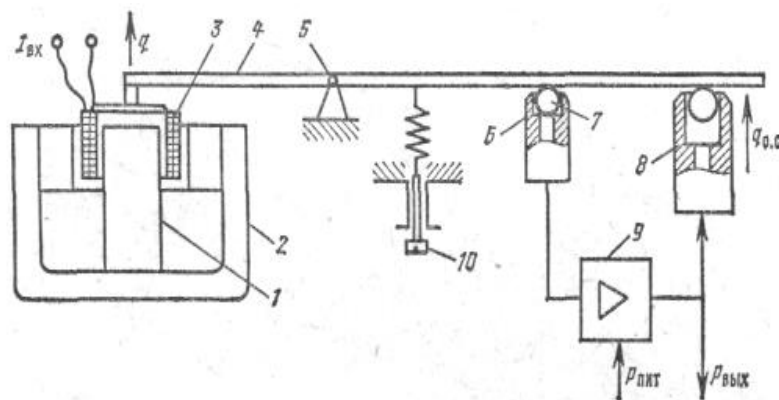


Рис. 8-12-1. Принципиальная схема устройства электропневматического преобразователя типа ЭПП-М.

перестройку диапазона преобразователя на $\pm 50\%$. Начало диапазона преобразования

при нулевом входном сигнале /их устанавливается с помощью пружины-корректора нуля 10. Класс точности преобразователя ЭПП-М 0_6.

Пневмоэлектрические преобразователи

Пневмоэлектрические преобразователи для непрерывных входных и выходных сигналов могут быть выполнены как преобразователи прямого действия и как преобразователи компенсационного типа, использующие дополнительный источник энергии. Преобразователи прямого действия обладают меньшей точностью по сравнению с преобразователями компенсационного типа, однако стоимость преобразователей компенсационного типа выше, чем прямого действия.

На рис. 8-12-2 приведена схема устройства пневмоэлектрического преобразователя прямого действия типа ППЭ-6.

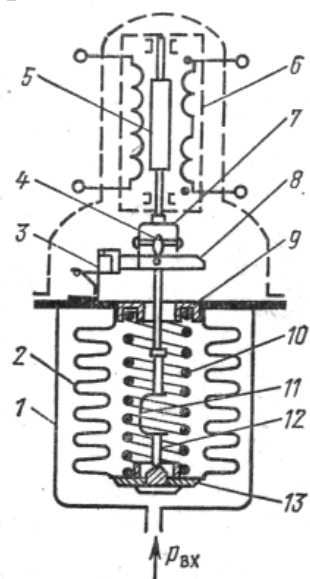


Рис. 8-12-2. Схема устройства пневмоэлектрического преобразователя прямого действия типа ППЭ-6.

Он предназначен для пропорционального преобразования непрерывного пневматического сигнала 0,2—1 кгс/см² (0,02—0,1 МПа) в электрический сигнал.

Преобразователь состоит из двух основных элементов: измерительного блока 1, воспринимающего входной пневматический сигнал $p_{вх}$, и дифференциально-трансформаторного передающего преобразователя 6 (§ 8-4), преобразующего входное давление $p_{вх}$ в электрический выходной сигнал. В измерительном блоке в качестве упругого чувствительного элемента используется сильфон 2, снабженный винтовой пружиной 10. Пружина нижним концом закреплена во втулке 13, а верхним— во втулке 9, которая одновременно служит для центрирования и регулирования пружины.

С дном сильфона связан шток 12, верхний конец которого соединен с рычагом 8. Осью рычага является упругий шарнир 3. При повороте рычага перемещается ролик 4, который закреплен на скобе 7, соединенной со штоком сердечника 5 дифференциально-трансформаторного преобразователя. Для уменьшения температурной погрешности шток сильфона снабжен биметаллическим компенсатором 11. Для удобства наладки преобразователя предусмотрена возможность регулировки длины штоком сильфона и сердечника.

Пневматический сигнал измерительной информации $p_{вх}$ первичного прибора подводится к "пневмоэлектрическому преобразователю через штуцер в герметически закрытый кожух измерительный блок 1. Под действием давления сильфон сжимается, что вызывает пропорциональное перемещение штоков, а следовательно, и сердечника дифференциально-трансформаторного преобразователя.

Основная погрешность преобразователя ППЭ-6, выраженная в процентах от максимального хода сердечника, не превышает $\pm 1\%$. Максимальное значение хода сердечника составляет 5 мм.

Нормирующие измерительные преобразователи

Нормирующие измерительные преобразователи предназначены для преобразования выходного сигнала первичных преобразователей

(стандартных термоэлектрических термометров и термометров сопротивления) и выходного сигнала переменного тока измерительных устройств (диффманометров, манометров и других приборов) в унифицированный сигнал постоянного тока. Нормирующие преобразователи, применяемые для преобразования выходного сигнала первичных преобразователей, называют также промежуточными.

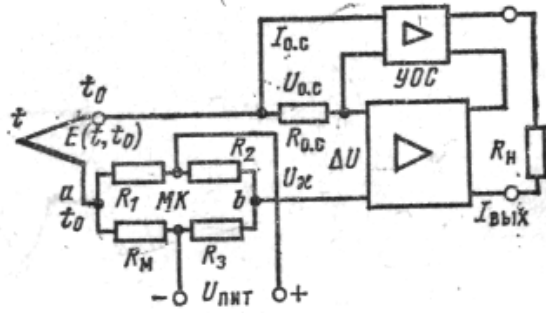


Рис. 8-13-1. Упрощенная схема нормирующего преобразователя типа ПТ-ТП-68.

Преобразователи для работы в комплекте с термоэлектрическими термометрами.

Рассмотрим нормирующий преобразователь ПТ-ТП-68, разработанный ВТИ совместно с московским опытным заводом «Энергоприбор».

На рис. 8-13-1 показана упрощенная схема нормирующего преобразователя типа ПТ-ТП-68 для линейного Преобразования термо-э. д. с. термометра $E(t, t_0)$ в сигнал постоянного тока $0—5$ мА при сопротивлении внешней нагрузки $R_H = 2,5$ кОм. Преобразователь состоит из корректирующего моста МК, усилителя с токовым выходом $I_{\text{вых}}$, устройства обратной связи, состоящего из усилителя обратной связи УОС и резистора $R_{0.c}$. Резисторы корректирующего моста МК R_1, R_2 и R_3 выполнены из манганина, а резистор R_m , который обычно располагают в непосредственной близости от свободных концов термоэлектродных проводов, — из меди.

Преобразователь типа ПТ-ТП-68 выполнен по статической автокомпенсационной схеме. Входной сигнал термоэлектрического термометра, скорректированный напряжением U_{ab} , снимаемым с вершин моста ab [$U_x = E(t, t_0) + U_{ab}$] сравнивается с напряжением обратной связи $U_{0.c}$. Нескомпенсированный сигнал $\Delta U = U_x - U_{0.c}$ усиливается усилителем с токовым выходом. Выходной ток $I_{\text{вых}}$ поступает во внешнюю цепь R_H и через делитель (на рис. 8-13-1 делитель не показан) подается в усилитель УОС устройства обратной связи. Токи на выходе и входе усилителя устройства обратной связи строго пропорциональны между собой. Выходной ток усилителя обратной связи $I_{0.c}$ создает на резисторе $R_{0.c}$ сигнал обратной связи

$$U_{0.c} = I_{0.c} R_{0.c} = k_{0.c} R_{0.c} I_{\text{вых}},$$

где $R_{0.c}$ —
УОС.

коэффициент передачи

Для усилителя с обратной связью

откуда

$$\Delta I_{\text{вых}} = k_y (\Delta U_x - k_{0.c} R_{0.c} \Delta I_{\text{вых}}),$$

$$\Delta I_{\text{вых}} = \frac{k_y}{1 + k_y k_{0.c} R_{0.c}} \Delta U_x = k \Delta U_x,$$

где k — коэффициент передачи преобразователя.

При большом коэффициенте передачи усилителя ($R_y \rightarrow \infty$) коэффициент передачи преобразователя равен $R = 1/R_{o.c} R_{o.c}$, а его стабильность определяется стабильностью $R_{o.c}$ и $R_{o.c}$.

Преобразователи для работы в комплекте с термометрами сопротивления. Упрощенная схема нормирующего преобразователя для линейного преобразования сопротивления термометра R_T в унифицированный сигнал постоянного тока 0—5 мА

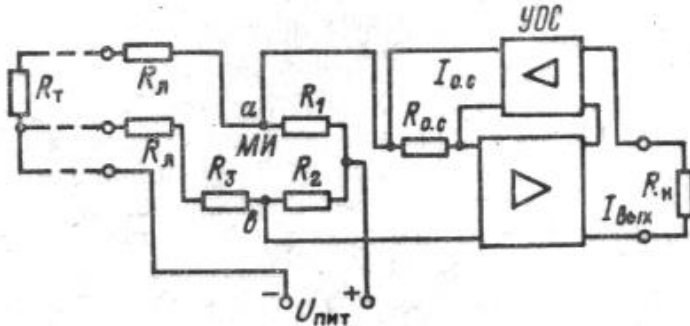


Рис. 8-13-3. Упрощенная схема нормирующего преобразователя типа ПТ-ТС-68.

представлена на рис. 8-13-3. Преобразователь, выполненный по статической автоком-пенсационной схеме, состоит из измерительного моста МИ, усилителя с токовым выходом $I_{вых}$, устройства отрицательной обратной связи, включающего усилитель УОС и резистор $R_{o.c}$. Измерительный мост, работающий в неравновесном режиме, предназначен для преобразования изменения сопротивления термометра

R_T в напряжение постоянного тока U_m , снимаемое с вершин ab . Питание схемы моста осуществляется от стабилизированного источника. Балластные резисторы плеч моста R_1 R_2 и R_3 выполнены из манганина. Термометр сопротивления R_T присоединен к измерительному мосту по трехпроводной схеме.

ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И РАСХОДА ВЕЩЕСТВ

Количества вещества выражают в единицах объема или массы ($[м^3]$ и $[кг]$). Приборы, измеряющие количества вещества называются счетчиками.

Расходом вещества называются отношения количества вещества протекающего за некоторый промежуток времени к этому промежутку времени.

Различают объемный и массовый расход. Единица измерения расхода: $м^3/сек$ и $кг/сек$.

Скоростные счетчики количества жидкостной

Принцип действие основан на измерении количестве жидкости по числу оборотов крыльчатки или вертушки, угловая скорость которых пропорционально скорости жидкости, протекающей через прибор.

Число оборотов крыльчатки или вертушки через редукторный механизм передается к счетному измерительному устройству, градуируемому обычно, в $м^3$ измеряемой жидкости.

Применяется для измерений количества маловязких жидкостей (воды). Скоростные счетчики подразделяются на две группы:

1. С вертикальными крыльчатками, в которых поток жидкости направлен тангенциально к среднему радиусу лапок.
2. С винтовыми вертушками с аксиально-направленным (параллельно оси вертушки) потокам жидкости.

Счетчики первой группы применяются для измерения малых расходов, а вторые, для больших расходов.

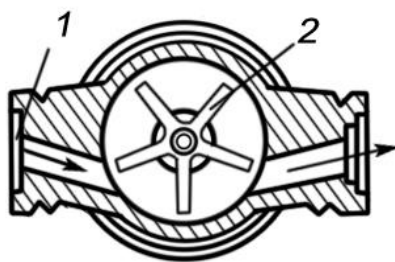


Рис.57.

1- крыльчатка; 2 - предохранительная сетка

Основным показателем, характеризующий счетчик является номинальный расход, соответствующий допускаемой, длительной, непрерывной работе счетчика. Этот расход колеблется в пределах от 1 до 9,5 м³/час, при D_y от 15 до 50 мм.

Выпускается водомеры крыльчатые, одноструйные сухоходы типа ВКОС и мокрохода типа ВКОМ и также многоструйные сухоходы типа ВКМС и мокроходы типа ВКММ. У сухоходов счетное устройство с циферблатом находится вне измеряемой жидкости, и отделен герметичной перегородкой, а у мокроходов они находятся в измеряемой жидкости (и закрыты стеклом). Допускаемая погрешность - 2%.

При изготовлении деталей счетчиков широко применяют эбонит или пластические массы.

Передающий механизм состоит из очень многих пар шестерен, создающих большое передаточное число. Крыльчатки работают в очень тяжёлых условиях. Поэтому гарантийный срок их работы 18 месяцев.

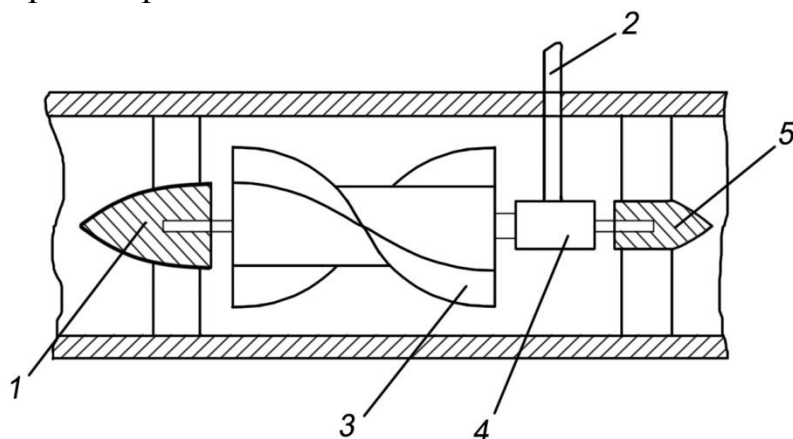


Рис.58.

Счетчики с винтовой вертушкой - турбиной используются для $D_y \geq 50$ мм и для больших расходов. Погрешность до - 5% от действительного значения. Вертушки выполняются чаще всего в форме четырех-шести заходных винтов. До и после вертушки расположены обтекатели 1 и 5. Обтекатели крепятся ребрами, играющими роль струевыпрямителей. Для передачи вращения вертушки передаточному механизму и счетному устройству применяется червячная пара 4 и 2.

Выполняются как сухоходы и применяются при условиях: температура среды до 80 °С и давлении до 10 кгс/см². Прямолинейный участок должен быть не меньше 8-10 диаметра трубопровода.

Объемные счетчики количества жидкостей

Принцип действия объемных счетчиков основан на измерении определенного объема жидкости, вытесняемой из измерительной камеры под действием разности давлений и суммировании результатов этих измерений. Применяются для измерения количества среды, без механических примесей. При измерении особо вязких продуктов, обычно эти приборы имеют паровые рубашки.

Применяются счетчики с овальными зубчатыми колесами. При этом жидкость, проходя через счетчик, теряет часть своей энергии на вращение овальных колес. В зависимости от расположения овальных колес относительно входа потока, каждое из них является поочередно, то ведущим, то ведомым. При вращении овальных колес, периодически отсекается определенный объем жидкости, ограниченный овалом колеса и стенкой. За один оборот колеса отсекаются 4 таких объема жидкости.

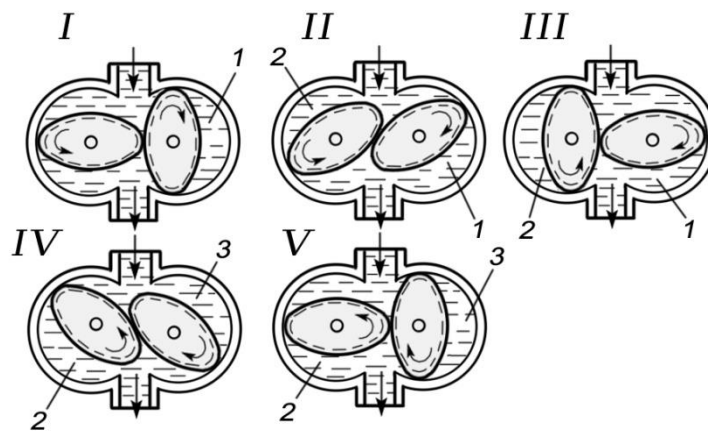


Рис.59.

Количество жидкости, прошедшее через счетчик, определяется по количеству оборотов овальных колес. В **I** положении жидкость вращает правое колесо по часовой стрелке, а оно вращает левое колесо против часовой стрелки. В этом положении правое колесо отсекает определенный объем (G_1) жидкости. В положении **II**, левое колесо заканчивает отсекание нового объема жидкости G_2 , а правое выталкивает ранее отсеченный объем жидкости G_1 в выходной патрубок счетчика. В этом положении крутящий момент передается на оба колеса. В положении **III** ведущим будет уже левое колесо, которое к этому времени отсекло объем G_2 . Оно вращает правое колесо по часовой стрелке. Дальнейшее вращение шестерен протекает аналогично с соответствующими объемами жидкости G_2 и G_3 . Выпускается для различных диаметров трубопровода и $P_{\text{рабоч}}=16 \text{ кгс/см}^2$. Погрешность измерений -0,5%.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

В производстве чаще всего применяют следующие расходомеры;

- 1). Расходомеры переменного перепада давления;
- 2). Расходомеры переменного уровня;
- 3). Расходомеры постоянного перепада давления;
- 4). Расходомеры скоростного напора;

5). Электромагнитные (индукционные) расходомеры.

Расходомеры переменного перепада давления

Измерение расхода этим методом, основано на зависимости перепада давления от расхода вещества, образующегося в сужающем устройстве в результате частичного перехода потенциальной энергии потока в кинетическую.

В измерительной технике в качестве сужающих устройств используются нормальные диафрагмы и сопла.

Диафрагма представляет собой тонкий диск А, установленный в трубопроводе, так что, его отверстие диаметром d было концентрично внутренним стенкам трубопровода.

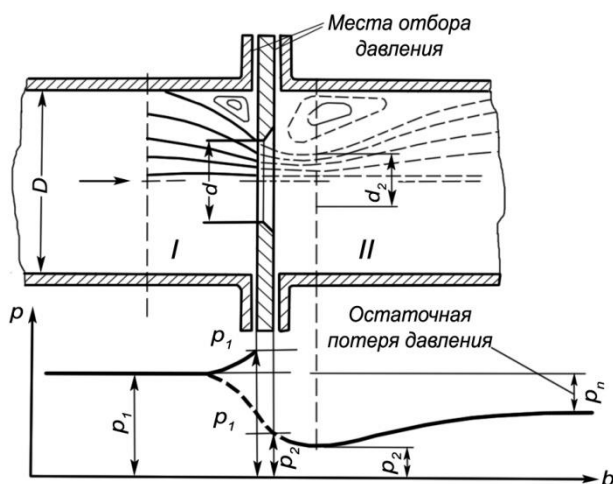


Рис.60

Сужение потока начинаются до диафрагмы, затем на некотором расстоянии за ней, благодаря действию сил инерции поток сужается до минимального сечения, а далее постепенно расширяется, до полного сечения трубопровода. Давление струи около стенки трубопровода несколько возрастает из-за подпора перед диафрагмой и понижается до минимума за диафрагмой в наиболее узком сечении струи. Далее по мере расширения струи давления потока около стенки снова повышается, но не достигает прежнего значения. Потеря части давления P_{II} объясняется потерей энергии на трение и завихрения. Изменение на оси трубопровода совпадает с давлением около стенки, за исключением в зоне диафрагмы (пунктирная линия). Разность давлений $P_1 - P_2$ является перепадом, зависящем от расхода среды протекающего через трубопровод.

Уравнение расхода для несжимаемых жидкостей в объемных и массовых единицах будут соответственно иметь вид:

$$G_{об} = \alpha S_0 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{мас} = \alpha S_0 \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \text{ кг/с};$$

Где; α - коэффициент расхода (зависит от поперечного сечения S_0 , S_1 и скоростей v , v_1);
 S - площадь поперечного сечения отверстия диафрагмы;
 ρ - плотность жидкости;

Коэффициент расхода

$$m=d^2/D^2;$$

а для газов и паров;

$$G_{об} = \alpha \varepsilon S_0 \sqrt{\frac{2(P_1^1 - P_2^1)}{\rho}} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{мас} = \alpha \varepsilon S_0 \sqrt{2\rho(P_1^1 - P_2^1)} \text{ кг/с};$$

ε - поправочный множитель на расширение измеряемой среда (коэффициент расширения);

ρ - плотность среды перед диафрагмой.

Характер потока и распределение давления, одинаковы во всех типах сужающих устройств. В соплах потери возникают только за соплом, поэтому остаточная потеря давления P_{II} меньше чем в диафрагме. Еще меньше патеря давления P_{II} в сопле Вентури, профиль которого близок к сечению потока, проходящего через сужение.

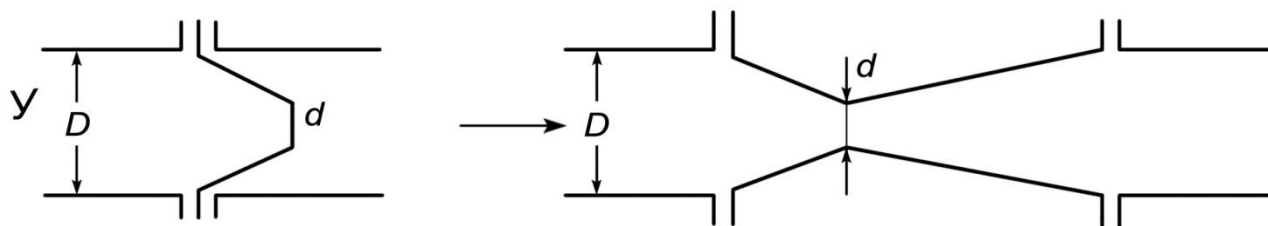


Рис.61.

Теория и основные уравнения метода переменное перепада одинаковы для всех видов сужающих устройств. Различны лишь некоторые коэффициенты в этих уравнениях. Эти сужающие устройства устанавливается в трубопроводах с диаметром $D > 50\text{мм}$.

Для измерения расхода по этому методу применяются дифманометры, которые связаны сужающим устройством двумя соединительными трубками диаметром 8; 10; 12мм. В зависимости от рода измеряемой среды, ее свойств и характеристик в измерительный комплект вводятся дополнительные устройства. Например, при измерении расхода пара используется конденсационные сосуды, а при измерении агрессивных сред, разделительные сосуды. И кроме того в зависимости от того, где устанавливается дифманометр - выше или ниже трубопровода устанавливаются газосборники (когда дифманометр установлен выше) и отстойники (в обоих случаях).

Расходомеры переменного уровня

Принцип действие этих расходомеров основана на измерении высоты уровня жидкости в сосуде при свободном истечении ее через отверстие в баковой стенке сосуда. Применяются для измерения расхода особо активных веществ (агрессивных), пульсирующих потоков и жидкостей смещенных с газом, притом при атмосферном

давлении. Этот расходомер представляет собой прямоугольный корпус 2 с двумя штуцерами для подвода и отвода измеряемой жидкости. Внутри он разделен перегородкой с щелью. Уровень переливающей жидкости измеряется обычно пьезометрическим методом. В сосуд перед сливной щелью погружена в защитном чехле пьезометрическая трубка 1, через которую непрерывно продувается воздух.

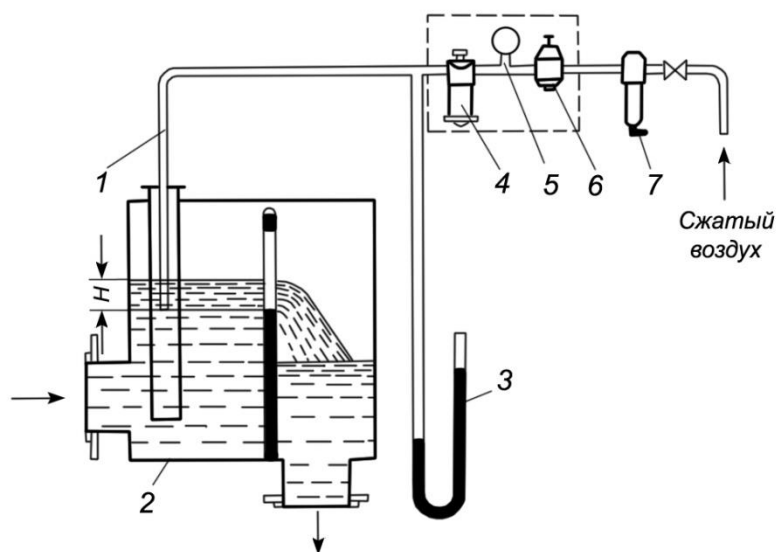


Рис.62.

Количество подаваемого в пьезометрическую трубку воздуха контролируется контрольным стаканчиком 4, а давление поддерживается посредством редуктора 6 и очищается фильтром 7.

Уровень переливающей жидкости изменяется с изменением расхода жидкости ($Q=kh$, где, k – коэффициент пропорциональности; H – уровень переливающей жидкости). Давление в пьезометрической трубке однозначно связано с плотностью и высотой столба жидкости перед щелью, а следовательно и с массовым расходом. Величина гидростатического давления измеряется с помощью пьезометрической трубки и дифманометра 3.

Расходомеры постоянного перепада давления

Работа этих приборов основано на зависимости от расхода вещества вертикального перемещения тела (поплавка), изменяющего при этом площадь проходного отверстия прибора таким образом, что разность давлений на поплавке, остается постоянной. Шкала у этих приборов (ротаметров) практически равномерная, ими можно измерить небольшие расходы, потери давления незначительны и не зависят от расхода.

Проходящий через ротаметр поток жидкости или газа (снизу вверх) поднимает поплавок до тех пор, пока расширяющаяся кольцевая щель между телом поплавка и стенками конусной трубки не достигнет величины, при которой действующие на поплавок силы уравниваются и он устанавливается на той или иной высоте в зависимости от величины расхода.

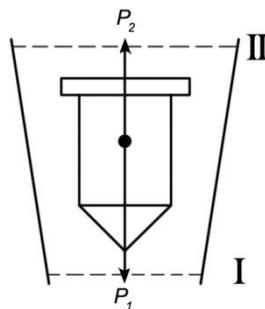


Рис.63.

На поплавков ротаметра действует осевые силы, направленные в противоположные стороны. Сверху вниз действует:

1. Сила тяжести $V_{\text{п}} \rho_{\text{п}} g$.

Где, $V_{\text{п}}$ - объем поплавка;

$\rho_{\text{п}}$ - плотность материала поплавка;

g - Ускорение силы тяжести.

2. Сила от давления потока на верхнюю плоскость поплавка $P^1_2 S$.

Где, P^1_2 – среднее давление потока на единицу верхней поверхности поплавка;

S - площадь поплавка.

Снизу вверх на поплавков действует также две силы:

1) Сила от давления потока на нижнюю поверхность поплавка $P^1_1 S$;

2) Сила трения потока о поплавок $k V_{\text{к}}^n S_{\text{б}}$;

где; k -коэффициент сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса Re и степени шероховатости поверхности;

$V_{\text{к}}$ - средняя скорость потока в кольцевом канале, охватывающим боковую поверхность поплавка;

$S_{\text{б}}$ - боковая поверхность поплавка;

n - показатель степени, зависящий от величины скорости потока.

Поплавков уравновешен в том случае когда,

$$V_{\text{п}} \rho_{\text{п}} g + P^1_2 S = k V_{\text{к}}^n S_{\text{б}} + P^1_1 S \quad \text{или,}$$

$$P^1_1 - P^1_2 = \frac{V_{\text{п}} \rho_{\text{п}} g - k V_{\text{к}}^n S_{\text{б}}}{S}$$

Если допустить что, $V_{\text{к}}$ при всех расходах постоянна (с изменением расхода изменяется площадь кольцевого канала), то правая часть уравнения постоянна, следовательно $P^1_1 - P^1_2 = \text{const}$

Уравнение расхода

$$G = \alpha S_{\text{к}} \sqrt{\frac{2g V_{\text{п}} (\rho_{\text{п}} - \rho)}{\rho S}} \quad \text{м}^3/\text{с};$$

$$G = \alpha S_{\text{к}} \sqrt{\frac{2g V_{\text{п}} (\rho_{\text{п}} - \rho) \rho}{S}} \quad \text{кг/с};$$

Т.к величины под корнем постоянны, то

$$G = \alpha S_{\text{к}} k$$

Коэффициент расхода α , для ротаметров зависит от большого числа величин. Поэтому каждый ротаметр подвергается экспериментальной градуировки.

Выпускаются стеклянные ротаметры, шкала в которых наносится непосредственно на самой трубке (РС-3; РС-5 и РС-7). Они рассчитаны для работы до 6 кгс/см² и при сравнительно низких температурах.

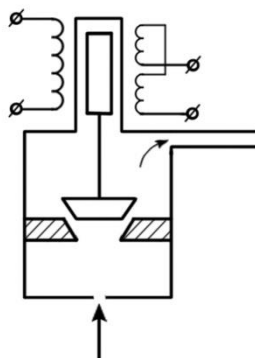


Рис. 64.

Для производственных измерений используется металлические ротаметры с электрической или пневматической дистанционной передачей. Эти ротаметры рассчитаны на 64 кгс/см².

Электромагнитные (индукционные) расходомеры

Принцип действие электромагнитных расходомеров основан на измерении ЭДС индуктируемой в потоке электропроводящей жидкости под действием внешнего магнитного поля.

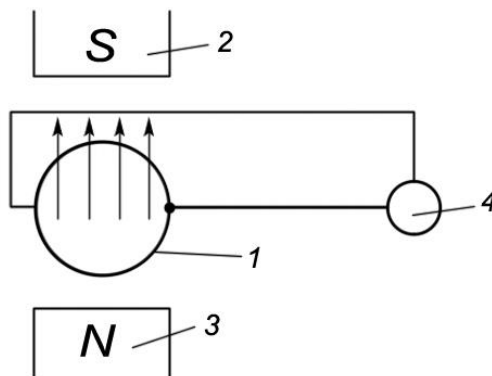


Рис.65.

Трубопровод 1 с перемещающейся в нем жидкостью располагается между полюсами 2 и 3 постоянного магнита. Трубопровод изготавливается из немагнитного материала. В стенке трубопровода диаметрально противоположно заделаны измерительные электроды. Под действием магнитного поля ионы, находящиеся в жидкости, перемещаются и отдают свои заряды измерительным электродам, создавая в них ЭДС (E) пропорциональную скорости течения жидкости. К электродам подключается измерительный прибор 4.

Величина ЭДС равно,

$$E = B V d$$

где B - магнитная индукция;

d - диаметр трубопровода;

V - средняя скорость потока или выражая скорость через объемный расход можно получить,

$$E = \frac{4B}{\pi dG};$$

т.е., $E=f(c)$

Недостатки; возникновение ЭДС поляризации, гальванической ЭДС и трудности усиления малых ЭДС постоянного тока.

Расходомеры скоростного напора

Измерение расхода этим методом основано на зависимости динамического напора от скорости потока измеряемой среды.

Согласно уравнению Бернулли разность между полным и статическим напорам

$$P_n - P_c = V^2 \rho / 2$$

Откуда,

$$V = \sqrt{\frac{2P_v}{\rho}}$$

Где, P_n ; P_c ; P_v - соответственно полное, статическое и динамическое давления;

V – площадь;

ρ – плотность.

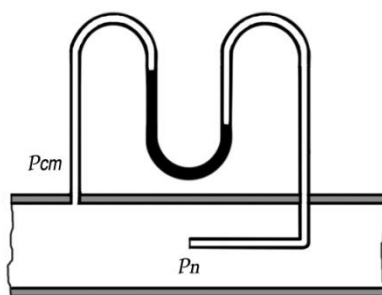


Рис.66.

Динамический напор можно измерить скоростными трубками в комплекте с дифманометром.левой трубкой измеряется статическое давление, а правым полное. Дифманометр измеряет динамическое давление т.е, разность между полным и статическим давлением:

$$P_v = P_n - P_c, \text{ или, } P_v = h g (\rho_1 - \rho), \text{ или,}$$

$$V = \sqrt{\frac{2gh(\rho_1 - \rho)}{\rho}}$$

Эти трубки носят название трубки Пито. Применяются в основном при лабораторных измерениях и при экспериментальных работах.

Выпускается также и другие расходомеры: ультразвуковые, основанные на явлении смещения звуковых колебаний движущейся жидкой среды, тепловые и другие.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ

Целью, измерения уровня жидкостей и сыпучих тел является определение количества вещества в емкости и контроль за уровнем в производственном аппарате, при осуществлении технологического процесса. Наиболее распространенными уровнемерами являются указательные стекла, поплавковые, гидростатические, электрические, радиоизотопные и ультразвуковые уровнемеры.

Указательные стекла

Работа указательных стекол для жидкостей основана на принципе сообщающихся сосудов. Они соединяются с объектом нижним концом (для открытых сосудов) и двумя концами (для сосудов, работающих при избыточном давлении). Они дополнительно снабжаются краниками для отключения его от системы и продувки. Применяются указательные стекла до 30 кгс/см² и до 300⁰С.

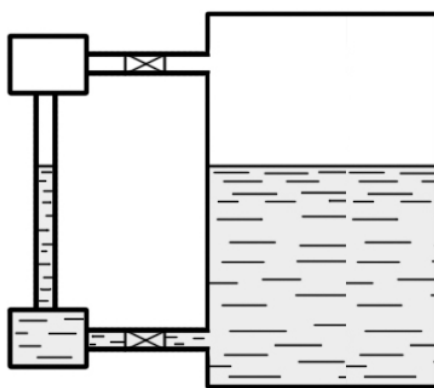


Рис.67.

Поплавковые уровнемеры

В поплавковом уровнемере за уровнем жидкости следит поплавок, перемещение которого передается на показывающее устройство или преобразователь для преобразования перемещения или усилия, в выходной сигнал. Возможны два принципа построения поплавковых уровнемеров. В первом случае противодействующая сила равная, подъемной силе поплавок (по закону Архимеда $F = \rho s x g$, где, ρ - плотность жидкости; s - площадь поперечного сечения поплавок; x - высота погружения; g - ускорение силы тяжести), создаётся силой тяжести поплавок G , т.е. $G = F = \text{const}$;

Собственно уровень погружения поплавок,

$$X = \frac{G}{s g \rho}$$

т.е., поплавок повторяет изменение уровня жидкости.

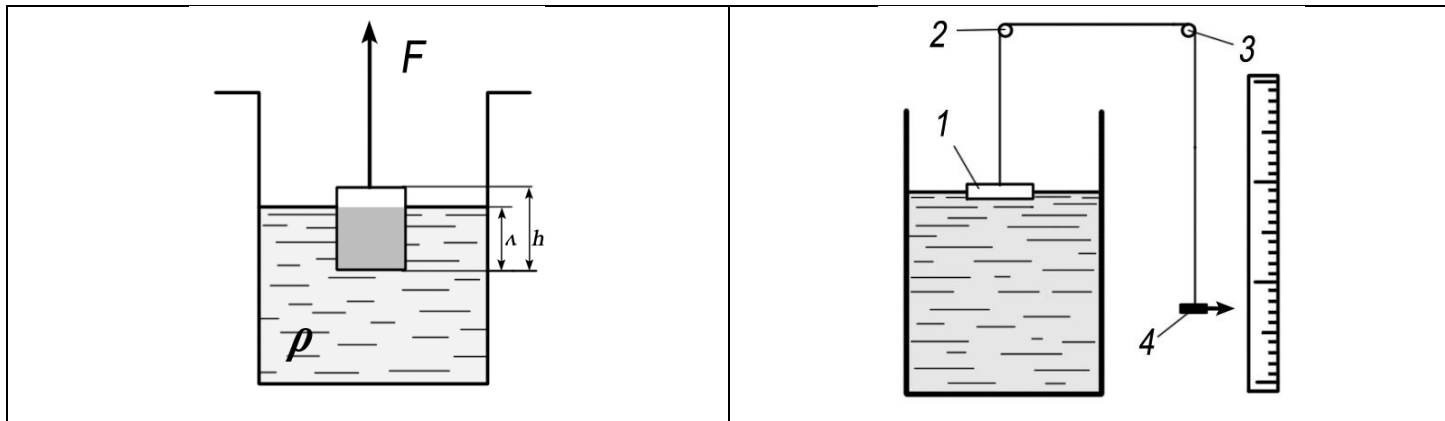


Рис. 68.

Во втором случае противодействующая сила создается пружиной и изменяется при перемещении поплавка.

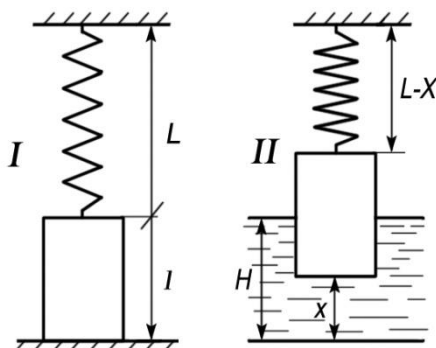


Рис.69.

Простейшая схема уровнемера с поплавком постоянного погружения (плавающим), состоит из поплавка 1, подвешенного на гибком тросе перекинутом через ролики 2 и 3. На другом конце троса подвешен груз 4 со стрелкой, указывающий уровень по шкале 5. Недостатком этого уровнемера является перевернутая шкала. Выпускаются поплавковые уровнемеры этого типа с сельсинным преобразователем. В уровнемерах с цилиндрическим поплавком (буйком) переменного погружения, условия равновесия может быть записан как в первом случае

$$Sl\rho g = LZ$$

Z - Жесткость пружины.

А во втором случае,

$$Sl\rho g - (H - x) \rho_1 g = (L-x) Z$$

Вычитая получим:

$$(H-x) \rho_1 g = LZ - (L-x) Z$$

Откуда

$$x = \frac{H}{1 + \frac{Z}{\rho_1 g}}$$

Из этого уравнения следует, что перемещение поплавка пропорционально изменению уровня жидкости. С увеличением жесткости пружины (Z), относительное перемещение поплавка снижается.

Гидростатические уровнемеры

В этих приборах измерение уровня сводится к измерению давления, создаваемого столбом жидкости т.е.

$$P = \rho gH; \quad (\text{при, } \rho = \text{const})$$

Существует гидростатические уровнемеры: пьезометрические и дифманометрические.

Пьезометрические уровнемеры применяются для измерения уровня агрессивных сред и особо вязких жидкостей.

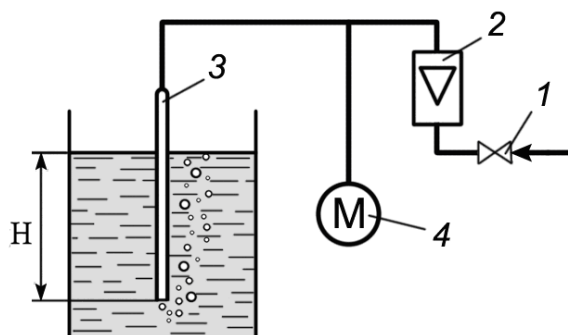


Рис.70.

В измерительный комплект этого уровнемера входят:

- 1 – регулируемый дроссель;
- 2 – ротаметр;
- 3 – пьезометрическая трубка;
- 4 – менометр (вторичный прибор)

С начала подачи воздуха, давление в системе будет повышаться до тех пор, пока не станет равным давлению создаваемым столбом жидкости H , т.е. ρgH . В момент выравнивания давления из трубки 3 начинает выходить воздух, расход которого регулируют так чтобы она побулькивала 60-100 пузырьков в минуту. Расход устанавливается регулирующим дросселем 1. Таким образом, шкала прибора 4, которое измеряет давления в пьезометрической трубке, может быть проградуирована в единицах уровня. Другим видом гидростатических уровнемеров может быть дифмонометр любой системы.

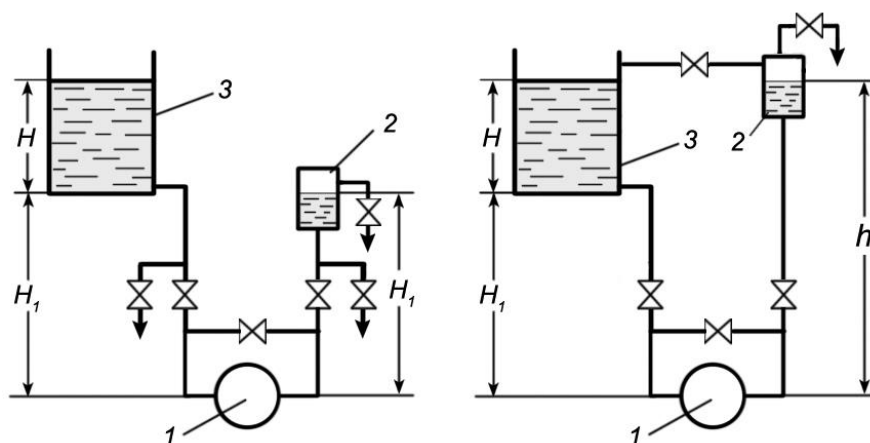


Рис.71.

Высота столба жидкости в колене уравнивающего сосуда постоянно, а в другом колене дифманометра изменяется с изменением уровня в резервуаре, т.е. каждому значению уровня соответствует определенный перепад давления. В первом случае, если аппарат находится под атмосферным давлением, то уравнительный сосуд устанавливается на уровне дна аппарата и тогда измеряемый перепад давления будет:

$$\Delta P = \rho g(H - H_1) + P_{\text{атм}} = P_{\text{атм}} - \rho gH = \rho gH$$

А когда аппарат находится под давлением

$$P_{\text{изб}} + \rho gh - [P_{\text{изб}} + \rho g(H + H_1)] = \Delta P \quad \text{или} \quad \Delta P = f(H)$$

Электрические уровнемеры

Наибольшее распространение получили емкостные уровнемеры основанные на изменении емкости и омические.

В емкостных уровнемерах используется диэлектрические свойства контролируемых сред, а в омических, свойство контролируемой среды проводить электрический ток.

Емкостной уровнемер. Различают цилиндрические (I) и призматические (II) емкостные преобразователи. Емкость датчика будет равно сумме емкости двух участков. Погруженный участок, с диэлектрической проницаемостью $E_{\text{ж}}$ и не погруженный участок с диэлектрической проницаемостью $E_{\text{ср}}$ (для воздуха равной единице).

Для цилиндрического емкостного преобразователя, емкость

$$E = C_h + C_{H-h} = 0,24 \frac{E_{\text{ж}} \cdot h + E_{\text{ср}}(H - h)}{\lg \frac{D}{d}} n\Phi$$

Для плоского емкостного преобразователя

$$C = C_h + C_{H-h} = \frac{0,088b}{a} [E_{\text{ж}} \cdot h + E_{\text{ср}}(H - h)] n\Phi$$

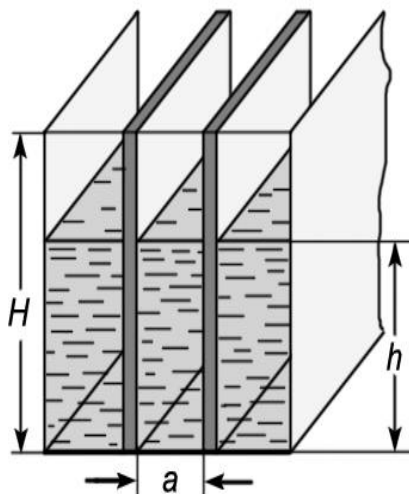


Рис.72.

т.е, $C=f(h)$. Измерение электрической емкости обычно производится с помощью резонансных схем (в сигнализаторах уровня) и мостовых схем (в измерителях уровня)

Омические уровнемеры. Используются в основном как сигнализаторы. Принцип действия омических сигнализаторов основано на замыкании электрической цепи источника питания через контролируемую среду, представляющую собой участок электрической цепи, обладающим определенным омическим сопротивлением.

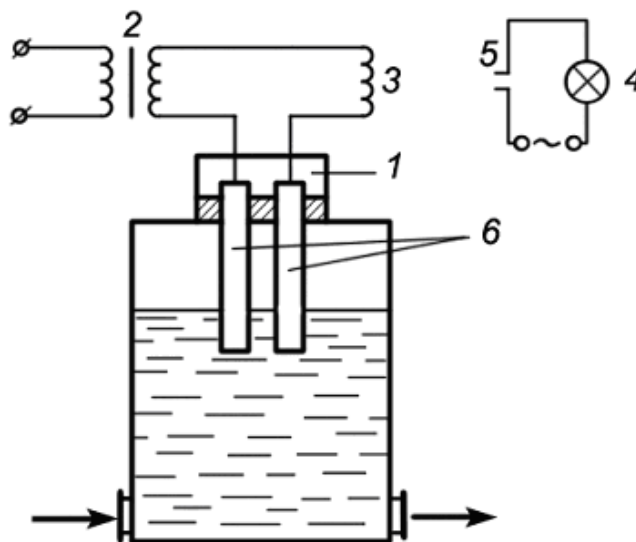


Рис.73.

Сигнализатор состоит из двух узлов: преобразователь и блока питания. Преобразователь включает в себя два изолированных друг от друга электрода 6, которые подключены в цепь (питания) вторичной обмотки понижающего трансформатора 2, блока питания. В эту цепь подключен также и реле 3. При достижении определенного уровня электроды замкнутся, и через цепь протекает ток и срабатывает реле 3. Замкнутся его контакты 5 и сгорает лампочка 4, оповещающая о превышении уровня в аппарате допустимого значения.

Радиоизотопные уровнемеры

Измерение уровня основано на погашении γ -лучей при их прохождении через слой вещества. Возможны следующие три схемы радиоизотопных уровнемеров:

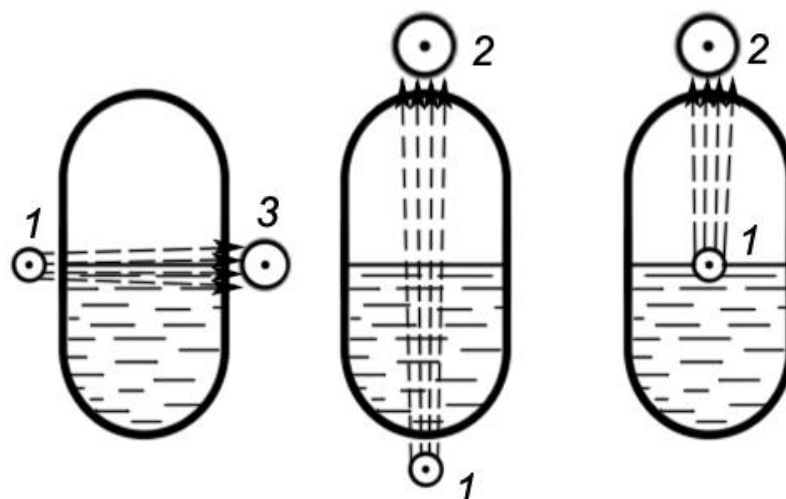


Рис. 74.

С изменением уровня, интенсивность лучей поступающих на приемник изменится. Применяются в основном в тех случаях когда не возможно применять другие методы измерения уровня.

Ультразвуковые уровнемеры

Ультразвуковые уровнемеры позволяют, измерят уровень при отсутствии контакта с измеряемой средой и в труднодоступных местах. В ультразвуковых уровнемерах обычно используется принцип отражения звуковых волн от границы раздела жидкости и газа. Уровень жидкости в резервуаре определяется по времени запаздывания отраженного сигнала относительно последнего. Постоянное напряжение пропорциональное времени запаздывания отраженного сигнала, получаемое в измерителе времени, подается на вторичный прибор.

Уровнемера для сыпучих тел

Уровень сыпучих материалов в бункерах измеряют поплавковыми, радиоизотопными, электрическими емкостными и весовыми уровнемерами. Весовые уровнемеры для сыпучих материалов применяются когда подвеска бункера не вызывает конструктивных осложнений, и загрузка и выгрузка осуществляется не рывками. В качестве преобразователя могут быть использованы различные весовые устройства. Конечные выключатели могут быть использованы в качестве преобразователя. При загрузке бункера происходит сжатие опорных пружин и линейное перемещение бункера по вертикале. При достижении определенного уровня срабатывают конечные выключатели. В качестве преобразователя могут быть использованы мессдозы. В этом случае измеряется давление, передаваемое на опору бункера. Это давление является функцией наполнения бункера материалом.

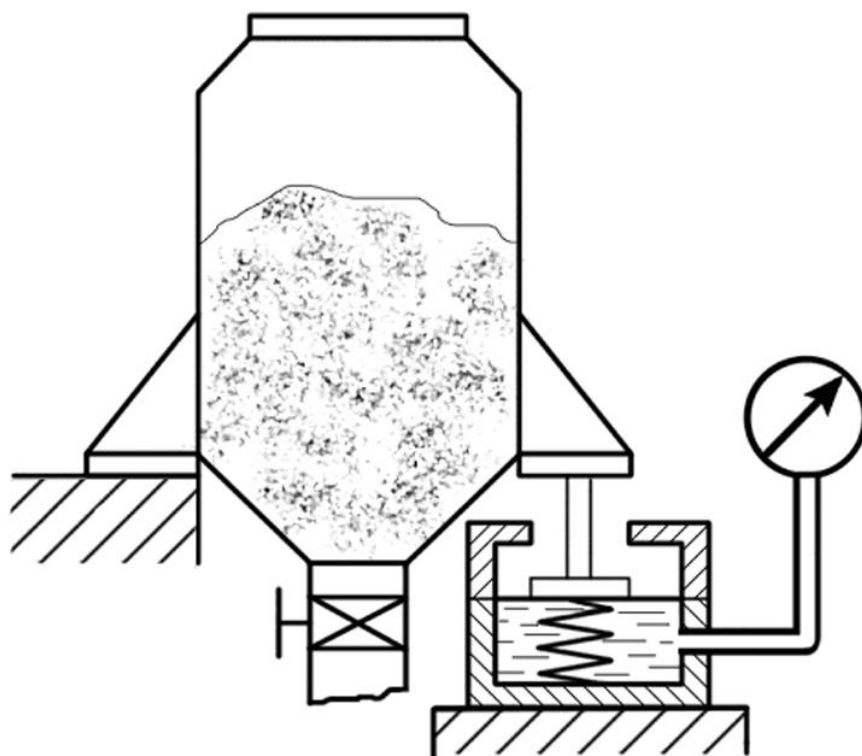


Рис. 75.

Комплект прибора состоит из гидравлической мессдозы 1, соединенной с манометром 3, градуированного в единицах уровня. Мессдоза, являющейся опорой одной из лап бункера, представляет из себя металлический корпус с поршнем, герметизированным гибкой мембраной. Давление в системы мессдоза –манометр равно силы тяжести бункера, с заполняющим его материалом, деленной на площадь поршня мессдозы.

МЕТОДЫ ГАЗОВОГО АНАЛИЗА

Для создания современных систем управления требуются разработка методов и приборов, пригодных для автоматического выполнения анализов в технологическом потоке. Это в свою очередь ставит новые задачи для создания новых более совершенных аналитических приборов. К аналитическим приборам, осуществляющим анализ газовых смесей относятся газоанализаторы, масспектрометры и хроматографы.

Газоанализаторы

Газоанализаторы впервые были созданы в начале прошлого века.

С помощью газоанализаторов производится количественный и качественный анализ. Первый, для количественной оценки содержания анализируемого компонент в газовой смеси, второй, для количественного обнаружения примеси в газовой смеси.

В технологическом контроле в основном использует первые.

В зависимости от метода газового анализа газоанализаторы можно разделить на три класса: химические, физико-химические (электрохимические) и физические.

Кроме этих газоанализаторов в настоящее время более широкое применения находят масспектрометры и газовые хроматографы, с помощью которых можно производить одновременный анализ нескольких компонентов газовой смеси.

Таким образом, можно привести следующую классификацию методов газового анализа.

Газоанализаторы			Газоаналитические масс-спектрометры	Газовые Хроматографы
Химические газоанализаторы	Физико-химические газоанализаторы	Физические газоанализаторы		
1. Абсорбциометрические 2. С дожиганием 3. Комбинированные	1. Электрокондуктометрические 2. Деполяризационные 3. Гальванические 4. Термохимические	1. Термокондуктометрические 2. Магнитные 3. Оптические 4. Радиационные	1. С разделением ионов в магнитном поле 2. С разделением ионов по времени пролета	1. Газоадсорбционные 2. Газожидкостные 3. Капиллярные

ХИМИЧЕСКИЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ

Сущность химического метода заключается в том, что из газовой смеси удаляется анализируемый компонент и его содержания определяется по уменьшению объема анализируемой газовой смеси.

К химическим методом относятся:

1. Абсорбциометрический метод определения, основанный на уменьшении объема при избирательном поглощении химическими реактивами;
2. Метод, основанный на уменьшении объема при сжигании горючих компонентов газовой смеси;
3. Комбинированный метод.

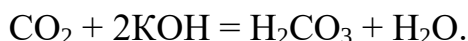
Химические газоанализаторы выпускаются в виде переносных - неавтоматических и стационарных - автоматических газоанализаторов.

Переносные химические газоанализаторы

Рассмотрим работу газоанализатора химического переносного ГХП-3М, для анализа содержания CO_2 , O_2 и CO в газовых смесях. Работа его основана на поглощении анализируемых компонентов газовой смеси различными реактивами, потом определения содержания по уменьшению объема газовой смеси.

1. Для поглощения CO_2 применяется водный раствор едкого калия (KOH) (33% KOH и 67% H_2O).

Реакция поглощения:



[Для анализа CO_2 в конвертированном газе используется в качестве реактива 15-20% раствор моноэтаноламина].

2. Для поглощения O_2 в качестве реактива использует щелочной раствор пирогалловой кислоты, т.е. 13% $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$, 29% KOH и 58 H_2O .

[Для анализа O_2 в конвертированном газе (азоте) используют медно -аммиачный раствор].

3. Для поглощения CO используется щелочной раствор полухлористой меди (Cu_2Cl_2), [17% Cu_2Cl_2 ; 21% Na_4Cl (Хлористого аммония) и 62% H_2O]. (а также медно аммиачный раствор).

Прибор состоит из измерительной бюретки 10, помещенной в цилиндрический сосуд 11 с водой, трех стеклянных поглотительных сосудов 1, 2, 3, которые сообщаются с измерительной бюреткой посредством краников 4, 5, 6 и распределительный гребёнки 7. Все баллоны для приёма реактива соединены в верхней части стеклянной трубкой 8 с резиновым мешочком 9, изолирующие растворы от атмосферы. Прибор снабжен уравнильным сосудом 13, служащим для отбора и перемещения в приборе пробы газа.

Открыв кран 14, и поднимая сосуд 13 заполняют измерительную бюретку жидкостью (NaCl). Далее, отключив гребенку 7 краном 14, от атмосферы соединяют грушу 15 через фильтр 16 с газоподводящей трубкой 17.

Опуская сосуд в течении 10-15 минут проверяют герметичность прибора по положению уровней. Далее производят продувку гребенки, набирая и сбрасывая газ в атмосферу.

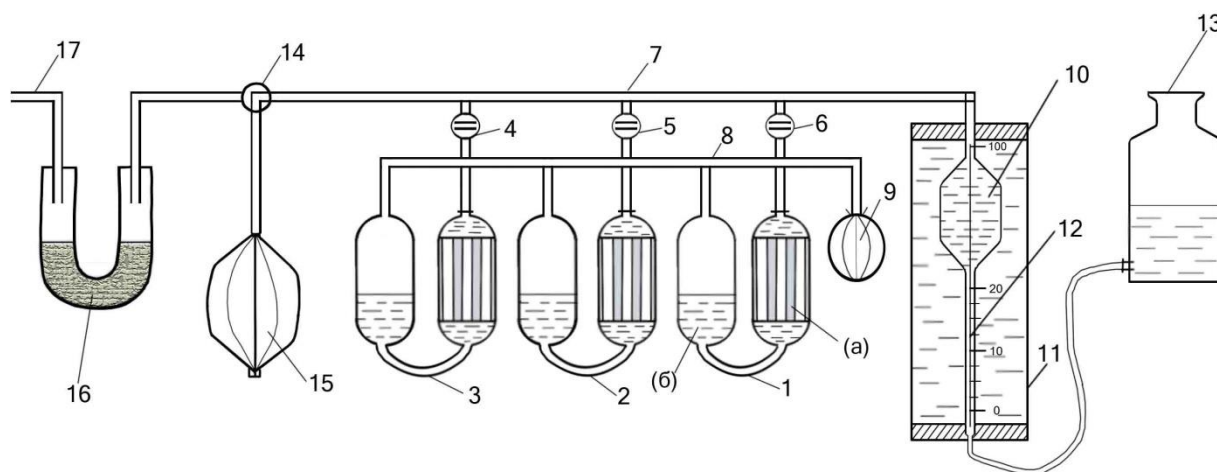


Рис. 76.

После всех этих предварительных процедур, набирают в бюретку раствор, до отметки 100 мл и далее открыв кран 14 набирают газ, при этом газ вытесняет жидкость из бюретки. Набирают 100 мл газа.

Анализ начинают с поглощения CO_2 . Открывают кран 6, поглотительного сосуда 1 и медленно поднимая уравнильный сосуд 19, перегоняют весь газ из бюретки в этот сосуд.

Под давлением перемещаемого газа, реактив (МЭА) из баллона для поглощения газа (а) вытесняется в баллон для приёма реактива (б), оголяя при этом смоченные раствором стеклянные трубки. Опуская затем сосуд 13, возвращают газ в бюретку 10, следя, чтобы реактив в поглотительном сосуде не поднялся выше контрольной (точки) отметки на капиллярной трубке. Для полного поглощения CO_2 перемещение пробы из 10 в 1 повторяют 4-5 раз. После этого подтягивают уровень реактива до контрольной отметки на капилляре поглотительного сосуда, отключают кран 6, и совмещая уровни жидкости в измерительной бюретке и уравнильном сосуде, определяют по шкале 12, нанесенной на измерительной бюретке, уменьшение объема газа за счет поглощения CO_2 . Затем производят еще одно контрольное перемещение остатка газовой смеси из бюретки 10 в сосуд 1 и обратно. Если результаты совпадут, то на этом заканчивают,

если же объем опять уменьшится, то процедуру повторяют до тех пор, пока два следующих друг за другом измерения станут одинаковы.

Потом анализ газа производят для определения O_2 и CO . Основная погрешность измерения CO_2 и O_2 в среднем $\pm 0,2\%$.

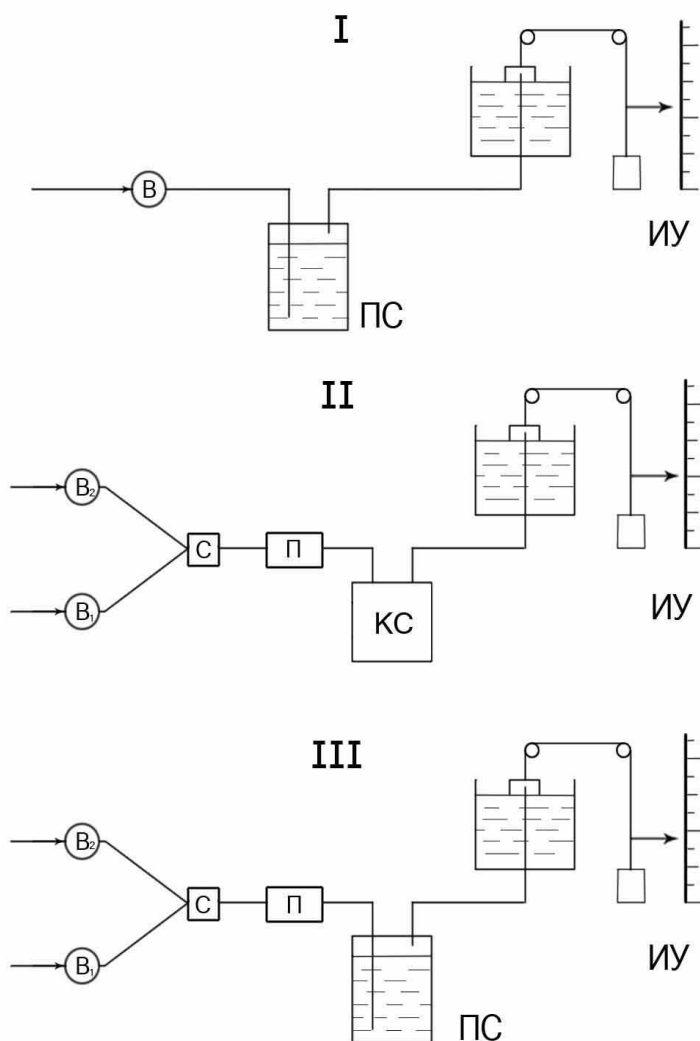
Прибор заключен в деревянный футляр с ручкой для переноски.

Выпускается также переносной газоанализатор ВТИ-2, в основу работы которого положен, комбинированный метод, объединяющий абсорбциометрический метод и метод раздельного сжигания горючих компонентов газовой смеси.

Автоматические химические газоанализаторы

Независимо от разнообразия конструкций все автоматические химические газоанализаторы имеют одинаковый принцип работы. Исследуемый газ периодически засасывается в измерительный сосуд (волюметр). Отмеренный объем силовым устройством проталкивается из волюметра в ПС, где анализируемый компонент поглощается. Остаток поступает в ИУ и по разности объемов определяется содержания искомого компонента.

Анализ компонентов для которых нет поглотителей используют метод дожигания с добавлением кислорода (H_2 , CH_4 , CO и другие). Смесь пропускается через печь дожигания, где горючие компоненты сгорают. Образовавшие пары воды и углекислота поглощаются в поглотительном сосуде или конденсационном сосуде.



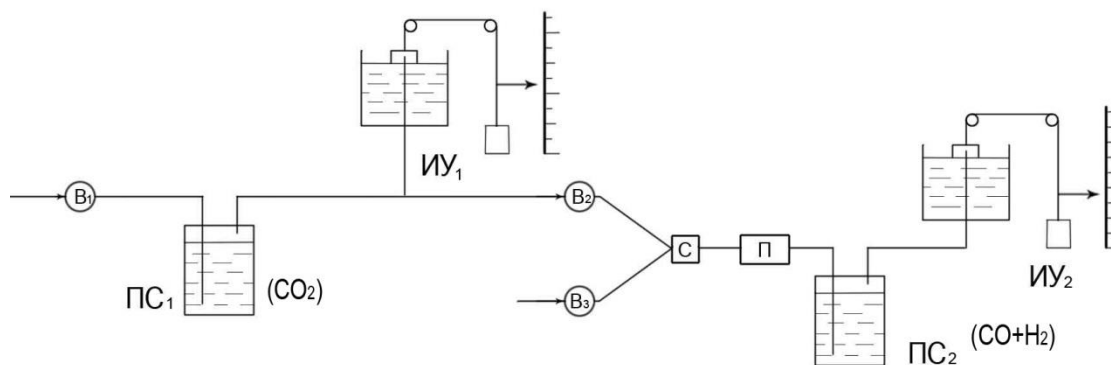


Рис.77.

В устройстве I газоанализатора, определение содержания производится по измерению объемов, первоначального (100 см^3) и измеряемого уменьшенного после поглощения определяемого компонента (CO_2 , NH_3 , SO_2 , CL_2 и другие).

Во II – случае определяемый компонент сжигается в печи дожигания П и конденсируется в КС и далее измеряется уменьшенный объем в ИУ. (H_2 , CH_4 и другие).

В третьем случае можно анализировать сумму двух компонентов $\text{CO} + \text{H}_2$. после печи газ поступает в ПС где поглощается CO_2 и H_2O образовывается при сжигании CO и H_2 .

Существуют и другие разновидности таких газоанализаторов. Например, для определения CO_2 и суммы $\text{CO} + \text{H}_2$.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ

Физико-химические методы анализа базируются на различных химических реакциях, сопровождающихся тем или иным физическим явлением. Различают, электрокондуктометрические, деполяризационные, гальванические, термохимические физико-химические газоанализаторы и газоанализаторы кулонометрического титрования.

Электрокондуктометрические газоанализаторы

Эти газоанализаторы основаны на измерении электропроводности жидкости абсорбирующей измеряемый компонент из газовой смеси.

При подачи анализируемой смеси в ячейку переменной электропроводности, в результате поглощения анализируемого компонента абсорбирующим раствором, изменяется электропроводность этого раствора.

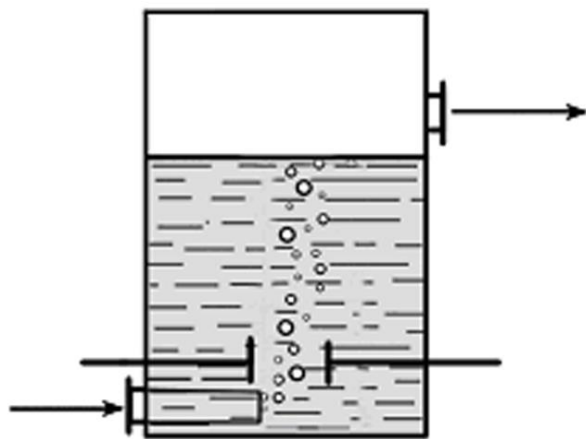
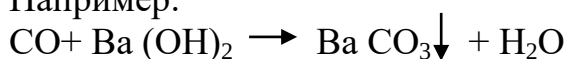


Рис. 78.

Изменение электропроводности (уменьшение) в этом случае пропорционально количеству поглощенного анализируемого компонента. В качестве поглотительного раствора обычно подбирают такие растворы, которые, при взаимодействии с анализируемым компонентом дают необратимую реакцию (один из продуктов реакции выпадает в осадок)

Например:



В результате уменьшения количества диссоциированных молекул, электропроводность уменьшается.

Процентное содержание анализируемого компонента в газовой смеси, пропорционально отношению изменения электропроводности к объему пропущенной газовой смеси за тот же промежуток времени, т.е .

$$C = a_1 \frac{\Delta R}{\Delta V} = a_1 \frac{\Delta R}{V \cdot \Delta t} = a_2 \frac{\Delta R}{\Delta t}$$

ΔR – изменение сопротивления за промежуток времени Δt ; ____

ΔV - объем газовой смеси, пропущенный за время Δt ;

V – скорость газа.

Как видно из уравнения для (правильного) точного определения концентрации анализируемого компонента необходимо стабилизировать подачу газа и поддерживать определенные соотношения его с поглотительным раствором и кроме того необходимо ввести температурную компенсацию, т.к. при изменении температуры электропроводность растворов изменяются.

Электрокондуктометрическую ячейку включают в одно из плеч измерительного моста переменного тока. С помощью этих приборов можно определить содержания CO_2 , SO_2 ; NH_4 и других. (PS: переменный ток не вызывает поляризации электродов измерительной ячейки).

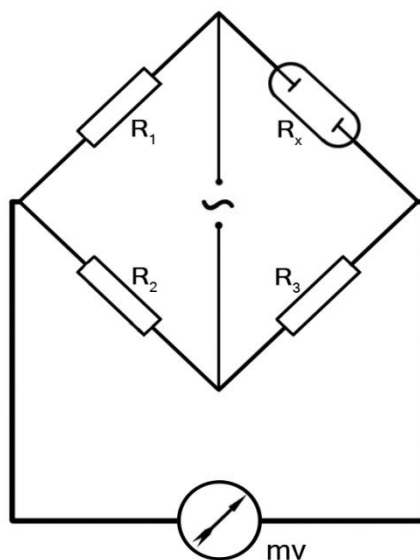


Рис.79.

Рассмотрим газоанализатор на NH_4 , который работает по принципу измерения электропроводности раствора, поглотившего из анализируемой газовой смеси NH_4 .

Датчик газоанализатора термостатирован. Анализируемый газ, из технологического трубопровода, через заборно-фильтрующее устройство, блока регулирования и фильтрации (который содержит контрольный фильтр, регулятор расхода и контрольный ротаметр), в строго определенном количестве, поступает в капельный насос - дозатор, в котором анализируемый компонент поглощается слабым раствором соляной кислоты, поступающий из специального термостатированного резервуара. Дозатор обеспечивает постоянства соотношения между объемом жидкого поглотителя и поглощаемого газа. С изменением содержания анализируемого компонента, изменяется электропроводность раствора, что измеряется с помощью электрокондуктометрической ячейки, путем подключения ее в одно из плеч неуравновешенного моста. Погрешность $\pm 5\%$ от максимальной значения шкалы.

Деполяризационные газоанализаторы (ДПГ5-52)

Действие этих газоанализаторов основано на измерении величины диффузионного тока, возникающего при деполяризации кислородом поляризованного электрода электрохимической ячейки.

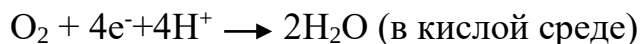
Очищенное от примесей газовая смесь подается в абсорбер, где O_2 , содержащийся в газовой смеси поглощается поглотительным раствором (Na_2SO_4 – сернокислого натрия).

(По закону Генри количество растворенного O_2 в растворе пропорционально его содержанию в газовой смеси)

Далее раствор поступает в электрохимическую ячейку, где расположены два золотых электрода, к которым подведено стабилизированное напряжения постоянного тока ($1,95 \pm 0,2$ в). При этом H_2 из ионного состояния в котором он находится в растворе, переходит в атомарное и молекулярное состояние, скапливаясь на электроде до тех пор пока не наступит поляризованное равновесие. При этом ток в цепи падает почти до нуля.

Невозможность получения полного отсутствия тока в цепи связано с частичным удалением газообразного водорода. Например, в результате движения электролита.

При появлении в электролите растворенного O_2 , последний начинает восстанавливаться по уравнению:



и в цепи электродов появляется диффузионный ток. Таким образом, если, в электролит попадает кислород, он диффундируя к катоду ячейки, частично деполяризует электрод, причем в цепи ячейки возникает ток I_d , называемый диффузионной, сила которого пропорциональна содержанию кислорода в электролите и определяется уравнением

$$I_d = \frac{S \cdot D \cdot n \cdot F \cdot c}{\delta}$$

где,

S – поверхность электрода;

D – коэффициент диффузии;

n – валентность ионов кислорода;

c – концентрация кислорода в растворе;

F – число Фарадея;

δ – толщина диффузионного слоя.

Термохимические газоанализаторы

В этих газоанализаторах для определения содержания анализируемого компонента используется тепловой эффект реакции каталитического окисления этого компонента, т.е. тепловой эффект химической реакции.

Различают две группы этих приборов:

1. Приборы, в которых горение происходит на каталитически активной платиновой нити;
2. Приборы, в которых горение происходит на насыпном катализаторе, а тепловой эффект измеряется отдельным чувствительным элементом.

В первом случае, платиновая нить, помещенная в измерительную ячейку, служит одновременно источником нагрева газовой смеси до температуры горения, катализатором и чувствительным элементом.

Эти приборы в основном применяются как индикаторы и сигнализаторы взрывоопасных концентраций горючих газов в воздухе.

Отличаются простотой конструкции и возможностью смены рабочих плечевых элементов-измерительных ячеек без нарушения градуировки прибора.

Конструкция измерительной ячейки термохимического газоанализатора (плечевого элемента) имеет следующий вид:

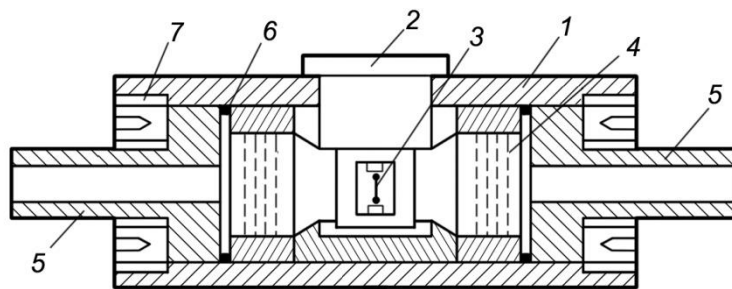


Рис.80.

1- корпус; 2- плечевой элемент; 3- платиновая нить; 4- сетчатый огнепреградитель; 5- штуцер; 6- прокладка; 7- гайка.

Эта измерительная ячейка подключается в одно из плеч не уравновешенного моста (R_1) постоянного или переменного тока, другая, заполненная воздухом сравнительная ячейка (R_2), эквивалентная по своим параметрам и конструкцией рабочей, подключается в соответствующее плечо мостовой схемы. Две другие плечи мостовой схемы, выполнены из постоянных манганиновых сопротивлений.

С изменением содержания анализируемого компонента в газовой смеси, изменяется температура плечевого элемента при каталитическом горении, что приводит к нарушению равновесия измерительного моста. В качестве вторичных приборов в комплекте с этими приборами (газоанализаторами) работают автоматические потенциометры.

Выпускаются переносные (типа ПГФ-11-54 и ПГФ 2- ВЗГ) и автоматические сигнализаторы наличия горючих газов и паров в воздухе (типа СГГ).

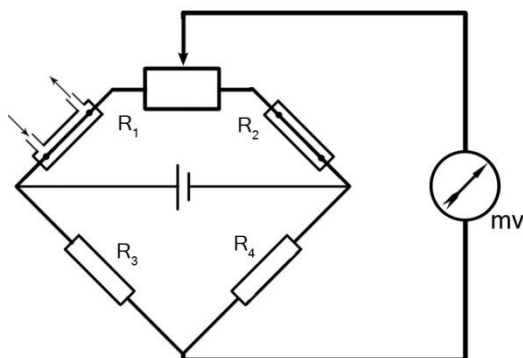


Рис.81.

Не допускаются установка датчика в помещениях с агрессивными газами и газами, содержащими значительные количества сернистых соединений.

Основными источниками погрешности приборов этой группы являются:

1. Колебания температуры окружающей среды;
2. Колебания напряжения источника питания измерительного моста;
3. Изменение скорости подаваемого газа через измерительную ячейку;
4. Падение активности катализатора за счет отравления его химически активными примесями;
5. Колебание удельной теплопроводности газовой смеси за счет изменения соотношения между компонентами в газовой смеси.

Вторая группа термохимических газоанализаторов, в которых горение анализируемого компонента происходит на слое катализатора. Он имеет некоторые преимущества по отношению к первой:

Более высокой чувствительностью, за счет полноты реакции (поскольку насыпной катализатор имеет более развитую поверхность, чем платиновая нить);

Возможность работы в более низких температурах и без подогрева (в некоторых случаях).

При отсутствии анализируемого компонента в газовой смеси, сопротивление R_2 в сравнительной ячейке, заполненной инертной (нейтральной, неактивной) массой, будет одинаково с R_1 , который находится в катализаторе. С появлением в газовой среде анализируемого компонента, в рабочей ячейке изменяется температура, за счет экзотермической реакции в слое катализатора. Мостовая схема выходит из равновесия и через измерительный диагональ протекает ток, пропорциональный содержанию анализируемого компонента в газовой смеси.

Основные источники погрешности такие же, что и у первой разновидности термохимических газоанализаторов.

Для устранения погрешности за счет колебания температуры окружающей среды, датчик газоанализатора целиком термостатируется.

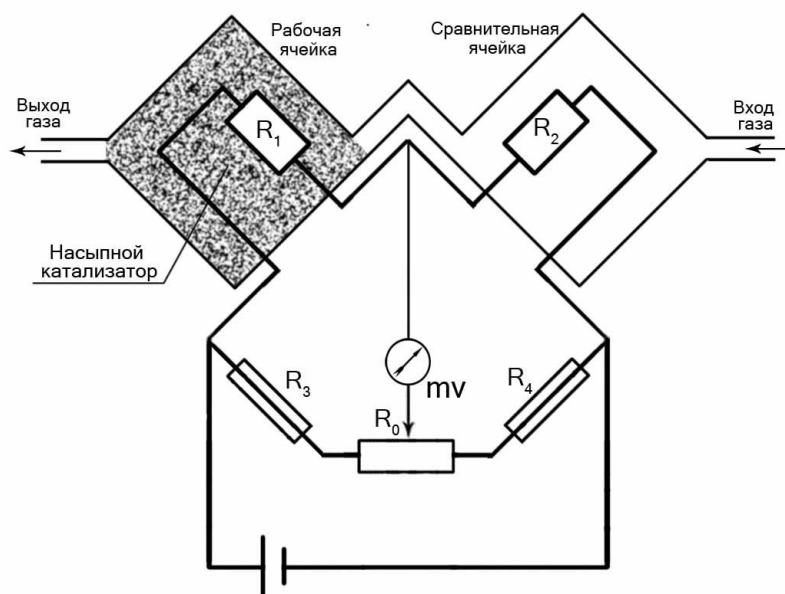


Рис.82.

Снижение влияния колебания напряжения осуществляется применением различных (феррорезонансных) стабилизаторов или применяются специальные схемы автоматического компаратора напряжения, работающего на переменном токе с частотой 50 гц.

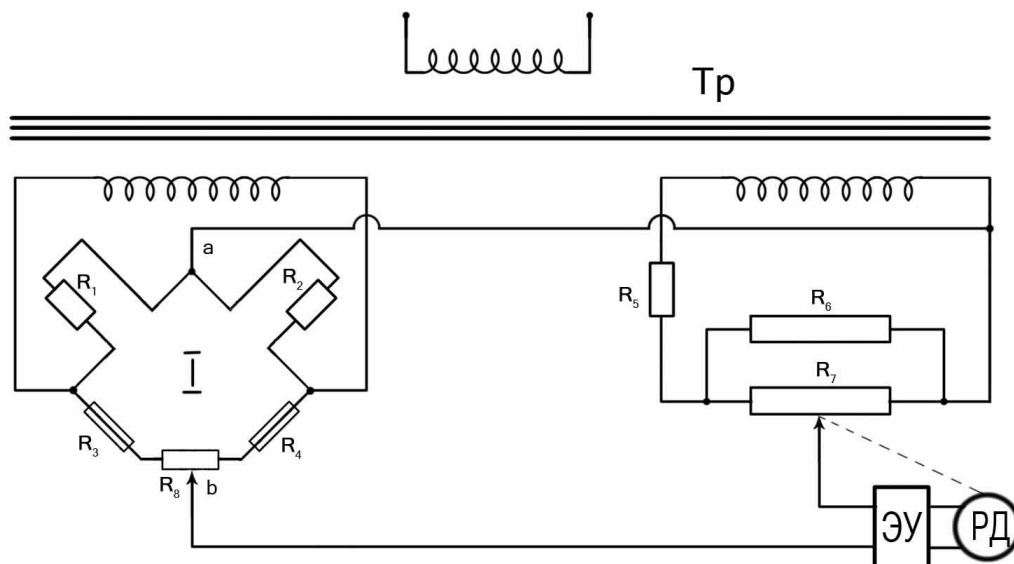


Рис.83.

Данная схема состоит из мостовой схемы I и делителя напряжения, состоящего из R_5 , R_6 , R_7 , которые питаются от 2-й вторичной обмотки трансформатора T_p .

Разность потенциалов между точками «а» и «в» моста I, пропорциональное содержанию анализируемого компонента в газовой смеси, уравнивается падением напряжения на соответствующей части реохорда R_7 (компенсационный метод измерения). При нарушении равновесия на входе ЭУ появляется сигнал разбаланса, которое усиливаясь вращает ротор РД. Ротор РД кинематически связан с движком реохорда R_7 . Перемещая движок опять восстанавливается равновесие. Особенностью этой схемы является нечувствительность к изменениям напряжения питания.

Термохимический газоанализатор ТХГ-5

Термохимический газоанализатор ТХГ-5 предназначен для определения содержания горючих газов в избытке кислорода и наоборот. Действие прибора основана на измерении теплового эффекта каталитической реакции кислорода с горючим газом. Газовая схема термохимического газоанализатора ТХГ-5 приведена на рис. 85, которая включает: 1-блок подготовки газа; 2- мембранный регулятор расхода; 3- ротаметр для контроля расхода газа; 4- измерительный блок; 5- электроподогреватель; 6- сравнительная камера; 7- рабочая камера; 8- стаканчик с неактивной (инертной) массой; 9- стаканчик с катализатором; 10,11 – сравнительный и рабочий термометр сопротивления.

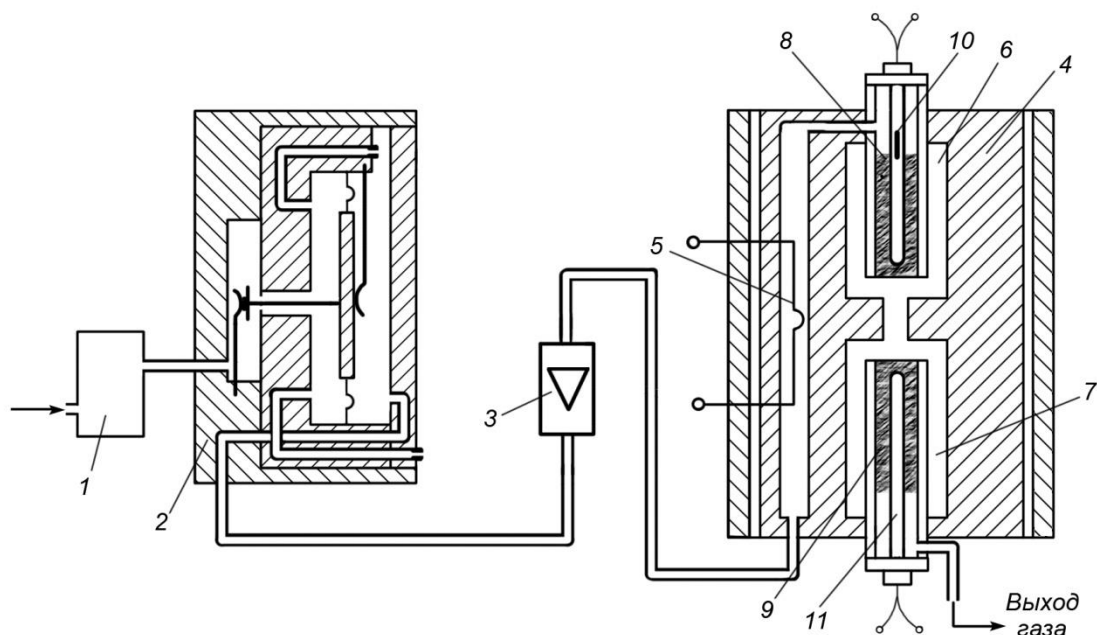


Рис. 84.

Термометры сопротивления подключаются в две смежные плечи мостовой схемы. Электрическая схема газоанализатора ТХГ-5 представляет собой уравновешанный автоматический мост (рис.86.).

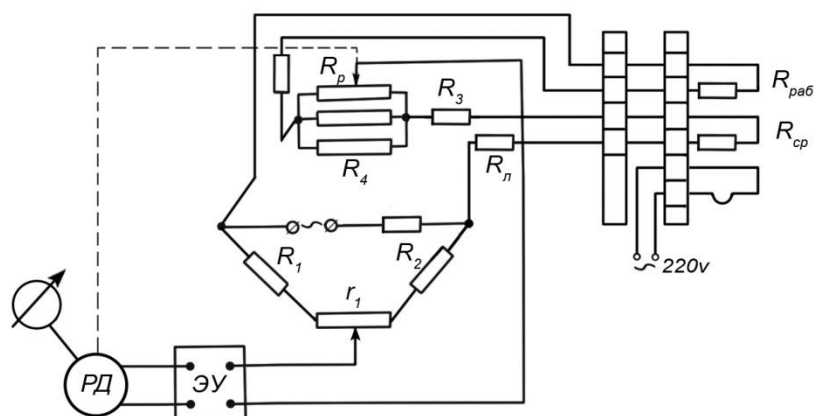


Рис.85.

Применяется для определения содержания кислорода в электролитическом водороде, кислорода в водяном и полуводяном генераторном газе, водорода в электролитическом кислороде.

Основная погрешность $\pm 5\%$ от верхнего предела шкалы.

ФИЗИЧЕСКИЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ

К физическим газоанализаторам относятся приборы, действие которых основана на использовании какого - либо физического свойства одной из составных частей газовой смеси, заметно отличающегося от свойств других составных частей газа.

К ним относятся термокондуктометрические, магнитные и оптические газоанализаторы.

Термокондуктометрические газоанализаторы

В основу этих газоанализаторов положен метод, использующий зависимость электрического сопротивления проводника помещенную в камеру с анализируемой газовой смесью и нагреваемого током, от теплопроводности анализируемой смеси.

Если теплопроводность одного из компонентов газовой смеси значительно отличается от теплопроводности других компонентов, то изменение теплопроводности газовой смеси практически определяется изменением содержания в газе этого компонента. Удельная теплопроводность различных газов различна, например N-0,996; H₂-7,13; Cl-0,322 и поэтому можно подобрать такие смеси (в производстве) чтобы изменение теплопроводности смеси определялся бы изменениям содержания анализируемого компонента в газовой смеси.

Теплопроводность газов изменяется с изменением температуры. Для некоторых газов значения теплопроводности с повышением температуры начинают приближаться и при определенной температуре становятся равными. Для смеси некоторых газов с воздухом, область равных значений удельной теплопроводности имеет следующие значения температуры

H ₂ O	NH ₃	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	SO ₂
200° C	63° C	100° C	120° C	450° C

Следовательно, при этих температурах анализировать эти бинарные смеси данным методом невозможно. Но возможно при этих температурах анализировать тройные смеси и тогда изменения теплопроводности смеси будет определять содержание третьего компонента смеси. Например: при 200° C можно анализировать различные газоздушные смеси независимо от их влажности.

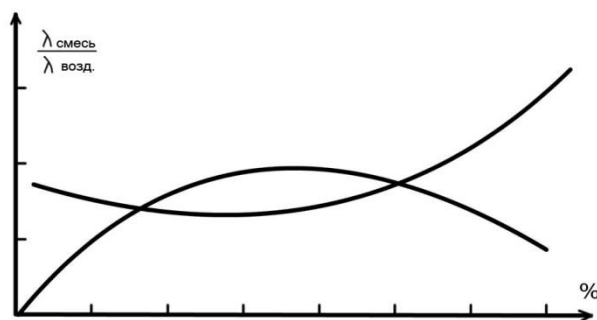


Рис.86.

Однако не всегда оказывается возможным применение этого метода анализа. В тех случаях, когда кривая изменения теплопроводности имеет перегиб, то возможны двузначные результаты. Для таких смесей, этим методом пользуются в узких диапазонах измерения.

Измерительная ячейка термокондуктометрического газоанализатора представляет собой металлическую цилиндрическую камеру, по оси которого натянута металлическая нить, служащий электронагревателем и чувствительным элементом. Две камеры (рабочие, через которые пропускается исследуемый газ) подключаются в противоположные плечи мостовой схемы, а на две другие подключаются камеры, которые заполнены воздухом.

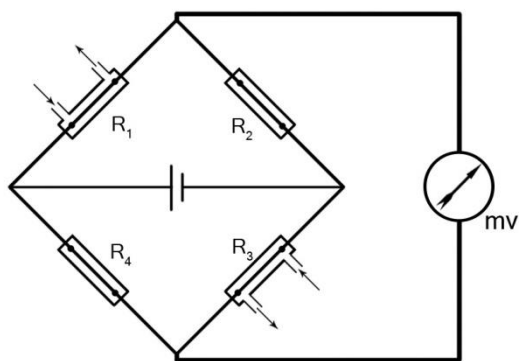


Рис.87.

Если теплопроводность смеси будет отличаться от теплопроводности воздуха, то температуры, а следовательно и сопротивление нитей будут отличаться друг от друга. При этом ток в диагонали моста будет зависит от величины разбаланса моста, то есть, от содержания искомого компонента в газовой смеси:

$$I = \frac{I_0}{2} \frac{\Delta R}{R + R_{mb}}$$

где:

I – величина тока в измерительном диагонали моста;

I_0 – величина тока в цепи питания моста;

R – сопротивление плеч моста

ΔR – изменения сопротивления;

R_{mb} – сопротивления милливольтметра.

Из этого уравнения следует, что измерения следует производить при значении $I_0 = \text{const}$, только в этом случае величина I однозначно зависит от ΔR , то есть от содержания анализируемого компонента в газовой смеси.

Кроме того, зависимость I от температур нитей и стенок измерительных ячеек можно записать в виде:

$$I = k [(T_H - T_{CT}) - (T_{H0} - T_{CT0})];$$

где, k – постоянная прибора;

T_H, T_{CT} – температура нити и стенок в рабочей камере;

T_{H0}, T_{CT0} – температура нити и стенок в сравнительной камере.

Или, это уравнения можно записать как,

$$I = k[(T_H - T_{H0}) - (T_{CT} - T_{CT0})]$$

из которого следует, для того чтобы $I = F(T_H)$ (то есть, только от содержания анализируемого компонента в газовой смеси), необходимо чтобы температуры стенок измерительной и сравнительной камеры были одинаковы, то ест, $(T_{CT} - T_{CT0}) = 0$.

Основными источниками погрешностей в термокондуктометрических газоанализаторах являются следующие:

1. Колебание температуры окружающей среды, вызывающее изменение t стенок измерительных ячеек;
2. Колебания напряжения источника питания моста;
3. Изменения скорости просасывания газа;
4. Изменение содержания не анализируемых компонентов, в частности водяных паров.

Влияние колебания температуры на показания прибора устраняется путем термостатирования блока. Напряжения питания стабилизируются феррорезонансными стабилизаторами. Расход смеси тоже стабилизируется, но все это очень усложняет схему прибора. Поэтому применяются более совершенные компенсационные схемы.

Схема состоит из двух неуравновешенных мостов А и Б, питающих от сети переменного тока, через трансформатор Тр. Плечи мостов из платиновых проволочек заключены в баллончики (стеклянные).

Два рабочих плеча (1-3) омываются анализируемым газом. Другие 2, 4, 6, 8, заполнены анализируемым газом соответствующему началу шкалы, а баллоны 5, 7, газом соответствующему концу шкалы.

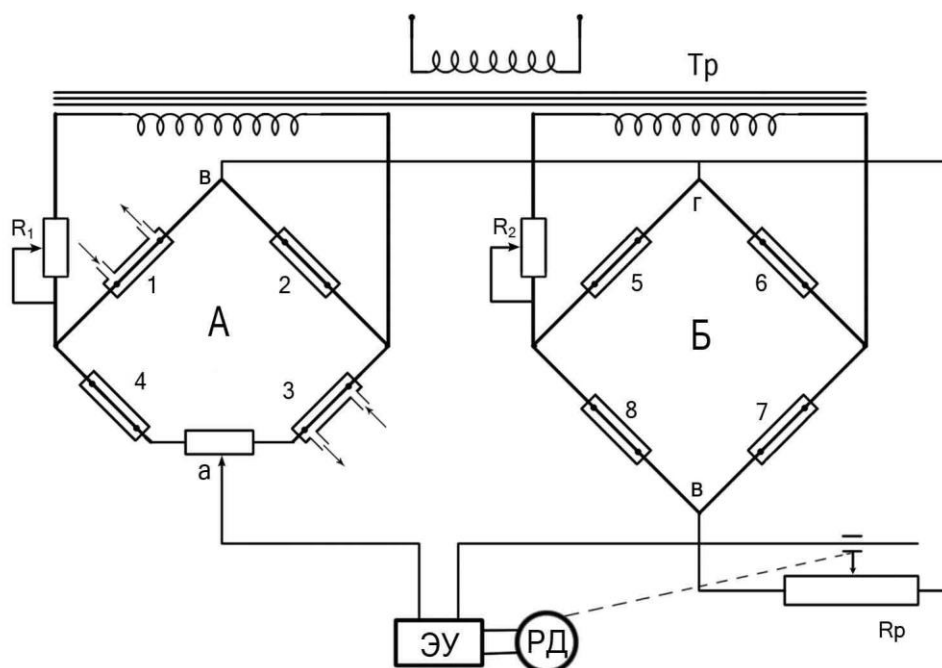


Рис.88.

В измерительной диагонали сравнительного моста включен реохорд R_p , движок которого и вершина «а» моста А включены на вход ЭУ потенциометра. Реверсивный двигатель РД потенциометра перемещает движок реохорда R_p , до тех пор, пока напряжение, снимаемое с вершин моста А, «а» и «в» не уравнивается частью разности потенциалов, снимаемое с вершин «в» и «г» сравнительного моста Б. Благодаря принципу сравнения показание газоанализатора не зависит от колебания напряжения питания и температуры окружающей среды.

Измерение содержания анализируемого компонента в газовой среде по удельной теплопроводности пригодно в основном для бинарных смесей. А для многокомпонентных газовых смесей этот метод можно применить, при условии равенства теплопроводностей всех компонентов, за исключением анализируемого, или при неизменных соотношениях, не анализируемых компонентов. Это относится и влажности пробы. Так как она зависит от температуры пробы. Для исключения влияния колебания влажности, газовую смесь перед анализом осушают.

В ГСКБ АП разработаны компенсационные измерительная схема устраняющие влияния неопределяемых компонентов (рис.90.).

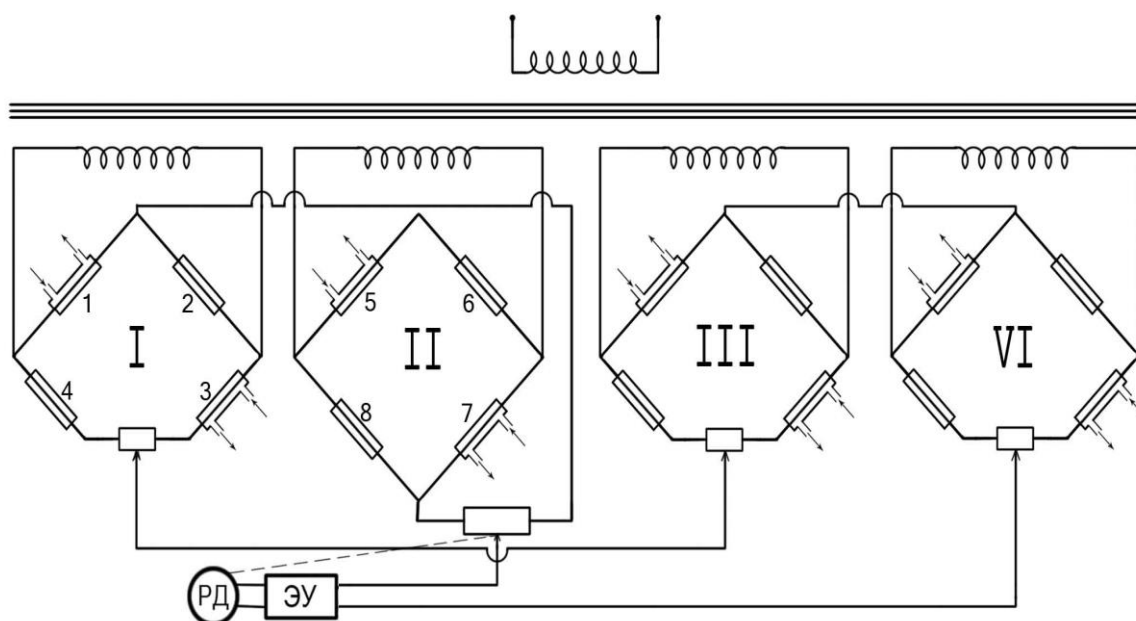


Рис.89.

Мосты I и II такие же, что в предыдущей схеме. Мосты III и IV такие как мост I, (выполнены так, что в I, III и IV мостах токи протекающие по их соответствующим плечам разные). Можно подобрать такие режимы работы мостов III и IV чтобы разность потенциалов на их диагоналях определялась концентрацией неопределяемых компонентов. Применение этой разности в качестве компенсирующего сигнала, исключает зависимость результатов измерений от концентрации не измеряемых компонентов. Если разность потенциалов моста I, определяемая содержанием измеряемого и не измеряемых компонентов, равно

$$\Delta U_I = a C_{\text{ук}} + b C_{\text{нк}}$$

То можно подобрать режимы работы III и IV мосты так, чтобы

$$\Delta U_{\text{III}} = \Delta U_I = a C_{\text{ук}} + b C_{\text{нк}}$$

$$\Delta U_{\text{IV}} = a C_{\text{ук}} + 2b C_{\text{нк}}$$

И тогда их разность, то есть, $\Delta U_{\text{IV}} - \Delta U_{\text{III}} = b C_{\text{нк}}$, определяется содержанием не измеряемых компонентов, и следовательно,

$$\Delta U_I - (\Delta U_{\text{IV}} - \Delta U_{\text{III}}) = a C_{\text{ук}}$$

На вход ЭУ поступает сигнал пропорциональный только изменению содержания анализируемого компонента газовой смеси.

Термокондуктометрический газоанализатор ТХГ-4, предназначен для анализа H_2 ; O_2 ; NH_3 ; SO_2 в газовых смесях. Газовая схема представлена на рис.91.

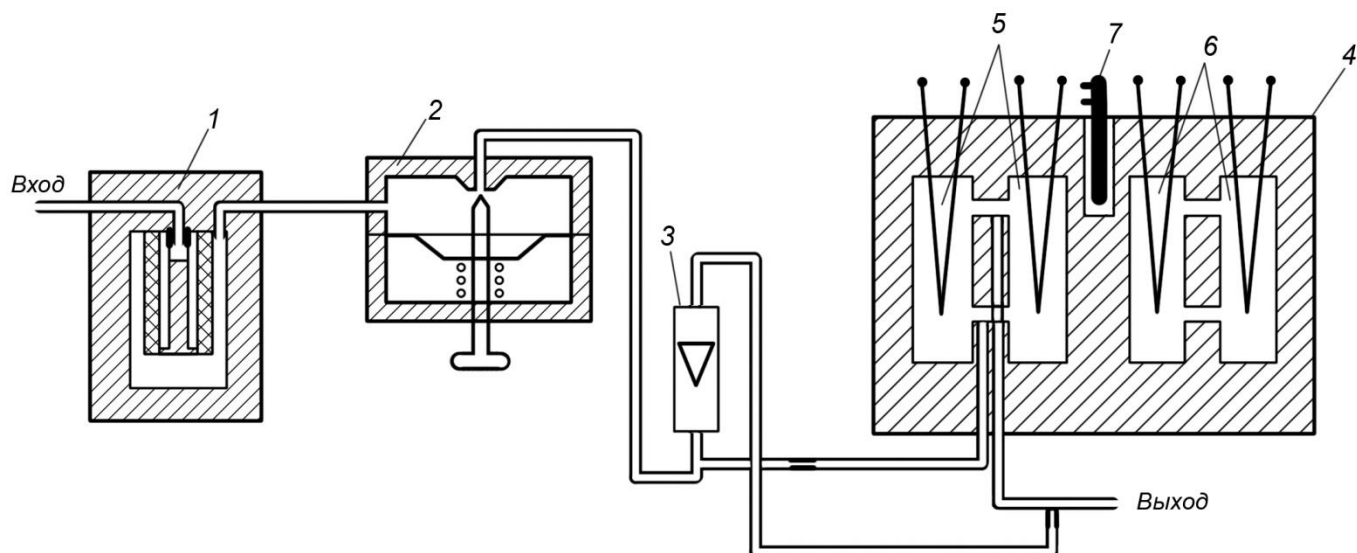


Рис.90.

- 1- фильтр тонкой очистки
- 2 – игольчатый вентиль;
- 3 – ротаметр;
- 4 – измерительный моноблок;
- 5 – рабочие ячейки;
- 6 – сравнительные ячейки;
- 7 – контактный термометр.

Контактный термометр, включен в схему термостатирования измерительного моноблока. Блок термостатирован. Электрическая схема имеет вид (рис.92.).

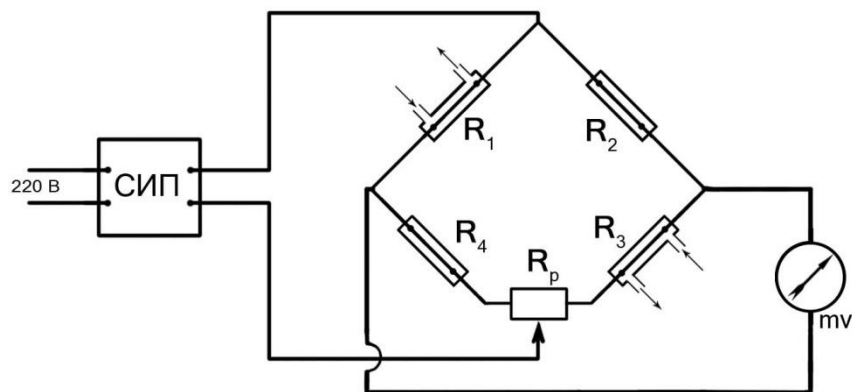


Рис.91.

Применяется для определения содержания газов: H_2 в $N + H$ смеси в производстве синтетического аммиака Основная погрешность $\pm 2\%$;

H₂ в газе карбидных печей 0-20% H₂, основная погрешность ±5%;
NH₃ в аммиачно-воздушный смеси 0-16% NH₃, основная погрешность ±5%;
SO₂ в печном газе, производства серной кислоты, 0-10; 0-15% основная погрешность ±5%.

Термокондуктометрический газоанализатор ТКГ-5

Прибор предназначен для определения содержания аммиака в азото-водородной смеси. Действие этого прибора основано на дифференциальном методе сравнения теплопроводности газовой смеси, с теплопроводностью этой же газовой смеси отмытой от аммиака.

Электрическая схема ТКГ-5 аналогична ТКГ-4, только в ТКГ-5 все ячейки моноблока является проточными.

Предел измерения 0-25% NH₃; Основная погрешность ±5% от диапазона шкалы; Постоянная времени 180 сек.

Термокондуктометрический газоанализатор ТП 1110

Предназначен для анализа H₂ в воздухе или в смеси содержащие CO, CO₂, CH₄, N и O₂. Газовая схема аналогично ТКГ-4, а электрическая схема представляет автоматический компаратор напряжения рассмотренный выше. Более совершенной считается ТП 1120, отличающийся от ТП 1110 улучшенными метрологическими данными. Погрешность ТП 1110- ±5%; ТП 1120 ±2,5%.

Термокондуктометрический газоанализатор ГАХ-239 предназначен для определения содержания Cl в газовых смесях. Предел измерения 0-80 % Cl. В этом приборе использован принцип компенсации рассмотренный выше.

Магнитные газоанализаторы

Кислород обладает свойством парамагнетизмом, характеризующимся высокими магнитными свойствами – интенсивностью намагничивания –**I**, объемной магнитной восприимчивостью – **k_м** и удельной магнитной проницаемостью – **μ**.

Объемная магнитная восприимчивость:

$$k_m = \frac{I}{H}$$

где, **k_м**- объемная магнитная восприимчивость;

I - интенсивность намагничивания;

H – напряженность магнитного поля.

Так-же, объемную магнитную восприимчивость можно вкратить,

$$k_m = \rho \chi$$

где, **χ** -Удельная магнитная восприимчивость;

ρ - плотность газа.

$$\mu = 1 + 4 \pi k_m$$

μ - магнитная проницаемость.

Непосредственно измерить эти величины очень сложно, поэтому при измерении содержания O₂ в газовых смесях, используют косвенные явления, связанные с магнитными свойствами O₂ (Кроме O₂ парамагнитным газом можно считать только

окись азота ($k_{\text{п(NO)}} = + 53 \cdot 10^{-9}$) и двуокись азота ($k_{\text{п(NO)}} = +9 \cdot 10^{-9}$), а для O_2 $k_{\text{п(O}_2)} = 146 \cdot 10^{-9}$).

Различают следующие методы определения содержания компонента обладающим парамагнитным свойством:

1. Магнито-физические газоанализаторы:

а) магнита вискозиметрические;

б) магнита термокондуктометрические.

2. Магнита механические газоанализаторы;

3. Термомагнитные газоанализаторы.

В этих газоанализаторах используются следующие физические явления:

1. Парамагнитные газы меняют свою вязкость в магнитном поле;

2. Парамагнитные газы меняют свою теплопроводность в магнитном поле;

3. Тело, помещенное в неоднородное магнитное поле, испытывает вытягивающие или выталкивающие усилия при изменении магнитных свойств окружающей его среды.

4. В среде парамагнитного газа при наличии градиента температуры и магнитного поля возникают конвективные потоки.

Эти газоанализаторы применяются для:

1. Контроля чистоты получаемого O_2 , наличия O_2 в различных газах.

2. Контроль O_2 в подводных лодках и самолётах.

3. Контроль содержания O_2 в газах, с целью предотвращения возможности воспламенения или взрыва.

4. Контроль протекания процесса горения в топках.

5. Контроль содержания O_2 в различных процессах химической промышленности.

6. В медицине, контроль O_2 при исследовании активности усвоения O_2 легкими и т.д.

Процесс горения, например, можно вести правильно только в том случае, если горючий компонент полностью сгорает, для контроля этого процесса, можно анализировать воздух подаваемый в топку, на содержание O_2 или анализировать дымовые газы.

Магнито физические газоанализаторы

Если исследуемый газ пропустить через магнитное поле, то его скорость уменьшится в результате уменьшения свободы движения за счет частичной ориентации молекул газа. А если учесть что вязкость и теплопроводность газа уменьшается с уменьшением скорости движения, то можно утверждать, что газы, попав в магнитное поле изменяют свою вязкость и теплопроводность.

Из молекулярно кинетической теории, известно, что вязкость газов

$$\eta = \frac{1}{3} \rho v \ell$$

где ρ - плотность газа; v -средняя скорость движения молекул; ℓ –средняя длина сводного пробега молекулы, которая зависит от эффективного диаметра молекулы σ :

$$\ell = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n_0}$$

n_0 – число молекул в единице объема.

При наложении магнитного поля на парамагнитный газ, его молекулы стремятся ориентироваться своими магнитными моментами по направлению поля; при этом возникает процессия, что приводит к увеличению эффективного диаметра молекулы, а следовательно к снижению средней длины свободного пробега и вязкости газа.

В первом магнита вязкозиметрическом газоанализаторе, используется явление изменения вязкости газокислородной смеси в магнитном поле.

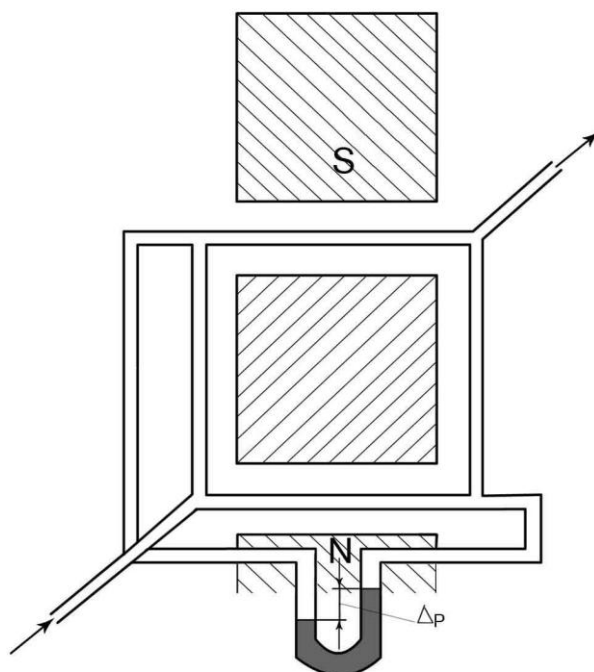


Рис.92.

Прибор представляет собой гидродинамический мост из капиллярных трубок. Две плечи этого моста находятся в магнитном поле постоянного магнита (рис.93).

В этих капиллярах вязкость газа изменяется, а следовательно изменяется скорость движения газовой смеси в капилляре и потери давления на нем. Перепад давления на вершине измерительной диагонали гидродинамического моста ΔP , пропорционален содержанию O_2 в газовой смеси.

$\Delta P = 0,5 \text{ мм в.ст.} = 5 \text{ н/м}^2$. Несмотря на простоту конструкции, эти приборы не нашли применения.

Во втором магнитно термокондуктометрическом, используется изменения теплопроводности газокислородной смеси в магнитном поле.

Теплопроводность газов определяется передачей энергии молекулами при столкновениях и является прямой функцией вязкости газов,

$$\lambda = \varepsilon \eta C_v$$

где ε - постоянный коэффициент;

C_v – теплоемкость газа при постоянном объеме.

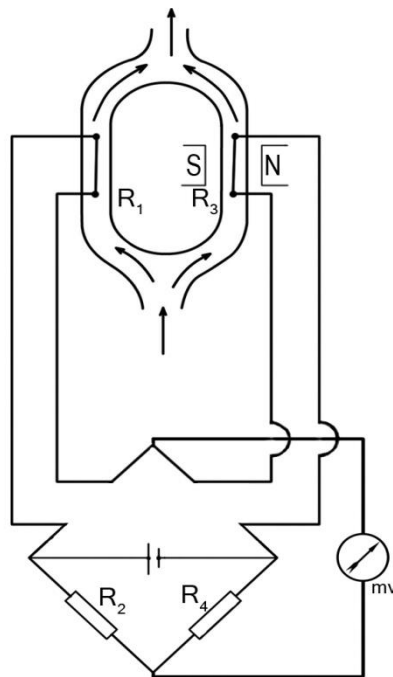


Рис.93.

Измерительная схема, это не уравновешенный мост, состоящий из постоянных сопротивлений R_2 и R_4 , а также R_1 , и R_3 – омываемых анализируемой газовой смесью. При изменении содержания O_2 в смеси за счет изменения теплопроводности, изменяется сопротивления R_3 и на вершинах измерительного моста появится сигнал разбаланса, пропорциональный этому изменению.

Однако при сравнительно больших напряженностях магнитного поля, теплопроводность газа может измениться только на 1%, что очень сложно измерить.

Магнитомеханические газоанализаторы

Если в неравномерное магнитное поле поместить тело, магнитные свойства которого отличны от магнитных свойств окружающей его измеряющей среды, то возникает сила, вытесняющая тело в места с большей или меньшей плотностью силовых линий, в зависимости оттого, что больше – объемная магнитная восприимчивость тела или среда.

Величина этой силы,

$$dF_x = (k_{m1} - k_{m2}) H_y \frac{dH}{dX} dv$$

где F_x –выталкивающая сила, действующая вдоль оси x;

k_{m2} , k_{m1} – объемная магнитная восприимчивость тела и среды;

H_y – напряженность магнитного поля вдоль оси y;

$\frac{dH}{dX}$ - градиент напряженности магнитного поля в направлении действия силы F_x ;

V - объем тела (ротора).

Рассмотрим схему магнито-механического газоанализатора с фотоэлектрической следящей системой (рис.95).

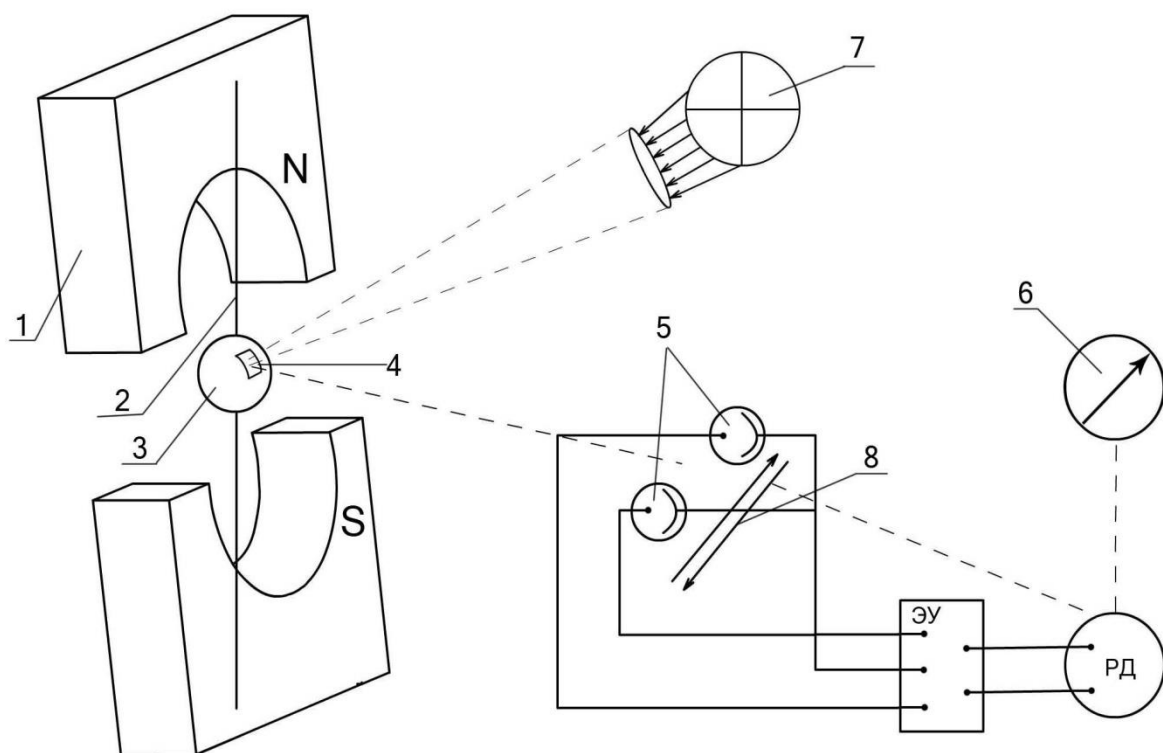


Рис.94.

В этом приборе в неоднородном магнитном поле, образованном постоянным магнитом 1, находится на подвесках 2 ротор (тело) 3 с зеркальцом 4. При изменении O_2 в газовой среде окружающий ротор, под воздействием возникающей при этом силы ($dF = f(k_1 - k_2)$) ротор поворачивается на определенный угол. При этом, лучи отбрасываемые зеркальцем 4 на фотоэлементы 5 перемещаются и на вход ЭУ поступает ток разбаланса, который усиливаясь вращает ротор РД. Ротор связан со стрелкой и кореткой фотоэлементов кинематически и следовательно ротор начинает перемещать фотоэлементы в сторону отклонения светового потока, пока не приведет фотоэлементы в положение, пропорциональное углу поворота зеркала 4. Таким образом, положение фотометрической следящей системы 5 всегда пропорционально углу поворота ротора 3, то есть, является мерой изменения объемной магнитной восприимчивости среды, которая пропорционально содержанию O_2 в анализируемой среде.

Существуют также, приборы использующие магнитоэлектрические методы компенсации момента вращения, для чего на роторе укрепляется обмотка состоящая из одного или нескольких витков. Сигнал к ним поступает непосредственно от ЭУ или через реохорд.

Существуют магнитомеханические газоанализаторы, основанные на сравнении магнитных свойств двух газов (рис.95).

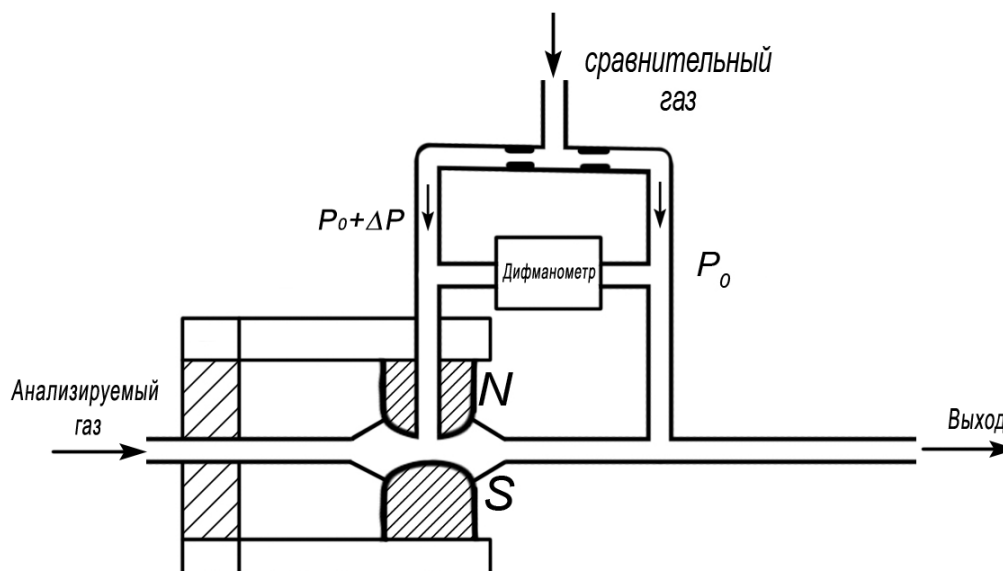


Рис.95.

В зазор магнита нагнетается два газа, анализируемый, содержащий кислород и сравнительный, обычно, соответствующий началу шкалы. При увеличении содержания O_2 в смеси усилия втягивания к постоянному магниту увеличивается. При этом выход сравнительного газа через отверстие (канал) на магнитном наконечнике будет уменьшаться, что приводит к увеличению ΔP , измеряемого дифманометром.

На этом принципе построена работа газоанализатора МГК-3 (рис.97).

Газовая смесь через фильтр 1 и вентиль 2 в определенном расходе, регулируемом ротаметром 3, поступает в измерительную камеру 8 с двух сторон. Сравнительный газ, стабилизированный (через ротаметр 4), подается в измерительную камеру 8 через каналы на магнитном наконечнике 5 и ложном магнитном (полюсном) наконечнике 7. При этом, с изменением содержания O_2 в анализируемой газовой смеси, пропорционально этому изменению, изменяется препятствие входа сравнительного газа в измерительную камеру, через полюсной наконечник 7. За счет увеличения давления в канале 11, по сравнению с каналом 12, возникает поток через термоанемометр 10, установленном на байпасе между каналами. Обмотки термоанемометра образуют смежные плечи неуравновешенного моста. При движении сравнительного газа через термоанемометр первое охлаждается, а второе нагревается, и равновесия моста нарушается.

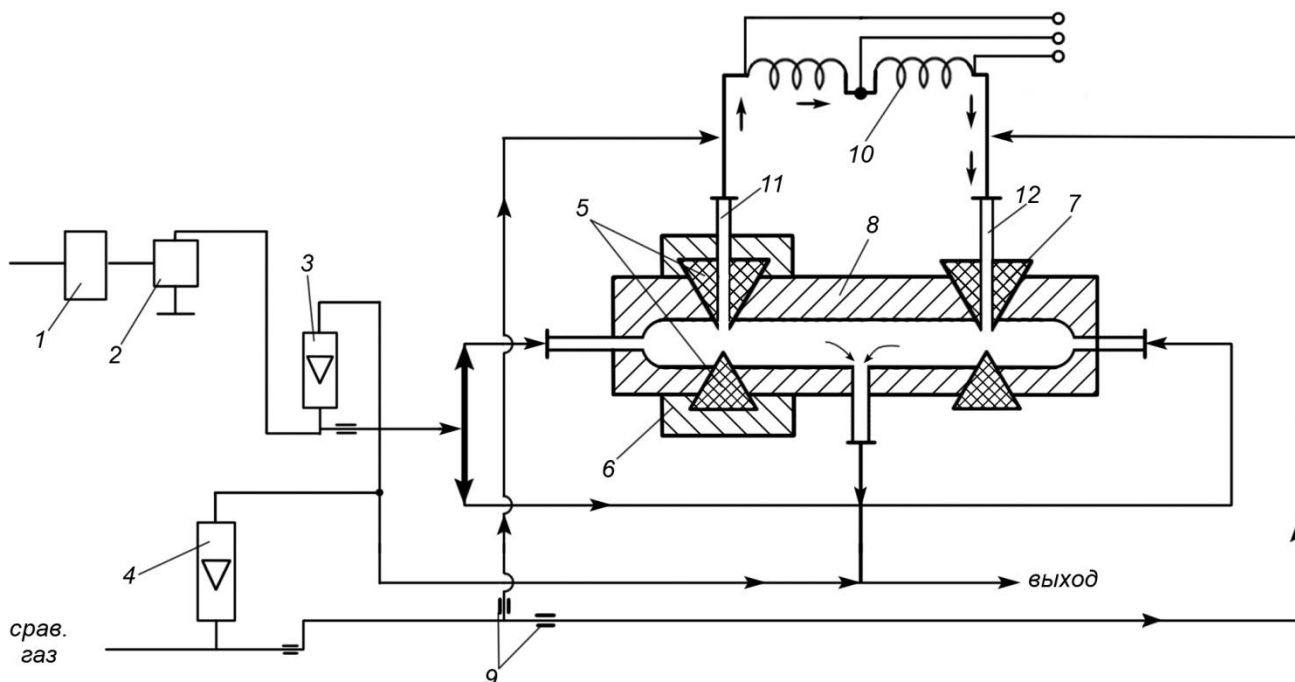


Рис.96.

В качестве вторичного прибора используются потенциометры.

Пределы измерения: 0-5; 0-10; 0-21; 0-50 и 15-45% O₂

Основная погрешность ±5% от диапазона шкалы.

Терромагнитные газоанализаторы

Наиболее приемлемым в промышленных условиях является терромагнитной метод, основанный на явлении терромагнитной конвекции.

Если нагретый электрическим током проводник, поместить в неоднородное магнитное поле, то с нагреванием газовой смеси вблизи проводника, объемная магнитная восприимчивость кислорода (O₂) уменьшается и образуется вынужденный газовый поток от больших напряженностей магнитного поля к меньшим.

Величина усилия втягивания определяется уравнением

$$dF_x = a \cdot k \cdot H \frac{dH}{dX} \cdot dV$$

где, а - постоянный коэффициент;

k – Объемная магнитная восприимчивость;

H – напряженность магнитного поля;

$\frac{dH}{dX}$ - градиент напряженности магнитного поля в направлении действия силы F_x;

V – объем газа.

А объемная магнитная восприимчивость определяется по уравнению (из закона Кюри):

$$k = \frac{CM}{R} \cdot \frac{P}{T^2}$$

R – Газовая постоянная;
 C - постоянная Кюри;
 M – молекулярный вес;
 P – давление газа;
 T – абсолютная температура газа.

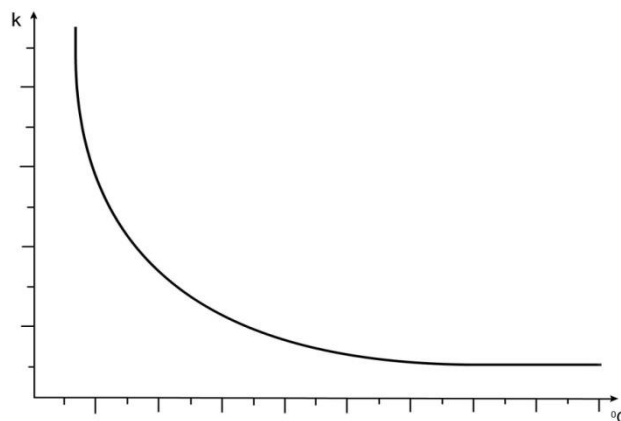


Рис.97.

Из этого уравнения следует, что с увеличением температуры, объемная магнитная восприимчивость уменьшается. Это приводит к возникновению вынужденного газового потока, в котором нагретая газовая смесь вытесняется холодной. Этот поток носит названия термомагнитной конвекции. Поток газовой смеси охлаждает чувствительный элемент, выполненный из металла с большим температурным коэффициентом сопротивления и тем самым изменяет его электрическое сопротивление, которое измеряется с помощью мостовой схемы.

К числу таких приборов относится магнитный газоанализатор кислорода МГК -2, газовая схема которого имеет вид:

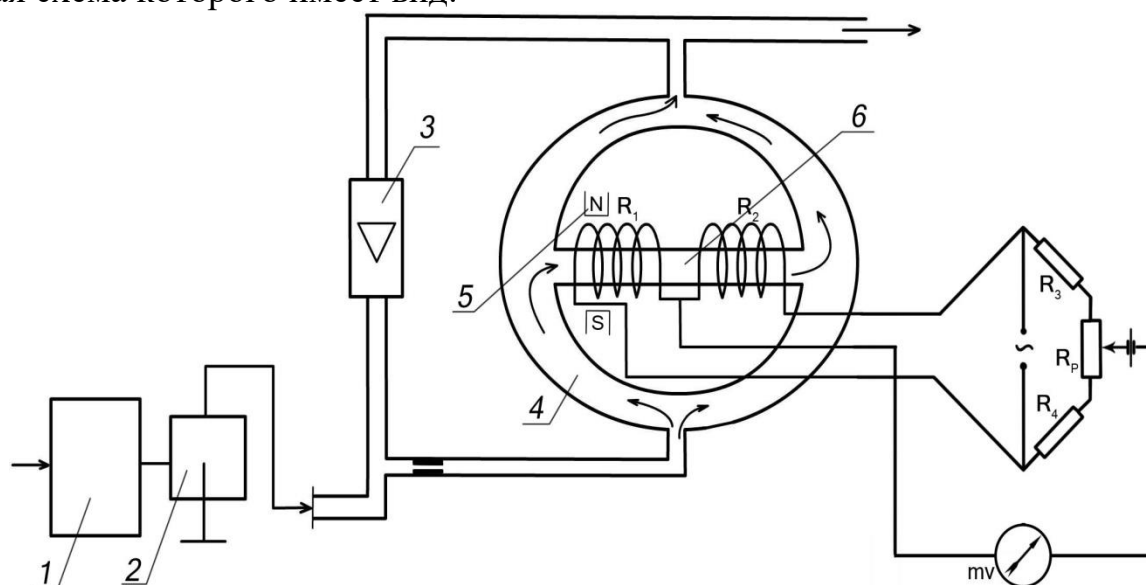


Рис.98. Магнитный газоанализатор кислорода МГК -2.

1- фильтр; 2 – игольчатый вентиль; 3 – ротаметр; 4 – кольцевая измерительная камера; 5 – постоянный магнит; 6 – перемычка.

Газовая смесь через фильтр, вентиль и ротаметр с определенным расходом поступает в датчик газоанализатора, который состоит из кольцевой камеры со стеклянной трубчатой перемычкой. На одной стороне измерительной перемычки помещен постоянный магнит. Стеклянная перемычка навита двухсекционной нагреваемой обмоткой из тонкой платиновой (нитью) проволоки. Секции обмотки, составляют плечи не уравновешенного моста, другими плечами являются постоянные

манганиновые сопротивления. При наличии в газе O_2 , часть потока ответвляется в перемычку, где образуется течения газа. Конвекционный поток переносит тепло от обмотки R_1 к R_2 (R_1 – охлаждается, R_2 нагревается) и изменится их сопротивления. Величина разности сопротивлений функционально связана с концентрацией O_2 в газовой смеси. Разбаланс моста измеряется вторичным прибором.

Датчик термостатирован ($\pm 1^\circ C$).

Предел измерения 0-5; 0-10; 0-21; 20-35%, основная погрешность $\pm 2,5\%$ от диапазона шкалы; запаздывания -90 секунд.

Для измерения больших концентраций применяется МГК -4.

Предел измерения 95-100; 90-1000; 80-100; 50-100 и 20-80% O_2 . Погрешность $\pm 5\%$. Электрическая схема газоанализатора имеет вид (рис.100):

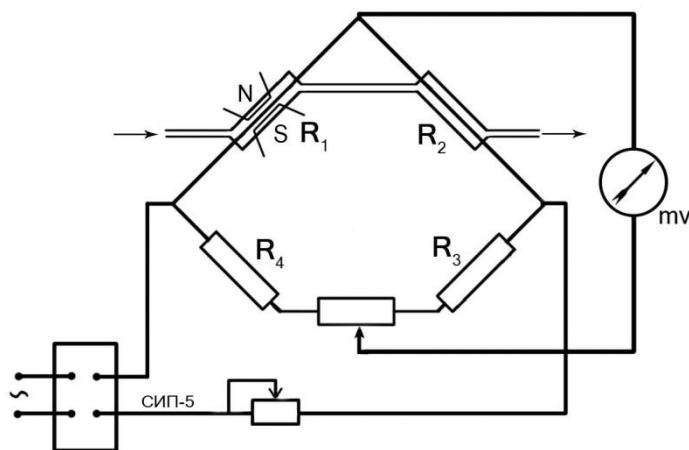


Рис.99.

Термомагнитному методу присущи следующие основные источники погрешностей:

1. Изменение температуры окружающей среды, влияющий на величину сопротивления R ;
2. Изменение давления анализируемой газовой смеси или атмосферного давления.
3. Изменение температуры нагрева чувствительного элемента (напряжения питания).
4. Изменение напряженности магнитного поля в результате старения магнита.

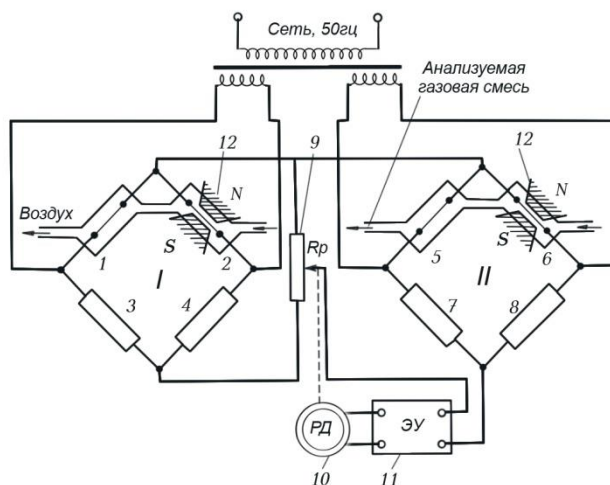


Рис.100.

Эти источники погрешности устраняются путем термостатирования, регулирования давления, применения различных стабилизаторов.

ГСКБ аналитического приборостроения, для приборов разрабатываемых у себя, применяют схемы автоматического компаратора напряжения (рис.100).

Оптические газоанализаторы

Принцип действие этих газоанализаторов основано, на измерении степени поглощения лучистой энергии в невидимой частях спектра тем или иным газом или жидким сорбентом, поглотившим газ. Различают газоанализаторы инфракрасного и ультрафиолетового поглощения и фотоколориметрические газоанализаторы.

Газоанализаторы инфракрасного поглощения

Газоанализаторы инфракрасного поглощения основаны на явлении поглощения газами и парами излучения в инфракрасной части спектра.

Это явления описывается уравнением Ламберта Бера, который для монохроматического излучения с длиной волны λ имеет вид,

$$\Phi_{\lambda} = \Phi_{0\lambda} \cdot e^{-\epsilon_{\lambda} \cdot C \cdot \ell} \quad \text{или,}$$

$$D_{\lambda} = Lp \frac{\Phi_{0\lambda}}{\Phi} \epsilon_{\lambda} \cdot C \cdot \ell$$

Где Φ_{λ} и $\Phi_{0\lambda}$ – потоки излучения выходящие и входящие в поглощающее вещество.

D_{λ} – оптическая плотность вещества;

ϵ_{λ} – молекулярный натуральный показатель поглощения;

C – концентрация поглощающего вещества;

ℓ – толщина слоя поглощающего вещества.

Приборы, основанные на этом явлении, работают следующим образом: Прерывистый поток инфракрасного излучения, проходя через тонкий слой анализируемой газовой смеси, теряет в нем часть энергии, пропорциональную содержанию в смеси определяемого компонента. Остаток энергии поступает в приемник излучения – лучеприемник, измеряющий величину этого остатка. В газоанализаторах инфракрасного поглощения обычно применяют лучеприемники, измеряющие энергию излучения только в спектре поглощения анализируемого компонента.

Явления возбуждения пульсаций давления газа в замкнутом объеме лучеприемника, при воздействии на этот газ прерываемого со звуковой частотой потока инфракрасного излучения получило название акустического эффекта. Частота пульсаций давления (высота тона звучания) газа зависит от частоты прерывания, а мощность пульсаций (сила звука) – от мощности потока лучистой энергии и поглотительной способности газа.

(Этот эффект звучания газов наблюдали Белл, Тиндалл и Рентген в 1881г.).

Несмотря на снижении частоты до 6 гц (от 200 гц), в современных газоанализаторах, названия «Оптико – акустический» остался за этими приборами.

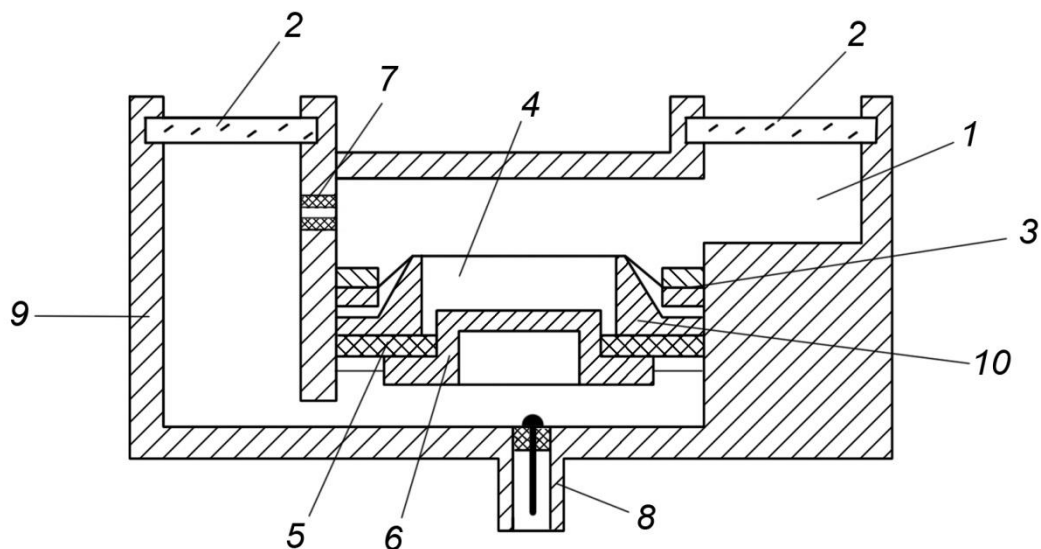


Рис.101.

1- камера лучеприемника; 2- окна; 3- зажимное кольцо; 4- мембраны из алюминиевой фольги; 5 – изолирующее кольцо; 6 – неподвижная обкладка конденсатора; 7 – компенсационный канал; 8 – выводной клемник под коаксиальный кабель; 9 – корпус лучеприемника; 10 – опорное кольцо.

В камере 1 лучеприемника, заполненной анализируемым компонентом, происходит поглощение остатка энергии, прерывистого инфракрасного излучения, что вызывает в объеме лучеприемника колебания температуры, сопровождаемым колебаниями давления. Эти колебания давления передаются на мембрану 4, конденсаторного микрофона лучеприемника, соединенного с соответствующей измерительной схемой.

Достоинством метода, основанного на поглощении инфракрасного излучения, является его почти полная универсальность, так как спектры поглощения почти всех веществ отличаются друг от друга. Только O_2 , H_2 и N не поглощают лучей инфракрасной части спектра, а для Cl и $Bг$ спектр поглощения лежит в области видимой части спектра.

В основу измерительной части промышленных газоанализаторов инфракрасного поглощения, положена дифференциальная оптическая схема.

Эти приборы состоят из двух идентичных оптических каналов, дифференциального лучеприемника 9 и 10, и двух источников инфракрасной радиации 1, излучения из которых направляются с помощью вогнутых зеркал 2, в оптические каналы.

Потоки радиации прерываются obtюратором 4 частотой 6 гц.

5- рабочая камера, через которую пропускают анализируемый газ; 6 – сравнительная камера, заполненная N или воздухом; 7,8 - фильтровые камеры, заполняются неопределяемыми (частями) компонентами газовой смеси. 9,10 – лучеприемные цилиндры лучеприемного устройства, заполняется определяемым компонентом газовой смеси.

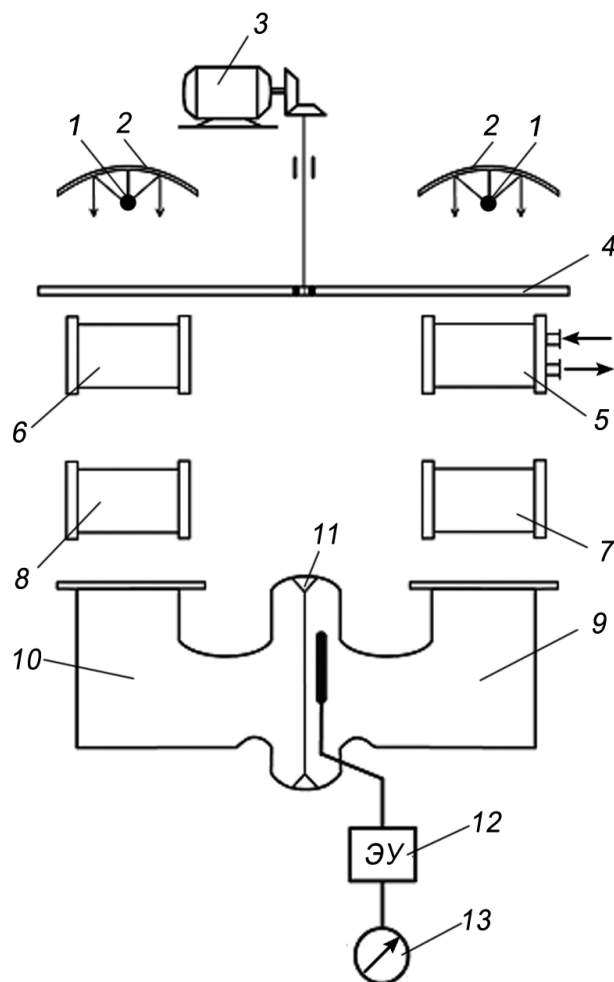


Рис.102.

Поток инфракрасных (радиации) лучей при прохождении через рабочую газовую камеру частично поглощается поступающий на анализ газовой смесью, в то время когда в сравнительной камере поглощения не происходит. В лучеприемные цилиндры лучеприёмного устройства по двум каналом поступают потоки излучения, разность значения которых зависит от концентрации измеряемого газа, протекающего через рабочую камеру. Под воздействием прерывистого излучения, поступающего в лучеприемные цилиндры, в последних возникают периодические колебания температуры заполняющего их газа и, соответственно, его давления, что преобразуется конденсаторным микрофоном, установленном в мерной камере, в напряжения переменного тока, которые усиливаются и регистрируется. Для уменьшения влияния неизмеряемых компонентов ими заполняют фильтровые камеры и часть энергии радиации, соответствующая полосам поглощения неопределяемых компонентов, поглощается в фильтровых камерах обоих каналов и в лучеприемное устройство не поступает.

В этом приборе использован метод непосредственного измерения. Существуют приборы, в которых используются нулевой метод сравнения с использованием оптической электрической или газовой компенсации.

Схема устройства оптико-акустического газоанализатора с электрической компенсацией

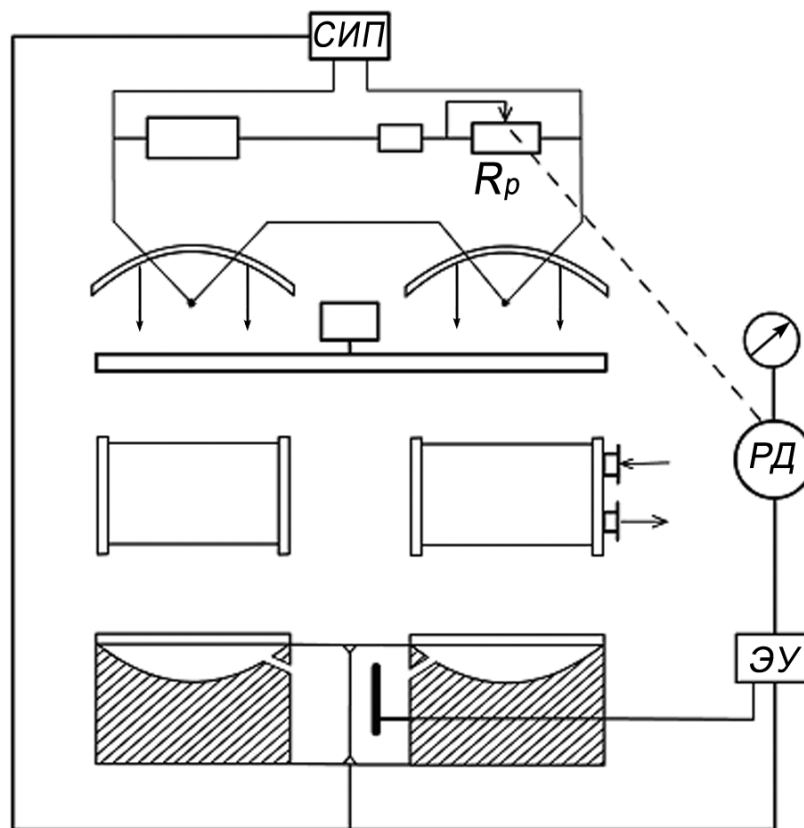


Рис.103.

ФВ – фазочувствительная выпрямитель.

С использованием такой схемы повышается чувствительность прибора и уменьшается погрешность измерения.

Выходное (сигнал) напряжение постоянного тока, с усилителя газоанализатора с определенной полярностью, подается на вход усилителя электронного компенсатора, работающего по принципу следящей системы, реверсивный двигатель РД которого перемещают движок реохорда, который включен в цепь питания одного из излучателей. Поглощение инфракрасной радиации в оптическом канале данного излучателя, компенсируется соответствующим увеличением накала последнего.

Каждому значению содержания анализируемого компонента соответствует определенное (значения) положение движка реохорда и стрелки прибора.

Схема газоанализатора инфракрасного поглощения с оптической схемой компенсации

Обычно эти приборы называются газоанализаторами инфракрасного поглощения (ГИП). В этой схеме компенсации равенство потоков радиации, нарушенное поглощением радиации газовой смесью в рабочем канале, восстанавливается с помощью оптической заслонки 1, вводимой в сравнительный канал. Каждому значению

содержания анализируемого компонента в газовой смеси соответствует определенное положения заслонки.

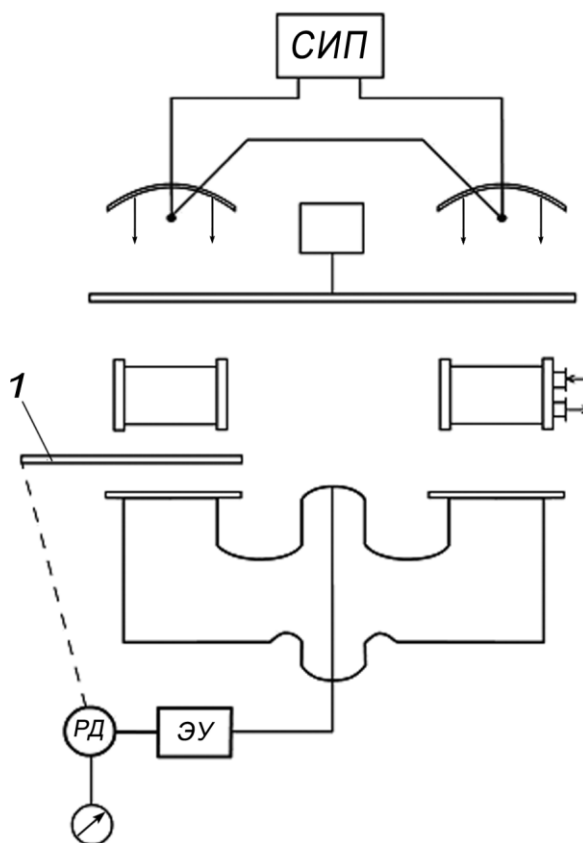


Рис.104.

Прибор ГИП–7 предназначен для определения содержания окиси углерода в воздухе и NH_3 в NH_3 – воздушной среде.

Газоанализаторы ультрафиолетового излучения

В этих газоанализаторах используется метод, основанный на поглощении некоторыми газами и парами излучения в ультрафиолетовой части спектра.

Используется для определения содержания хлора, сероводорода, двуокиси азота, паров ртути и другие.

Рассмотрим принципиальную схему, этого газоанализатора.

Схема построена по нулевому методу с электрической компенсацией (существуют также схемы с оптической схемой компенсации).

Газоанализатор имеет два оптического канала:

Первый канал-рабочий, который состоит из источника ультрафиолетового излучения 1, светофильтра 2, проточной камеры 4 с линзой 5 и рабочего фотоэлемента 7; второй канал– сравнительный, который состоит также из источника ультрафиолетового излучения 1, светофильтра 2, проточной камеры 4 с линзой 5 а также полупрозрачной пластинки 3 и сравнительного фотоэлемента 6.

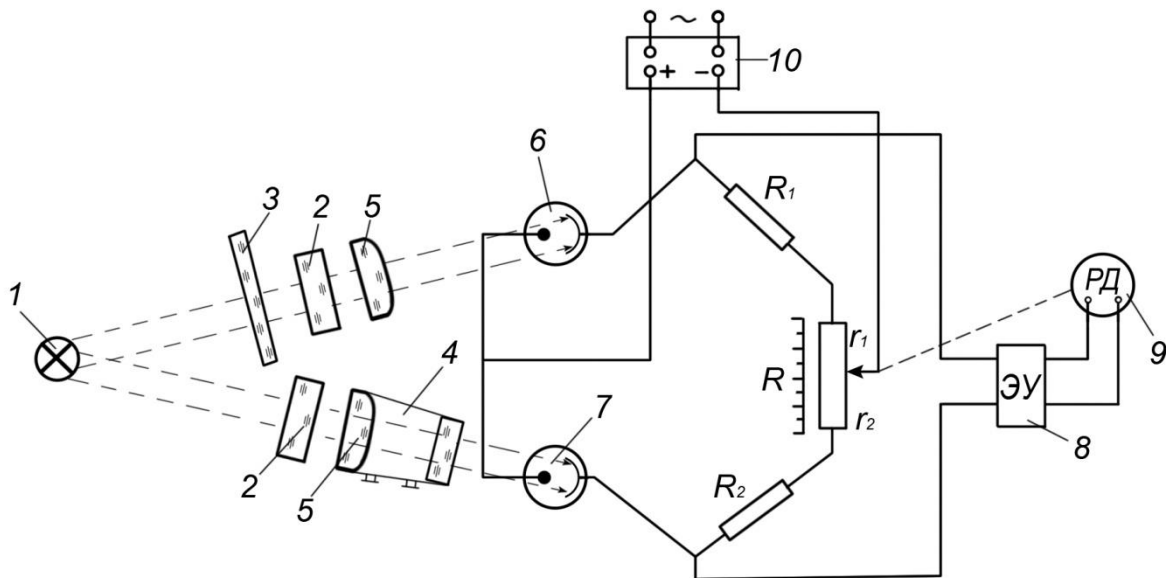


Рис.105.

При изменении содержания анализируемого компонента в газовой смеси, освещенность фотоэлементов будет не одинаково и мостовая схема, в две плечи которого включены фотоэлементы (6 и 7), выходит из равновесного состояния. Две другие плечи моста составляют постоянные сопротивления R_1 и R_2 и реохорд R . Через измерительный диагональ протекает ток разбаланса, пропорциональный содержанию анализируемого компонента в газовой смеси. Сигнал разбаланса усиливается в электронном усилителе 8 и подается в реверсивный двигатель, ротор которого вращаясь, перемещает движок реохорда R до наступления равновесия. При этом равновесие мостовой схемы достигается путем изменения напряжения, подаваемых на нижнюю и верхнюю ветвь, перемещением движка реохорда R (изменением соотношения r_1 и r_2 подключенных в две смежные плечи мостовой схемы).

Таким образом, положения движка реохорда R определяет, равновесие мостовой схемы, то есть содержание анализируемого компонента в газовой смеси, находящейся в кювете 4, так как значение этой концентрации определяет освещенность рабочего фотоэлемента 7. Полупрозрачная пластинка 3 служит для периодической проверки и установки нуля шкалы при пропускании через Кювету 4 контрольной нулевой смеси.

Существует также газоанализаторы ультрафиолетового поглощения с оптической компенсацией.

Недостатком этой измерительной схемы газоанализатора ультрафиолетового поглощения является наличие двух фотоэлементов, которые всегда имеют неидентичные характеристики и параметры (то есть трудность подбора двух фотоэлементов с одинаковыми характеристиками).

Существует также газоанализаторы типа УФ 6201 и УФ 6202, у которых используется один фотоэлемент (на выходе которого появляется пульсирующий фототок, частотой 50 гц).

Фотоколориметрические газоанализаторы

Принцип действие основан на цветной реакции между анализируемым компонентом газовой смеси и раствором заполняющим измерительную кювету.

Газоанализатор может быть выполнен периодического или непрерывного действия.

Газоанализаторы типа ФК (например, ФК -4501) имеют два оптических канала, в которые установлены рабочая и сравнительная кювета (рис.106).

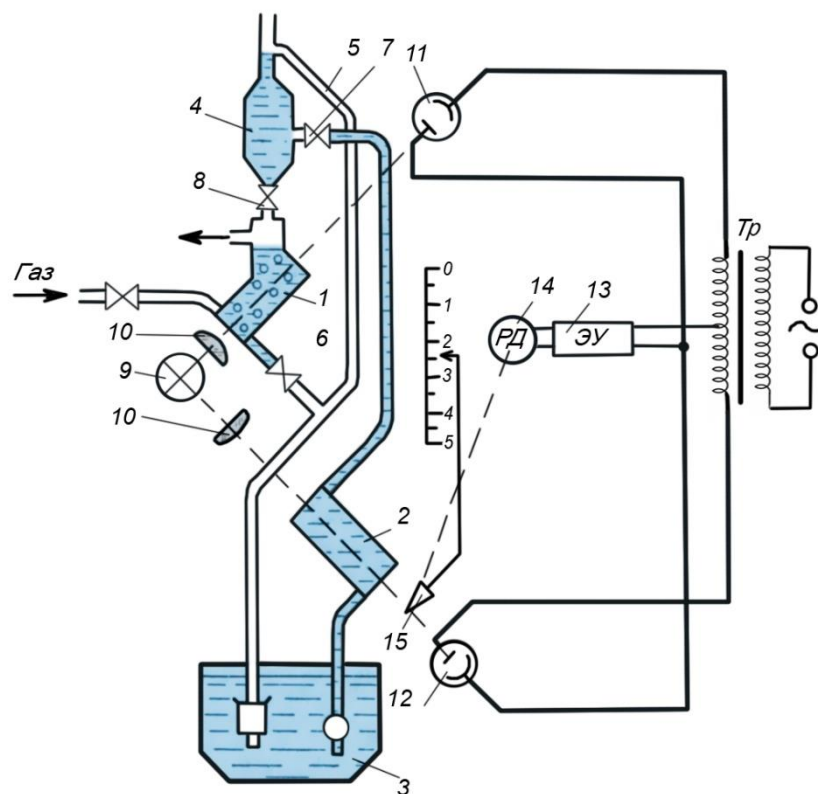


Рис.106.

1 и 2- рабочая и сравнительная кювета; 3 – резервуар с абсорбирующим раствором; 4 – дозатор; 5 – переливная труба; 6,7,8 – электромагнитные клапаны; 9 – осветитель; 10 – фиксирующие линзы; 11,12 – фотоэлементы; 13 – оптический клин.

Раствор из бака 3 насосом подается через сравнительную кювету 2 в дозатор 4, откуда излишки раствора переливаются через переливную трубку 5, обратно в бак. Через определенное время срабатывают электромагнитные клапаны 6,7,8. При этом, из рабочей кюветы сливается отработанный раствор и регенируется в баке 3. После опорожнения кюветы 1 срабатывают клапаны 7 и 8. При этом подача раствора в дозатор прекращается, и определенное количество абсорбирующего раствора подается в измерительную кювету. После чего опять срабатывают клапаны 7 и 8, и набирается новая порция раствора в дозатор.

В измерительной кювете через раствор барботируется исследуемый газ и происходит цветная реакция. При пропускании светового потока через кюветы 1 и 2 ослабление потока в сравнительном оптическом канале будет постоянно, а в рабочем

оно меняется в зависимости от содержания анализируемого компонента в газовой смеси.

За кюветами расположены фотоэлементы 11 и 12, воспринимающие световые потоки, прошедшие через растворы в кюветах. Фотоэлементы дифференциально включены на вход усилителя 4, усиливающего разностной сигнал двух фотоэлементов.

Усиленный сигнал поступает в реверсивный двигатель РД, ротор которого связан с компенсационным клином 13. Перемещение клина происходит до тех пор, пока оба фотоэлемента не получают одинаковую освещенность.

Величина перемещения оптического клина и связанной с ней стрелки прибора, является мерой концентрации определяемого компонента в анализируемом газе.

С помощью этих газоанализаторов можно определять содержание NO в коксовом газе, H_2S , $NO + NO_2$, NO_2 в воздухе. Основная погрешность $\pm 10\%$ от предела показаний.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРЫ

При анализе газов масс-спектрометрами используется основной физический параметр вещества – масса молекулы или атома, что дает возможность анализировать состав вещества независимо от их химических и физических свойств.

Действие масс-спектрометра основана на использовании различия траекторий или скорости полета положительных ионов анализируемого вещества, отличающихся отношением массы к заряду ($\frac{m}{e}$). Масс-спектрометрами можно быстро и точно анализировать многокомпонентные газовые смеси (определяют примесь, составляющую 0,001 % к основному газу).

Для анализа достаточно ничтожно малое количество пробы вещества. Получения спектра лучистой энергии сравнительно просто, но получение спектра материальных частиц требуют более сложного и разнообразного оборудования. Для масс-спектрального анализа требуется наличие высокого вакуума ($10^{-7} - 10^{-6}$ мм.рт.ст). В условиях высокого вакуума молекулы или атомы анализируемого вещества подвергаются ионизации, в результате которой образуются положительно заряженные ионы. Ионы, получая ускорения в электрическом поле разделяются в магнитном поле, или по времени пролета, или же по изменении их энергии. Сумма электрических зарядов движущихся ионов образуют ионный ток, измерение которого (создаваемого частицами той или иной массы) позволяет судить о величине концентрации частиц в общем составе анализируемого вещества.

Основной частью масс-спектрометра является масс-анализатор, в котором происходит основной процесс анализа: ионизация, формирование ионного луча, разделения его на составляющие ионные лучи, соответствующие строго определенным массам, и последовательное раздельное собирание ионных лучей на коллекторе.

По конфигурации и взаимной ориентации магнитных полей и электрических полей, а также по характеру изменения этих полей во времени масс-спектрометры делятся:

1. с разделением ионов в однородном магнитном поле;
2. с разделением ионов в неоднородном магнитном поле;
3. с разделением ионов по времени пролета;

4. Радиочастотные.

Масс-спектрометры с разделением ионов в магнитном поле

Рассмотрим принципиальную схему масс-спектрометра для анализа газа (рис.108).

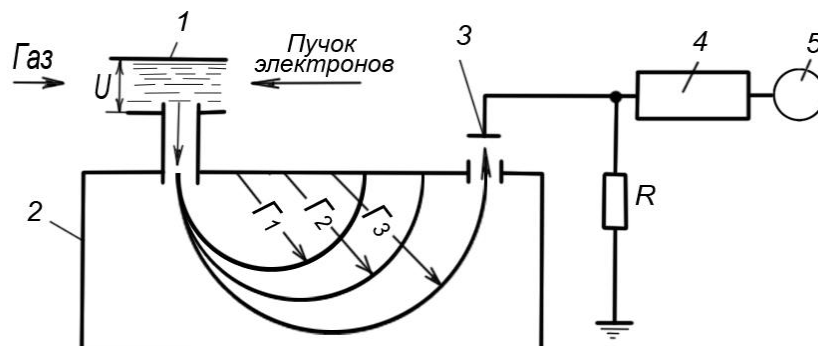


Рис.107.

1- ионизационная камера; 2- камера анализатора; 3- коллектор; 4- усилитель постоянного тока; 5 – измерительный прибор.

В данной схеме хорошо иллюстрируется разделение ионов при помощи однородного 180° магнитного поля. В ионизационную камеру 1, под глубоким вакуумом подается анализируемая газовая смесь. Молекулы газа подвергаются бомбардировке пучком электронов. Получающиеся при этом положительные ионы, обладают одинаковым положительным зарядом « e », но различной массы « m » и имеют незначительную начальную энергию. Под действием электрического поля, обусловленного приложенной к стенкам ионизационной камеры разности потенциалов U , ионы получают ускорения и вылетают с определенной скоростью через щель ионизационной камеры. Далее, ионы попадают в камеру 2 анализатора, где действует однородное магнитное поле с вектором напряженности H , направленным перпендикулярно плоскости чертежа.

В зависимости от величины напряженности H , скорости входа ионов, то есть от величины разности потенциалов U , а также от массы m , различные ионы опишут траектории различных радиусов r_1, r_2, r_3, r_4 и т. д.

При постоянных значениях напряженности H , разности потенциалов U и e , в выходную щель камеры 2 и на коллектор попадают ионы с определенными значениями m . Попадая на коллектор, соединенный через сопротивление R с землей ионы отдают свои заряды. Ионный ток создает на сопротивлении R падения напряжения. Возникающий импульс усиливается усилителем постоянного тока 4 и передается на измерительный прибор 5.

Изменяя H и U на коллектор ионов можно направить ионы различных масс, то есть ионы различных компонентов газа, записать кривые (пики) на диаграмме измерительного прибора. Высота пиков и определяет содержания компонентов.

Радиус траекторий ионов $-r$, определяется из условия равновесия центробежной силы F_1 и силы F_2 действующий на ион со стороны магнитного поля.

$$F_1 = \frac{mV^2}{r}; \quad F_2 = HeV \quad V - \text{скорость иона}$$

$$\text{то есть, } \frac{mV}{r} = He \quad V = \frac{Her}{m} \quad V = rH\frac{e}{m}$$

В масс-спектрометре ионы, приобретающие свою скорость под воздействием электрического поля с потенциалом U имеют потенциальную энергию eU . Потенциальная энергия полученная ионом, должна быть равна его кинетической энергии, то есть

$$eU = \frac{mV^2}{r} \quad \text{откуда} \quad V = \sqrt{\frac{2e}{m}U};$$

Подставляя значение V в предыдущее уравнение

$$\frac{Her}{m} = \sqrt{\frac{2e}{m}U};$$

и решая относительно r получим,

$$r = \frac{1}{H} \sqrt{2U \frac{m}{e}}$$

Из этого уравнения видно, что изменения H и U , из газовой смеси можно выделить ионы с определенными значениями отношения m/e , описывающие траекторию определенного радиуса.

Выпускается масс-спектрометр МХ – 1302.

Масс-спектрометры с разделением по времени пролета ионов

Эти масс-спектрометры основаны на принципе разделения ионов по времени их пролета в пространстве, свободном от электрических и магнитных полей.

Ионы различной массы достигают собирающего коллектора с помощью фокусирующей и ускоряющей систем за различные промежутки времени.

Время пролета ионов определенного пространства (расстояния) определяется из соображений

$$\text{Скорость ионов,} \quad V = \frac{\ell_0}{\tau};$$

Если учесть, что $V = \sqrt{2U \frac{e}{m}}$, то подставив его в предыдущее уравнение и решая относительно τ получим

$$\tau = \ell_0 \sqrt{\frac{1}{2U}} \frac{m}{e}$$

Из этого уравнения видно, что для различных масс частиц, время пролета различна, а для частиц одинаковых масс, при постоянном L_0 и U , время пролета постоянна. Эти масс-спектрометры состоят из 4^х основных частей: источника ионов, пространства дрейфа, приемника ионов и вспомогательного оборудования.

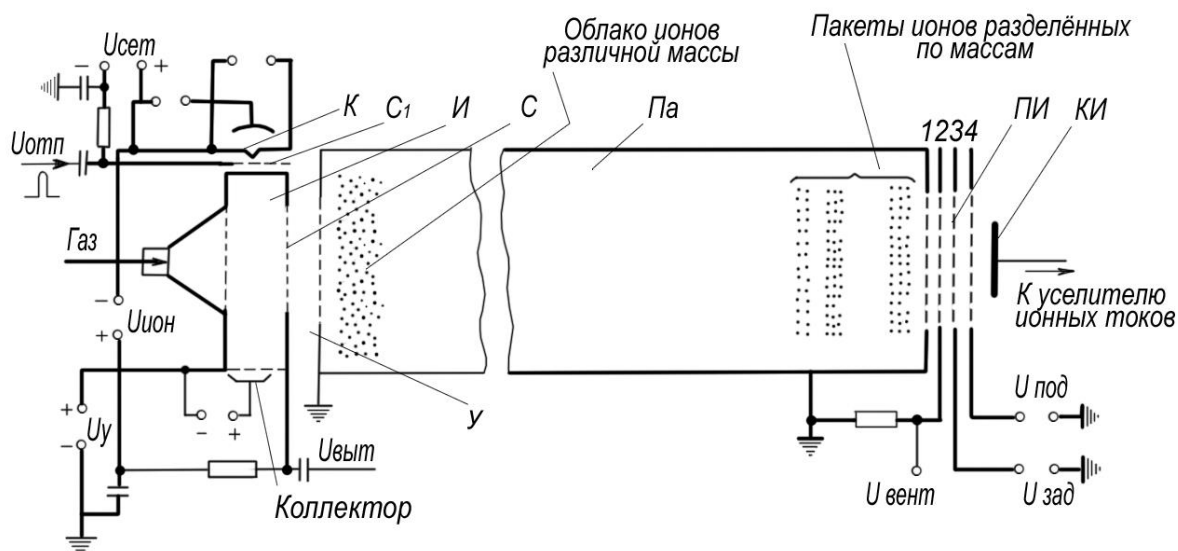


Рис.108.

Газовая смесь подается в источник ионов «У», где ионизируются потоком электронов, вылетающих из раскаленного катода К. Ионизация создается напряжением $U_{ион.}$, при наличии импульса напряжения $U_{отп.}$ длительностью 1 микросекунд, подаваемого на сетку C_1 . Для запираания электронного потока при отсутствии импульсов на сетку подается запирающее напряжение $U_{сет.}$

(Конденсатор пропускает переменное составляющее подаваемого сигнала, а постоянное составляющее не пропускает).

В конце ионизирующего импульса на сетку С подается выталкивающий импульс отрицательного напряжения $U_{выт.}$ длительностью 1,5 микросекунд, заставляющий перейти ионы в ускоряющее пространство У. Под действием ускоряющего напряжения U_y ионы приобретают дополнительную энергию и вылетают в пространство дрейфа P_d , в котором распределяются по скорости пролета и ионы различной массы достигают приемника ионов ПИ в различные моменты времени.

Приемник ионов состоит из коллектора ионов КИ и системы сеток 1, 2, 3 и 4. Сетка 1, защищает пространство дрейфа от электрических полей со стороны приемника. На сетку 2 подается импульс выталкивающего напряжения $U_{вент.}$, который обеспечивает коротко временный вентильный эффект, без которого ионы заданной массы не могут преодолеть тормозящего поля, образующего между сетками 2 и 3, из-за положительного задерживающего потенциала $U_{зад.}$ подаваемую на сетку 3.

Сетка 4 задерживает вторичные электроны, для этого на нее подается подавляющие напряжения $U_{под.}$ Изменение момента времени подачи вентильного импульса на сетку 2 позволяет пропускать на коллектор ионов, ионов различных масс и

измерят ионный ток, являющийся мерой концентрации анализируемого компонента газовой смеси.

(Время пролета ионов в пространстве дрейфа P_d , равно времени между выталкивающим импульсом в источнике ионов и вентильным импульсом в приемнике).

Выпускается масс-спектрометр с разделением ионов по времени пролета типа МХ – 5201, который одновременно может определять содержания шести компонентов в газовой смеси. Погрешность $\pm 5\%$.

ХРОМАТОГРАФИЯ ГАЗОВ

Хроматография газов также применяется для анализа многокомпонентных газов.

Хроматографией газов называют совокупность методик разделения сложных газовых смесей, основанных на различии в скорости движения компонентов по слою сорбента. По природе сорбента различают газо-адсорбционную, газораспределительную (газожидкостную) и капиллярную хроматографию.

При газо-адсорбционной хроматографии в качестве сорбентов используется пористые вещества (активированный уголь, силикагель, окись алюминия и т.п.). При этом скорость разделения газовой смеси определяется селективностью сорбента к отдельным компонентам. В газораспределительной хроматографии используется нелетучие растворители, которые наносятся на пористые твердые носители с большой поверхностью. Капиллярная хроматография является одной разновидностью газораспределительной хроматографии. При этом на внутреннюю поверхность капилляра, откуда пропускается анализируемая газовая смесь, наносится нелетучий растворитель.

Рассмотрим принцип хроматографического разделения.

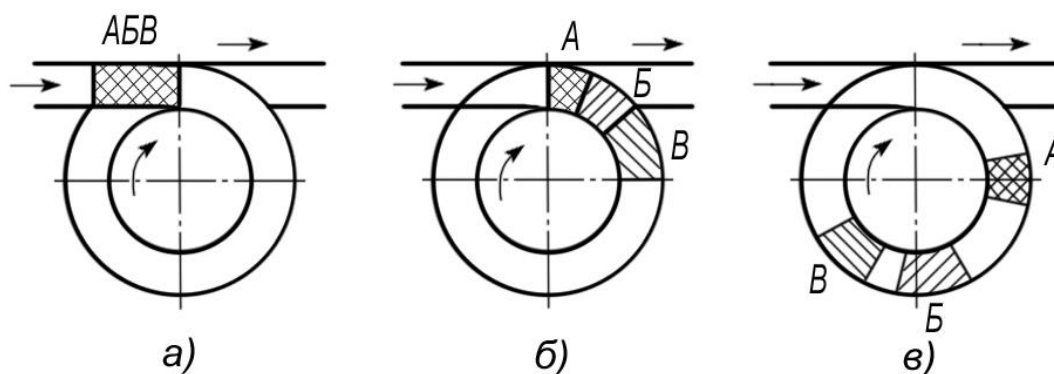


Рис.109.

Проба газа состоящая из 3^x компонентов, перемещается газом носителем через разделительную колонку. При этом компоненты смеси имеющие различную сорбируемость (растворимость) замедляются по разному и компоненты начинают разделяться, а через некоторое время различие в скоростях движения приведет к их полному разделению. Из разделительной колонки хроматографа будут выходить или газ-носитель, или компонент, что фиксируется детектором.

Установка для хроматографии газов состоит из следующих основных элементов. Разделительной колонки с неподвижной фазой, источника для подвижной газовой фазы и устройства для фиксирования разделенных газов- детектора. Кроме этих основных

элементов имеются вспомогательные приспособления: для введения пробы, приборы для контроля и регулирования давления газа и газового потока, а также, термостаты, для обеспечения постоянства температуры колонки и детектора.

Блок схему для хроматографии газов можно представить в следующем виде (рис.109).

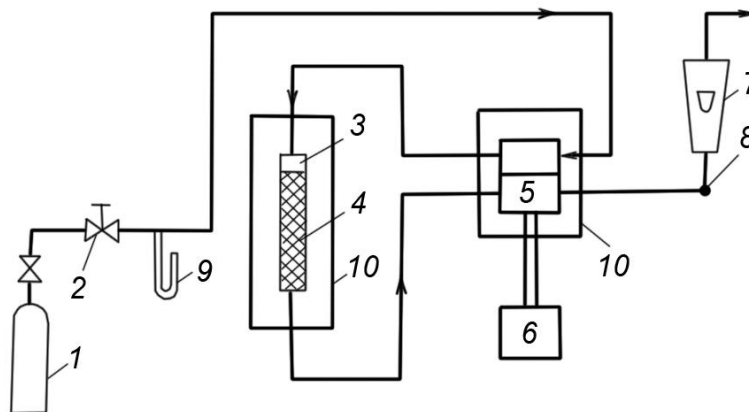


Рис.109.

- 1- газовый баллон; 2- вентиль тонкой регулировки; 3- манометр;
4- разделительная колонка; 5 – детектор; 6 – термостат; 7- ротаметр;
8- регистрирующий прибор.

Небольшая проба смеси газов, при помощи специального приспособления вводится в разделительную колонку 4. Через колонку непрерывно пропускают поток инертного газа, который перемешивает газообразные компоненты с различными скоростями. В результате компоненты газовой смеси покидают колонку в виде отдельных «полос», разделенных зонами газа носителя. Состав газового потока определяется детектором 5.

Основные элементы газохроматографических установок

Хроматографическая колонка представляет собой трубку из стекла, меди, латуни, нержавеющей стали с внутренним диаметром 4-8 мм и длиной до несколько метров и имеет форму прямую, U- образную, W- образную и спиралевидную. В капиллярных колонках применяются колонки из капилляра диаметром 0,2 – 0,35 мм и длиной до 300 м. По сравнению с обычными колонками капиллярные характеризуются небольшим временем анализа и более высокой эффективностью разделения, так что можно применять менее селективные жидкости. Однако, применении капиллярных хроматографов ограничено в связи с тем что, его объем на 2-3 порядка меньше чем у колонны с набивкой, то для нее необходим детектор с чувствительностью на 2-3 порядке выше, чем применяемый в обычной хроматографии.

Детекторы.

Детектор является одним основным и важным элементом хроматографа. Он преобразует изменение состава газа, выходящего из колонки в электрический или пневматический сигнал. От детектора зависят чувствительность и точность

хроматографа, параметры хроматографической колонки, величина пробы, условия проведения анализа (t , v и др), разделительная способность установки.

Детекторы подразделяются на интегральные и дифференциальные.

Интегральным детектором измеряется суммарное количество компонента, прошедшее за цикл анализа. К ним относятся детекторы, действие которых основано на титровании раствором, на непосредственном определении объема выделяющего вещества. Выходная кривая интегрального детектора представляет серию ступеней.

Преимущественно применяются дифференциальные детекторы, которыми определяется концентрация в данный момент времени. Они непрерывно измеряют концентрацию в зависимости от физического или физико-химического свойства потока.

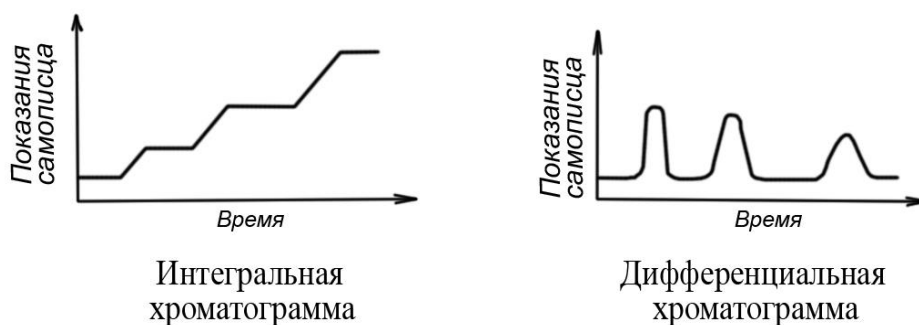


Рис.111.

По мере того, как физическое свойство потока между двумя полосами приближаются к свойствам чистого газа – носителя, выходные кривые получают форму пиков, расположенных на горизонтальной линии.

К детектору предъявляются следующие требования:

1. Высокая чувствительность, для определения микропримесей и возможность анализировать смеси малого количества пробы;
2. Малая инерционность, малый объем и воспроизводимость показаний (результатов);
3. Линейная зависимость показаний детектора от свойств анализируемых веществ;
4. Независимость показаний от P , t и V газа;
5. Непрерывность измерения;
6. Простота конструкции.

Термокондуктометрический детектор. (по теплопроводности) Является наиболее распространенным благодаря универсальности, простоте, легкости записи и чтения хроматограммы.

Измерительная схема детектора представляет собой не уравновешанный мост, два плеча которого выполнены из платины или вольфрама, а две другие из манганина.

Детекторы могут быть диффузионными, проточными и полупроточными.

Чаще всего применяются полупроточные детекторы, т.к. диффузионные имеют большую инерционность, а в показания проточного детектора оказывает влияние изменение скорости потока.

В схемах термокондуктометрического детектора полупроточного типа, могут быть использованы точечные полупроводниковые термосопротивления.

При использовании термокондуктометрического детектора необходимо поддерживать постоянную температуру давление и расход газа.

Термохимические детекторы. Основаны на измерении теплового эффекта сгорания горючих компонентов. Тепловой эффект измеряется двумя платиновыми нитями. Одна из нитей расположена в потоке выходящего из хроматографической колонки газа-носителя и на ней сгорают горючие компоненты, а другая (сравнительная), защищена от непосредственного контакта с газовой смесью. (Измерительная схема детектора аналогично термохимическому газоанализатору). Обе платиновые нити расположены в одном металлическом блоке и нагреты до 500-600°C. Преимуществом этого детектора является высокая чувствительность и возможность использования воздуха в качестве газа-носителя.

Недостатки: невозможность детектирования негорючих компонентов и изменение каталитической активности платины, что вызывает частую смену плечевых элементов.

Пламенные детекторы. Принцип действие пламенных детекторов основана на измерении с помощью термопары температуры водородного пламени, в котором сжигается анализируемая газовая смесь. Водород является или газом носителем или вводится в газовый поток дополнительно, между колонкой и детектором. Изменение температуры прямо пропорционально количеству анализируемого вещества и линейно зависит от его молярной теплоты сгорания.

В этих детекторах необходимо сохранять постоянное расстояние между горелкой и термопарой, т.к. от этого зависит чувствительность детектора.

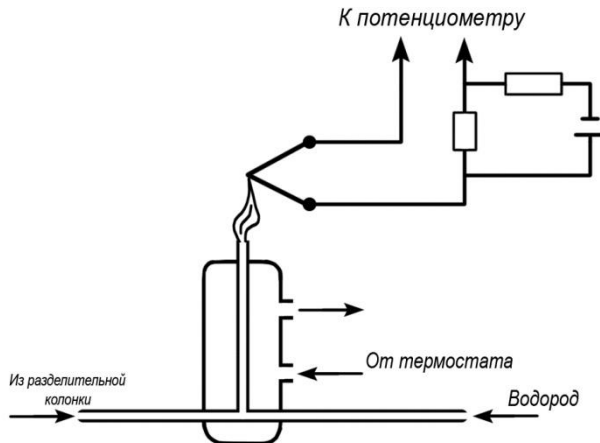


Рис.112.

Пламенные детекторы отличаются мало инерционностью.

Недостатки: работа с водородом создает дополнительные трудности, влиянии на показания изменение расхода газа-носителя.

Существуют также **пневматические детекторы**, основным преимуществом которых является возможность работы во взрывоопасных производствах.

Дозаторы, которые используются в хроматографической установке, предназначены для отмеривания постоянного объема вводимой пробы. Они в значительной мере определяют воспроизводимость анализов хроматографической

установки. Газовые пробы обычно вводятся с помощью автоматически управляемого шести ходового крана, с фиксированным объемом.

Термостатирование колонки и детектора обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов и позволяет проводить количественный анализ по высоте пиков. Температура термостатирования зависит от свойств компонентов газовой смеси. Увеличение температуры в процессе анализа позволяет резко сократить время анализа тяжелых компонентов.

Для термостатирования применяются воздушные и масляные термостаты. Обычно точность термостатирования $0,05 - 0,1^{\circ}\text{C}$.

Газовые хроматографы

Промышленный автоматический хроматограф ХПА -2.

Хроматограф предназначен для непрерывного анализа смеси углеводородных газов непосредственно на промышленных технологических установках.

Этот хроматограф состоит из 4^х основных частей: датчика, панели подготовки газов, регистратора и панели управления (рис.114).

Анализируемый газ из пробоотборной линии подводится к панели подготовки газа. Редукторами высокого (1) и низкого (2) давления, давление газа снижается до 1,2-1,6 кгс/см². Часть газа отбрасывается в атмосферу через игольчатый вентиль 5.

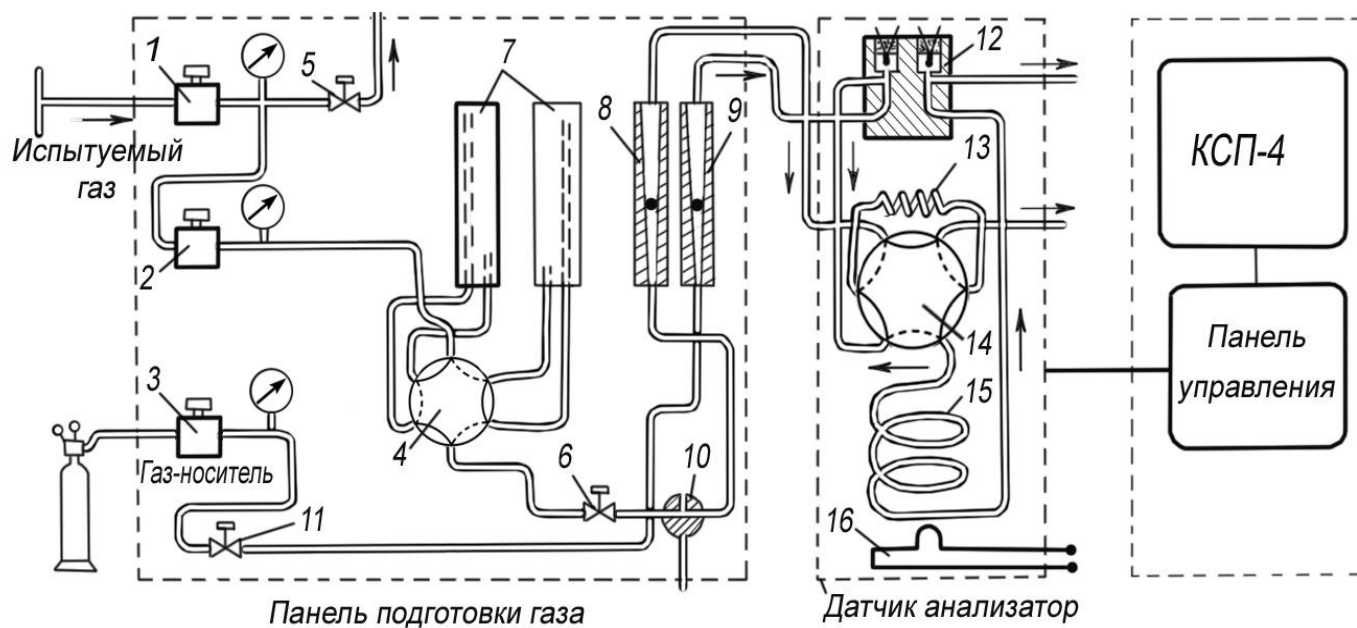


Рис.113.

Далее газ проходит через один из фильтров 7, заполненных аскаритом и очищается от сернистых соединений и влаги. Переключение фильтров осуществляется с помощью ручного переключателя 4. Игольчатый вентиль 6 и трехходовой кран 10 предназначены для подачи в датчик эталонного газа при поверки и градуировки прибора. Расход анализируемого газа измеряется ротаметром 8. Газ поступая в датчик, сначала подогревается и далее поступает пробоотборный кран 14, обеспечивающий дозированный объем пробы. Газ проходит через дозирочный спираль 13 в атмосферу.

Отмеренная проба вносится в разделительную колонку газом носителем, вытесняющим её из дозирочной спирали. Газ носитель поступает через редуктор 3, игольчатый вентиль, ротаметр 9 и сравнительную ячейку детектора 12. Давление газа носителя 2-3 кгс/см², расход – 0,0007 см³/сек. Пробоотборный кран переключается автоматически с панели управления. При переключении крана анализируемый газ уходит в атмосферу не попадая в дозирочный спираль 13. Дозированный объем газа вытесняется газом носителем в разделительную колонку 15 для анализа. Разделенный по отдельным компонентам газовая смесь подается в измерительную ячейку детектора 12.

Постоянная температура в датчике поддерживается с помощью электронного регулятора, находящегося в панели управления, который включает или выключает электроподогреватель 16.

Разделительная колонка выполнено из нержавеющей трубки диаметром 6-8 мм., длиной 2-8 м. В качестве регистрирующего прибора используется автоматический электронный потенциометр.

Вакуумный автоматический хроматограф ХВА-2

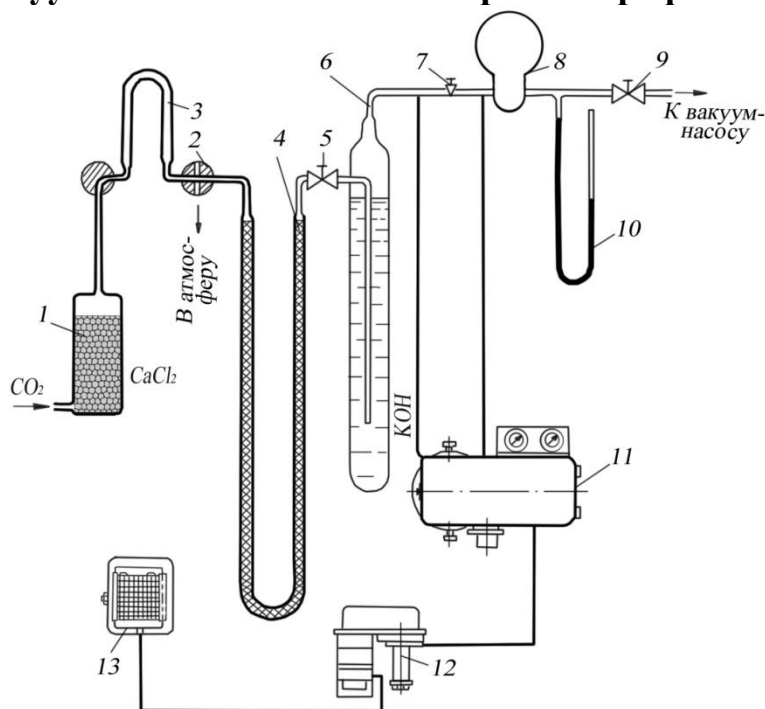


Рис.114.

1-осушитель; 2- кран дозатора; 3-дозатор; 4- разделительная колонка; 5 и 7 вентили; 6 –сосуд с щелочью; 8-форвакуумный баллон; 9- вентиль вакуум отсоса; 10 – вакуумметр; 11- дифманометр; 12- вторичный прибор.

Сущность метода заключается в том, что газ носитель CO₂ поглощается раствором КОН в измерительной емкости, а компоненты газовой смеси постепенно собираются над щелочью. Количественная оценка сводится к измерение объема компонентов.

Проведения анализа сводится к следующему. Перед введением пробы система продувается углекислым газом для удаления воздуха. Затем с помощью вентили 9 задается требуемое разрежение, которое контролируется вакуумметром

10. Затем вентилем 7 перекрывается участок системы, соединяющий положительную и отрицательную камеры дифманометра 11. Закрывается вентиль 9. Дозатором 3, в разделительную колонку подается определенное количество анализируемого газа с помощью газа-носителя (). По мере прохождения газа через разделительную колонку 4, газ начинает разделяться на отдельные компоненты и в сосуд 6 с щелочью (КОН) поступает или компонент, или CO_2 , которое поглощается щелочью КОН. Выделенные компоненты собираются в сосуде 6. Давление от выделенных компонентов преобразуется дифманометром 11, в пропорциональный сигнал, которое регистрируется вторичным прибором 12. Зная заранее сорбируемость отдельных компонентов газовой смеси, по ступенькам можно определять содержание анализируемых компонентов.

Проведение анализа под разряжением увеличивает чувствительность детектора, а 100 колонки и детектора обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов.

ПОТЕНЦИОМЕТРИЯ

К потенциометрии относятся методы контроля концентрации растворов, основанные на измерении электродных потенциалов. Измерительная ячейка потенциометрического концентратомера является гальваническим элементом, ЭДС которого однозначно определяется (зависит) концентрацией контролируемого вещества в анализируемом растворе. Потенциометрический метод может быть использован для измерения активной концентрации различных ионов в растворах электролитов. При этом каждый раз необходимо подбирать материал индикаторного электрода, для которого определяемый ион был бы потенциал-определяющим.

При погружении электрода в раствор, в результате перехода катионов в раствор, между металлом и раствором образуется двойной электрический слой. Отрицательно заряженная поверхность металлического электрода соприкасается с положительно заряженным слоем раствора. Внутри двойного электрического слоя создается некоторая разность потенциалов.

При погружении металлического электрода в раствор на границе (металл) электрод - раствор возникает скачок потенциала, величина и знак этого скачка зависят от природы металла и растворителя, от концентрации катионов в растворе и определяется законом Нернста

$$E = \frac{RT}{nF} \ln \frac{P}{p}$$

где, R- универсальная газовая постоянная;

T – Абсолютная температура раствора;

n – Валентность металла;

F – Число Фарадея (заряд грамм-эквивалента ионов, равный 95 600к);

P – Электролитическая упругость растворения металла электрода;

p – Осмотическая давление катионов металла в растворе.

Если учесть, что можно считать величину давления пропорциональным концентрациям атомов металла в электроде C и катионов металла в растворе c , то можно записать,

$$E = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C}{c} = \frac{RT}{nF} \ln C - \frac{RT}{nF} \ln c$$

Т.к. концентрация атомов металла в электроде практически постоянна, то

$$E = E_0 - \frac{RT}{nF} \ln c$$

Таким образом, скачок потенциала на границе электрод – раствор пропорционально концентрации катионов металла в растворе.

Измерить электродный потенциал можно составив гальваническую цепь, для этого необходимо использовать второй – сравнительный электрод, потенциал которого должен оставаться постоянным при изменении концентрации. ЭДС измерительной ячейки равно алгебраической сумме

$$E_{\text{яч}} = E_{\text{изм}} + E_{\text{ср}} \quad \text{или}$$

$$E_{\text{яч}} = E_{\text{ср}} + E_0 + \frac{RT}{nF} \ln c \quad \text{т.е. } E_{\text{яч}} = f(c)$$

В качестве сравнительных электродов используется хлорсеребряные и каломельные электроды.

Стандартным сравнительным электродом при потенциометрических измерениях считается каломельный электрод.

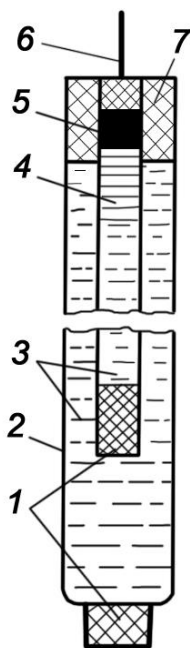


Рис.115.

1- полупроницаемая пробка; 2- корпус; 3-раствор KCl ; 4- слой каломели (Hg₂Cl₂); 5-слой ртути; 6 – выходной контакт; 7 – пробка;

Этот электрод представляет собой сосуд, в котором находится слой чистой малорастворимой каломели. Остальная часть сосуда заполнена раствором хлористого калия.

Для контакта с ртутью в дно сосуда впаяна платиновая проволока. Скачок потенциала в этом электроде образуется на границе ртуть-каломель и зависит от концентрации ионов ртути в растворе каломели. Константа диссоциации для каломели равно

$$K_{\text{Hg}_2\text{Cl}_2} = \frac{a_{\text{Hg}^+}^2 \cdot a_{\text{Cl}^-}^2}{a_{\text{Hg}_2\text{Cl}_2}}$$

Каломель слабо растворяется и диссоциирует, поэтому концентрация ее не диссоциированных молекул можно считать постоянной. Следовательно, ионное произведение каломели также является постоянной величиной и потенциал ртути можно выразить через концентрацию ионов хлора

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln a_{\text{Hg}^+} = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{K_{\text{Hg}_2\text{Cl}_2}}{a_{\text{Cl}^-}}$$

Концентрация a_{Cl^-} – зависит от концентрации хорошо растворимой соли KCl. Обычно для поддержания постоянным a_{Cl^-} , используется насыщенный раствор KCl.

Хлорсеребряные сравнительные электроды применяются редко, только в тех случаях, когда применение каломельного электрода нежелательно (например, в пищевой промышленности).

Наибольшее распространение потенциометрический метод получил для определения активной концентрации ионов водорода. Водород, как и все металлы, способен образовать только положительные ионы. В этом отношении ему относятся все, выводы теории Нернста. Такое сходство свойств водорода и металлов позволяет использовать его при контроле активной концентрации ионов водорода, т.е. величины pH, которая характеризует кислотные и щелочные свойства растворов и измеряется в единицах pH. На практике кислотность или щелочность характеризуется не числом активных ионов водорода, а логарифмом этого числа с отрицательным знаком. При этом получаются ряд числе от 1 до 14.

$$\text{pH} = -\lg | \text{H}^+ | = \lg \frac{1}{(\text{H}^+)}$$

А с учетом активной концентрации ионов водорода (H),

$$\text{pH} = -\lg f_{\text{H}^+} \text{H}^+$$

pH раствора определяется двумя методами: калориметрическим и потенциометрическим. При калориметрическом методе используется свойства

некоторых веществ, изменяют свой цвет в зависимости от концентрации водородных ионов. Этот метод, используется для ориентировочной оценки рН (качественный анализ).

Потенциометрический метод основан на измерении разности электрических потенциалов двух специальных электродов, помещенных в испытуемый раствор. Один электрод сравнительный (каломельный), в процессе измерения имеет одинаковый потенциал. При соединении измерительного и сравнительного электродов образуется гальванический элемент, по величине ЭДС которого можно судит о величине рН раствора.

$$E = \frac{RT}{nF} \ln H^+ f_{H^+}$$

Подставив численные значение R,T,F, при 20° С получим

$$E = - 0.058 \text{ рН}$$

Из этого уравнения видно, что напряжение электродной цепи линейно зависит от числа рН и при 20° С напряжение на каждую единицу рН изменяется на 58 мв.

Для измерения рН используется водородный электрод в виде платиновой пластинки, покрытой платиновой чернью, к которой подводится газообразный водород. Таким электродом можно измерить рН в диапазоне от 1 до 14. Однако пользоваться этим электродом для производственных измерений неудобно т.к. необходимо непрерывно насыщать металлический платиновый электрод водородом и порча электрода за счет абсорбции платиновой чернью некоторых составных частей раствора. Поэтому они применяются для лабораторных измерений.

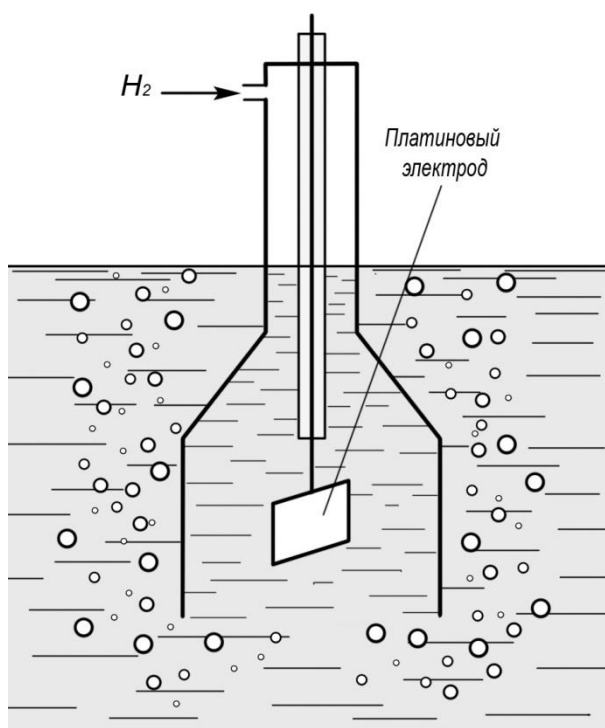


Рис.116.

Для производственных измерений применяются стеклянные и сурьмяные электроды, свойства которых близки к водородным.

Стеклянные электроды

Экспериментально установлено, что электроды, изготовленные из некоторых специальных сортов стекла при погружении в водные растворы электролитов, обнаруживают свойства аналогичные свойствам водородного электрода. На границе стекло – раствор возникает скачок потенциала, которое равно

$$E = - 0.058 \text{ рН}$$

Стеклянный электрод представляет собой трубку 4, из обычного стекла, на конце которой напаяна чувствительная мембрана 1, из специального электродного стекла и которая может иметь плоскую, конусообразную и шаровую форму.

Чувствительная мембрана одновременно (может) выполняет функцию двух электродов: Наружного, соприкасающегося с контролируемым раствором и внутреннего соприкасающегося с раствором имеющим постоянную рН. Потенциал стеклянного электрода является алгебраической суммой потенциалов, возникающих во внутренней и наружной поверхности измерительной мембраны. Для поддержания однозначности измерения необходимо поддерживать рН раствора, с какой либо стороны мембраны строго постоянным.

Основные источниками погрешности при измерении могут быть следующие:

1. Изменение температуры контролируемого раствора. При изменении температуры раствора на 1°C, величина электрического потенциала стеклянного электрода изменяется на 2 мВ;

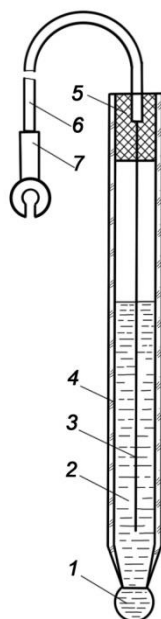


Рис.117.

2. При измерении могут возникать погрешности за счет так называемого потенциала асимметрии, т.е. одинаковые растворы, помещенные с двух сторон мембраны вызывают появление неодинаковых потенциалов. Таким образом, для измерения электрического потенциала, возникающего на поверхности чувствительной мембраны, пропорциональной активной концентрации водородных ионов, необходимо составить гальваническую цепь, состоящего из измерительного (стеклянного) и сравнительного (каломельного) электродов. Измерительные и сравнительные электроды совместно составляют датчик рН–метра. Датчики бывают переносные проточные и погружные.

Измерительная ячейка рН – метра и измерение ЭДС ячейки

Измерительная ячейка рН–метра состоит из стеклянного индикаторного (СЭ) и каломельного сравнительного (КЭ) электрода.

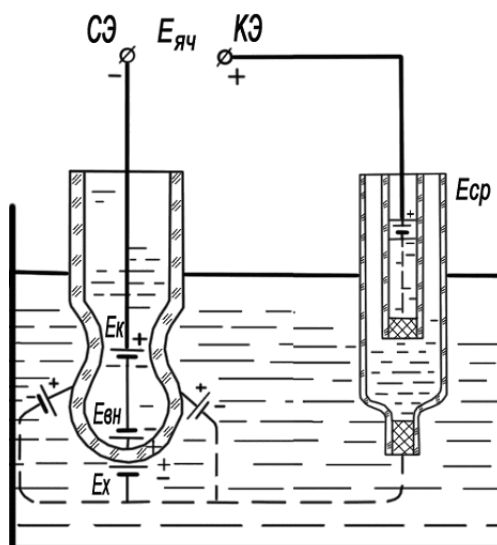


Рис.118.

Для снятия потенциала с внутренней поверхности стеклянного электрода используется вспомогательный контактный хлорсеребряный электрод. Электрическая цепь складывается из 4^х самостоятельных элементов. Суммарная величина ЭДС измерительной ячейки

$$E_{\text{яч}} = E_{\text{к}} + E_{\text{вн}} + E_{\text{х}} + E_{\text{ср}}$$

Где, $E_{\text{х}}$ - разность потенциалов между контролируемым раствором и наружной поверхностью, измерительной стеклянной мембраны электрода, являющей функцией измеряемой величины рН;

$E_{\text{ср}}$ - разность потенциалов на границе ртуть-каломель в сравнительном электроде;

$E_{\text{вн}}$ - разность потенциалов между внутренней поверхностью измерительной стеклянной мембраны и раствором соляной кислоты, залитым в корпус стеклянного электрода;

$E_{\text{к}}$ - разность потенциалов между серебром и хлористым серебром у вспомогательного контактного электрода.

В процессе измерения величины $E_{\text{к}}$, $E_{\text{ср}}$ и $E_{\text{вн}}$ постоянны, поэтому суммарный ЭДС ячейки можно написать в виде

$$E_{\text{яч}} = E_{\text{сум}} + \frac{RT}{nF} \ln (H^+) \quad \text{где,}$$

$$E_{\text{сум}} = E_{\text{к}} + E_{\text{ср}} + E_{\text{вн}}$$

При измерении ЭДС электродной пары, падение напряжение, вызванное протеканием измерительного тока $I_{\text{яч}}$, по внутреннему сопротивлению ячейки уменьшает истинное значение измеряемой ЭДС на величину

$$E_{\text{изм}} = E_{\text{яч}} - I_{\text{яч}} R_{\text{яч}}$$

$E_{\text{изм}}$ - фактически измеряемая вторичным прибором величина ЭДС;

$R_{\text{яч}}$ - сопротивление измерительной ячейки складывается из сопротивлений сравнительного электрода и раствора (несколько 10 КОМ), и сопротивления чувствительной мембраны (около 100 МОМ).

Таким образом, небольшой ток протекающий через измерительную ячейку ($I_{яч}$), вызывает большое падение напряжение ($I_{яч} R_{яч}$) и следовательно большие погрешности при измерении.

Для снижения погрешности измерения необходимо использовать измерительные схемы, с помощью которых можно снизить силу измерительного тока до $10^{-10} / 10^{-12}$ а.

Особенно хороших результатов можно добиться при использовании компенсационных методов измерений.

Измеряемый ЭДС измерительной ячейки $E_{яч}$, уравнивается известной разностью потенциалов ($U_{ав}$). Теоретически обеспечивается уменьшение силы измерительного тока, в момент компенсации, до нуля. При этом, $E_{изм} = E_{яч}$.

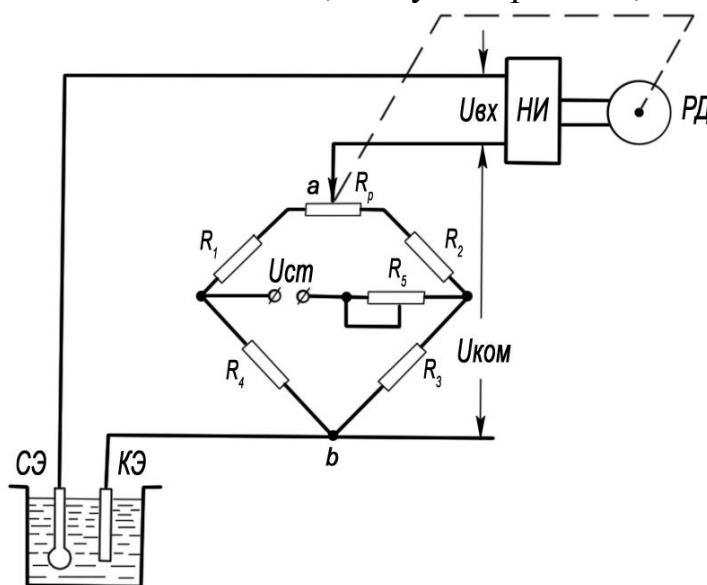


Рис.119.

Устройство погружного датчика рН метра: 1- нижняя головка с электродами; 2- соединительная труба; 3- фланец для монтажа датчика на технологической аппаратуре; 4 – клеммное отделение.

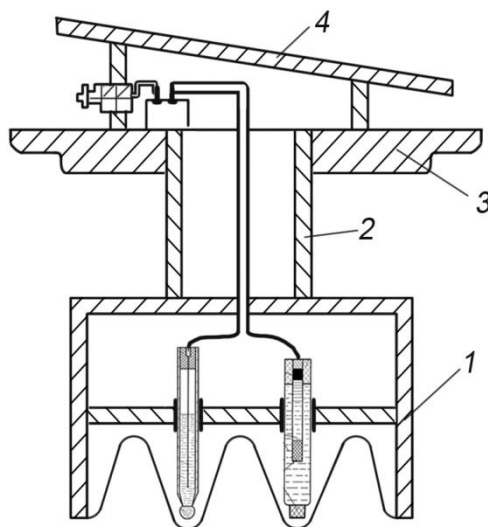


Рис.120.

КОНДУКТОМЕТРИЯ

Кондуктометрический метод основан на измерении концентрации электропроводных растворов по их электропроводности - кондуктометрии.

Водные растворы электролитов проводят электрический ток. Согласно теории Аррениуса, при растворении электролитов в воде их молекулы дислоцируют на ионы, наличие которых в растворе и является причиной электропроводности последних.

Удельная электропроводность находится в прямой зависимости и от подвижности ионов. Наибольшей подвижностью обладают ионы водорода H^+ ($316 \frac{см}{сек} / \frac{в}{см}$) и гидроксила OH^- (175) (закон Кольрауша).

$$\sigma = \alpha \eta (V_k + V_a)$$

V_k, V_a – подвижность катионов и анионов;

η – эквивалентная концентрация растворенного вещества;

α – величина определяемая из отношения λ / λ_0 ;

где λ – эквивалентная электропроводность;

λ_0 – предельная эквивалентная электропроводность при нулевой концентрации (бесконечном разбавлении);

σ – электропроводность раствора.

Подвижность ионов также зависит и от температуры раствора, т.е.

$$V_t = V_{18} [1 + \alpha_v (t - 18)]$$

Таким образом, электропроводность раствора зависит от концентрации растворенного вещества, степени ее диссоциации, химической природы вещества и температуры раствора.

Зависимость удельной электропроводности от их концентрации, для различных растворов, различна.

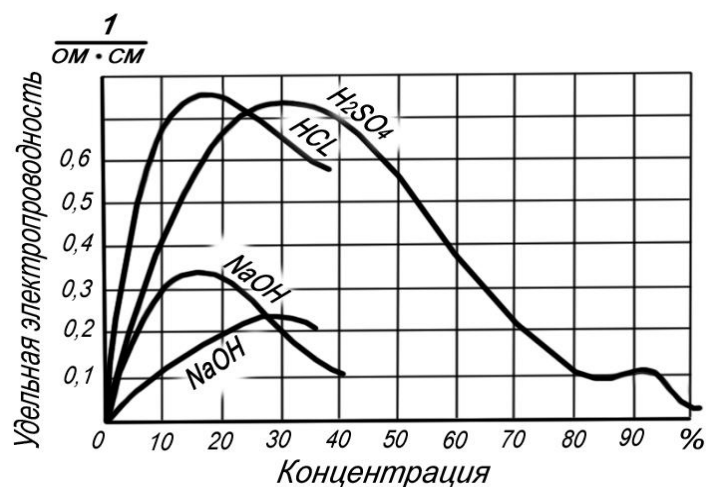


Рис.121.

Как видно из графика, кривые слева от экстремума имеют большую крутизну, следовательно, в этой области концентраций кондуктометрический метод обеспечивает

наибольшую чувствительность и зависимость удельной электропроводности от концентрации в этих пределах близка к линейной.

Измерение электропроводности растворов

Для измерения электропроводности растворов, применяются измерительные ячейки, состоящие из двух электродов, установленных в сосуде с контролируемым раствором на определенном расстоянии.

С изменением концентрации растворов изменяется его удельная электропроводность, следовательно, его сопротивление, то есть изменяется сопротивление измерительной ячейки.

В этом случае сопротивление ячейки определяется только переносом электричества ионами в растворе, то есть, его электропроводностью

$$\sigma = \frac{1}{R} \cdot \frac{\ell}{S}$$

где, ℓ – расстояние между электродами;

S – Поверхность электродов;

R – Сопротивление измерительной ячейки.

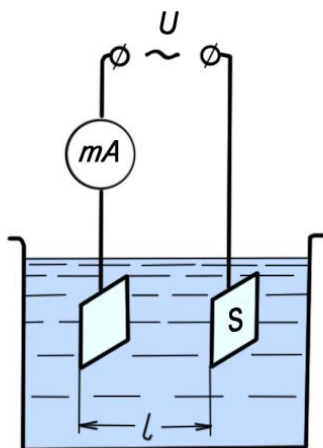


Рис.122.

Отношение $\frac{\ell}{S}$ называют константой измерительной ячейки, изменяя которого можно получить для конкретного раствора величину сопротивления (R) измерительной ячейки.

Измерение электропроводности измерительной ячейки можно осуществлять с использованием переменного и постоянного тока. Однако постоянный ток практически не применим, так как при этом результаты измерений сильно искажаются побочными электрохимическими явлениями, особенно электролизом контролируемого раствора и поляризацией электродов. Поэтому в основном электропроводность измеряется с использованием тока промышленной или повышенной частоты (1000 гц). Чем больше частота переменного тока, тем полнее удастся устранить электролиз раствора и поляризацию электродов.

В современной кондуктометрии получают распространение 4^х электродные измерительные ячейки.

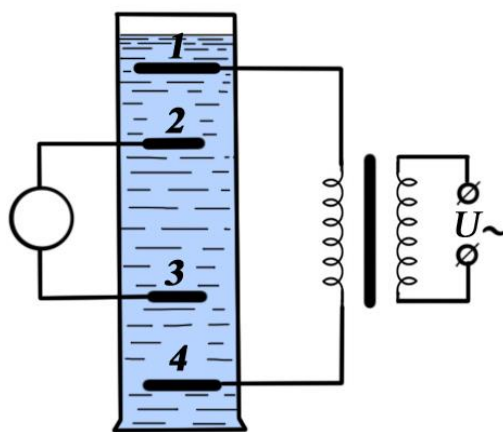


Рис.123.

К токовым электродам 1 и 4 подводится напряжения от внешнего источника, между ними в растворе протекает ток. С помощью потенциометрических электродов 2 и 3 измеряется падения напряжения в определенном объеме контролируемого раствора, которое пропорционально электропроводности и концентрации контролируемого раствора.

Использование такой измерительной ячейки совместно с компенсационным методом измерения напряжения, позволяет почти полностью устранить влияния поляризации. Это достигается тем, что электроды 2 и 3 освобождены от токовой нагрузки. Все побочные электрохимические процессы происходят на токовых электродах 1 и 4.

Измерительные схемы кондуктометрических концентратометров

Измерение электропроводности в этих приборах сводится к измерению сопротивления электродной измерительной ячейки и поэтому, в кондуктометрических концентратометрах могут быть использованы все известные методы для измерения сопротивления.

В первых концентратометрах в качестве измерительных приборов использовались логометры, которые в дальнейшем были вытеснены мостовыми измерительными схемами.

Простейшая схема концентратометра с неуравновешенным мостом имеет следующий вид.

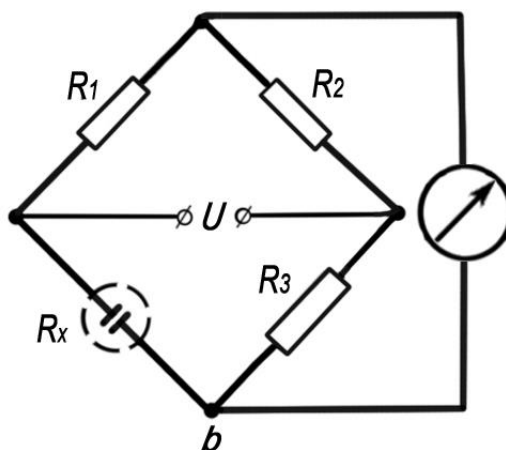


Рис.124.

R_1, R_2, R_3 – постоянные сопротивления;

R_x – сопротивление измерительной ячейки.

При изменении концентрации раствора, ток в диагонали моста изменяется пропорционально этому изменению, которая измеряется милливольтметром. Однако при этом точность измерения концентрации раствора зависит от величины напряжения питания моста и от точности работы милливольтметра.

Поэтому в современных кондуктометрических концентраторах используют уравновешенные мостовые схемы.

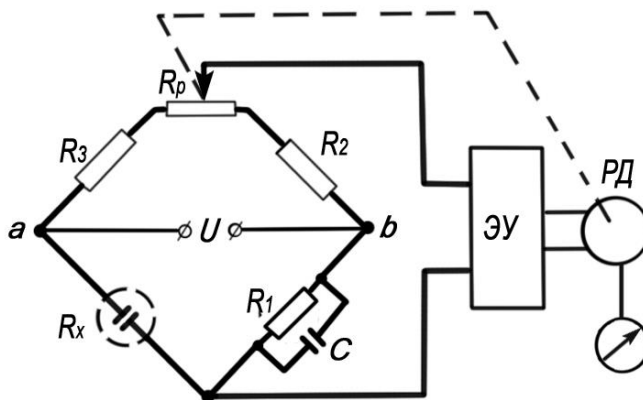


Рис.125.

С изменением концентрации раствора сопротивление ячейки R_x изменяется и равновесие мостовой схемы нарушается. Напряжение с диагонала моста «с d» подается на вход ЭУ, который усиливает этот сигнал достаточным для вращения ротора реверсивного двигателя РД. Ротор кинематически связан с движком реохорда R_p . РД, перемещая движок реохорда R_p , восстанавливает равновесие мостовой схемы и перемещает стрелку прибора в отсчетном устройстве ОУ.

Такие мостовые схемы пригодны для измерения активных сопротивлений. Сопротивление измерительной ячейки является комплексным, так как в нем имеется реактивная (емкостная) составляющая. Для устранения ее влияния при измерении, в смежное плечо моста параллельно с сопротивлением R_1 подключается конденсатор C , величину которого можно подобрать при настройке прибора (обычно экспериментальным путем).

Автоматическая температурная компенсация.

Удельная электропроводность растворов зависит от подвижности ионов, которая возрастает с повышением температуры. То есть,

$$V_t = V_{18} [1 + \alpha_v (t - 18)],$$

Где, α_v - температурный коэффициент подвижности ионов.

Установлено, что с изменением температуры на 1°C удельная электропроводность в среднем изменяется на 1,5 - 2,5%.

Температурную компенсацию можно осуществить с помощью:

- 1) автоматических температурных компенсаторов электрического типа;
- 2) биметаллических температурных компенсаторов;
- 3) термостатирования измерительной ячейки.

В основном применяется первый вид компенсаторов. Автоматическая температурная компенсация электрического типа осуществляется с помощью жидкостных компенсаторов и термометров сопротивления.

Жидкостной температурный компенсатор представляет собой электродный датчик, параметры которого аналогичны параметрам основной измерительной ячейки. Компенсатор заполняется жидкостью, имеющий температурный коэффициент электропроводности возможно более близкую с контролируемым раствором.

Компенсатор герметично закрывается, и вводится в исследуемый раствор. В мостовую схему компенсатор R_{cp} , включается в смежное плечо R_x .

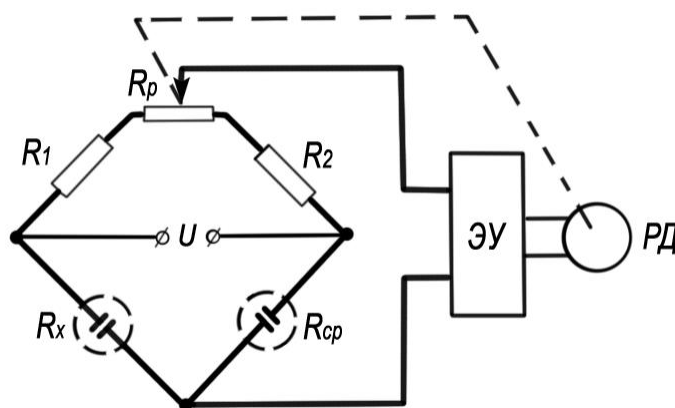


Рис.126.

Из-за близости температурных коэффициентов проводимости эталонной и контролируемой жидкостей, изменение сопротивления измерительной ячейки от колебания температуры, компенсируется изменением сопротивления жидкостного компенсатора.

Однако применение жидкостного компенсатора усложняет конструкцию датчика и кроме этого необходимо периодически проверять и настраивать измерительную схему, так как свойство эталонной жидкости со временем может измениться. Этот принцип компенсации использован в кондуктометрическом концентратометре КСО-3.

Этот метод температурной компенсации не получило большого распространения.

Широко применяются при автоматической температурной компенсации металлические термометры сопротивления (медные, никелевые).

Как известно, сопротивления металлических проводников при увеличении температуры увеличиваются, а у растворов электролитов уменьшаются, что позволяет использовать схему последовательного включения R_t и R_x .

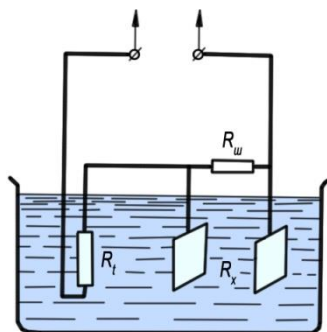


Рис.127.

Для компенсации температурной погрешности необходимо обеспечить равенство температурных коэффициентов сопротивления измерительной ячейки R_x и металлического термометра сопротивления R_t . Для этого параллельно R_x подключается $R_{ш}$, с небольшим температурным коэффициентом электрического сопротивления (манганин). Таким образом, общее сопротивление всей цепи, почти не изменяется при колебании температуры раствора. Вся эта ячейка подключается в одно из плеч мостовой схемы (рис.129) или по схеме показанной на рис. 130.

Мостовая схема имеет следующий вид:

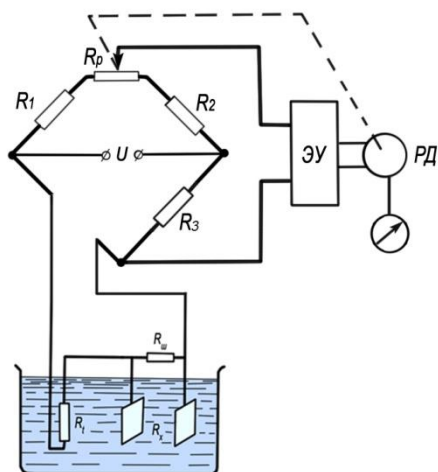


Рис.128.

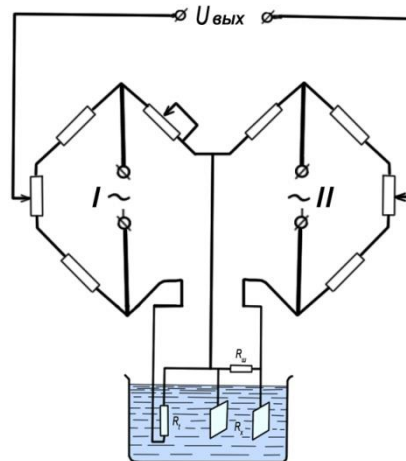


Рис.129.

В некоторых концентромерах используются и такая измерительная схема. Термометры сопротивления наряду их преимуществ имеют и недостатки, связанными с их инерционностями и со значительными размерами. Поэтому, все широкое распространение в современных кондуктометрах принимают термисторы (полупроводниковые термометры сопротивления), электрическая схема которого имеет вид (рис.131):

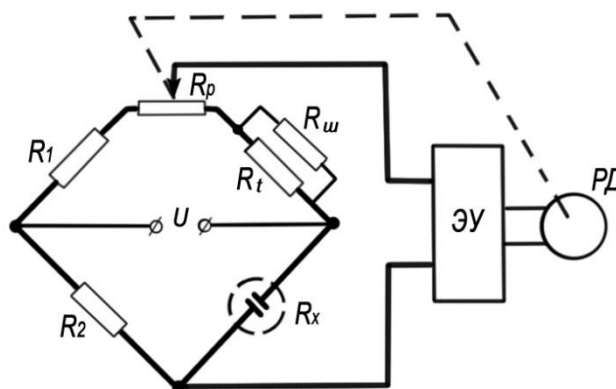


Рис.130.

Кондуктометрический концентромер с четырех электродной измерительной ячейкой

Датчик Д имеет 4 графитовых электрода. К двум, токовым электродам (1 и 4), подводится напряжение питания от сельсина C_1 , работающего в режиме поворотного

трансформатора. Ротор сельсина C_1 , связан с ротором реверсивного двигателя РД. Падение напряжения между потенциометрическими электродами 2 и 3, пропорциональное концентрации раствора, измеряется компенсационным методом. Разностной сигнал ($\Delta U = U_{23} - U_{ав}$) подается на вход ЭУ.

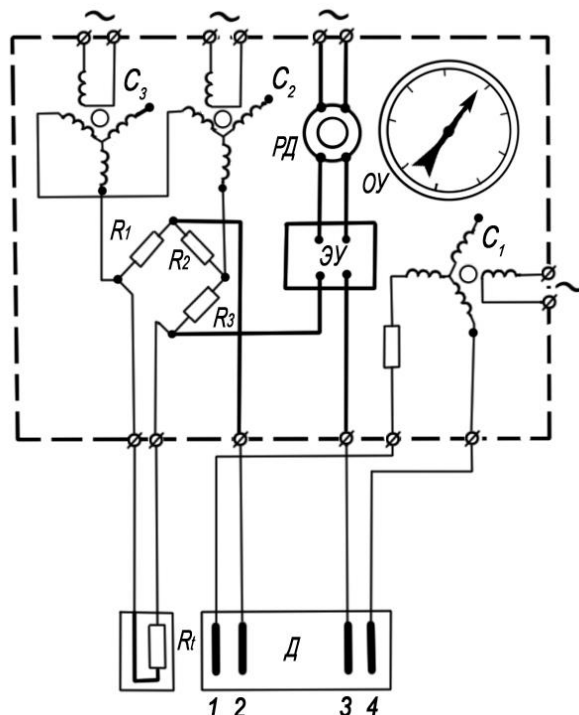


Рис.131.

Усиленный сигнал вызывает поворот ротора реверсивного двигателя РД, который кинематически связан с ротором сельсинов C_1 и C_2 , поэтому поворот ротора РД приводит к повороту роторов C_1 и C_2 и измерительная схема придет в равновесное состояние.

Температурная компенсация осуществляется следующим образом:

В зависимости от температуры контролируемого раствора изменяется сопротивление R_t и соответственно изменяется компенсирующее напряжение. Настройка схемы автоматической температурной компенсации осуществляется с помощью подбора постоянных сопротивлений моста $R_1 - R_3$ и поворотом ротора вспомогательного сельсина C_3 .

Существует и такая схема:

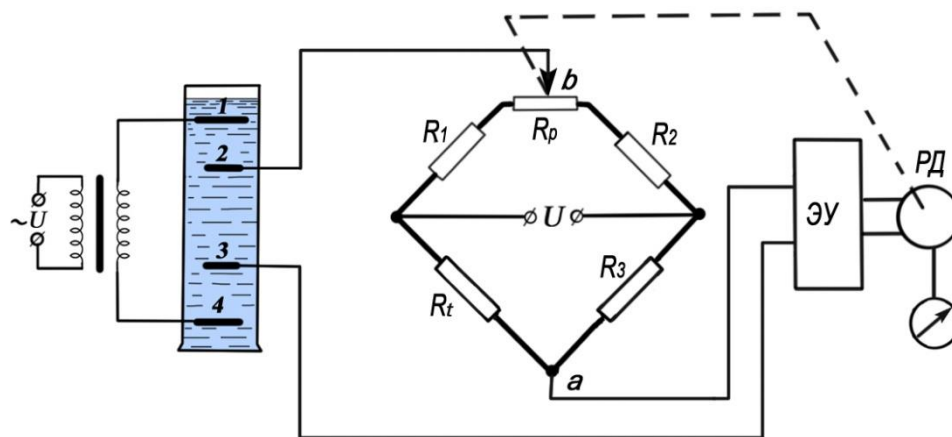


Рис.132.

Падение напряжения на токовых электродах 2 и 3, изменяющееся пропорционально электропроводности раствора, а следовательно концентрации раствора, можно измерить с помощью потенциометрической схемы. Сигнал разбаланса равно ΔU_x , поступающее на электронный усилитель, определяется разностью падения напряжения на токовых электродах U_{23} и падением напряжения на участке потенциометрической схемы U_{ab} :

$$\Delta U_x = U_{23} - U_{ab}$$

При изменении концентрации раствора, равновесие в схеме нарушается и появляется сигнал разбаланса ΔU_x , которое усиливаясь, вращает ротор реверсивного двигателя РД. Ротор РД кинематически связан со стрелкой прибора и движком реохорда. Вращение ротора реверсивного двигателя приводит к перемещению движка реохорда и это происходит до наступления равновесия в схеме.

Выпускаются приборы типа КП.

Бесконтактная электрокондуктометрия

Безэлектродная кондуктометрия развивается по двум направлениям: низкочастотная и высокочастотная. Впервые метод измерения концентрации, основанный, на низкочастотной безэлектродной кондуктометрии был предложен Проскуриным 1932 году. Однако до чешских исследователей Шаламона и Свитока (в 1956г), этот метод не находил практического применения.

У нас разработками этих приборов в основном занимается ОКБА, где и был создан первый прибор.

Физические основы низкочастотной бесконтактной кондуктометрии заключаются в следующем:

Труба из диэлектрика образует замкнутый виток, заполненный контролируемым раствором электролита. Снаружи на трубу намотаны обмотки двух трансформаторов: возбуждающего T_p1 и измерительного T_p2 .

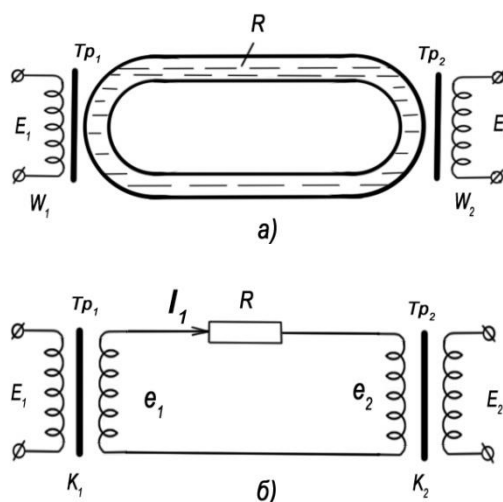


Рис.133.

Замкнутый жидкостной виток электролита, выполняет функцию вторичной обмотки T_p1 . В результате электромагнитного взаимодействия между обмотками T_p1 в

жидкостном витке индуцируется ЭДС. e_1 , и ток I_1 . Величина тока равно, $I_1 = \frac{e_1}{R}$, а с другой стороны $e_1 = K_1 E_1$ и тогда,

$$I_1 = \frac{K_1 E_1}{R}.$$

Из этого уравнения видно, что ток I_1 обратно пропорционально сопротивлению раствора и пропорционально электропроводности раствора, которая в свою очередь является функцией концентрации. Измерение концентрации раствора сводится к измерению тока наведенного в жидкостном витке.

Для чего используется второй, измерительный трансформатор T_{p2} , для которого жидкость является первичной обмоткой. Величина ЭДС E_2 наводимое в его вторичной обмотке, равно $E_2 = I_2 \cdot R_{\text{общ}}$, а ток I_2 наводимое во вторичной обмотке трансформатора T_{p2} можно определить из условия трансформации, то есть, используя коэффициент усиления трансформатора T_{p2} .

$$I_2 = K_2 I_1 \quad (I_1 W_1 = I_2 W_2; I_2 = \frac{W_1}{W_2} I_1)$$

и тогда,

$$E_2 = I_2 \cdot R_{\text{общ}} = K_2 R_{\text{общ}} I_1 = K_1 K_2 R_{\text{общ}} \frac{E_1}{R}$$

где $K_1 \cdot K_2 \cdot R_{\text{общ}} = \text{const} = K$, поэтому,

$$E_2 = K \frac{E_1}{R}$$

Из последнего уравнения видно, что индуцируемая во вторичной обмотке T_{p2} , ЭДС E_2 , пропорционально сопротивлению R жидкостного витка, то есть концентрации контролируемого раствора.

В большинстве случаев измерение E_2 осуществляется компенсационным методом, для чего используются дополнительная компенсационная обмотка W_k T_{p2} , ампер-ветки которой вычитаются из ампер-витков раствора.

Условия компенсации:

$$I_k W_k = I_p W_2 \quad W_2 = 1, \text{ поэтому, } I_2 = \frac{I_p}{W_k};$$

Изменение силы тока, протекающего через компенсационную обмотку, осуществляется перемещением движка реохорда R_p .

Положение движка реохорда и связанного с ним стрелки прибора пропорционально концентрации контролируемого раствора. Компенсация температурной погрешности осуществляется термометром сопротивления R_t , подключенного в одно из плеч мостовой схемы и находящегося в контролируемом растворе.

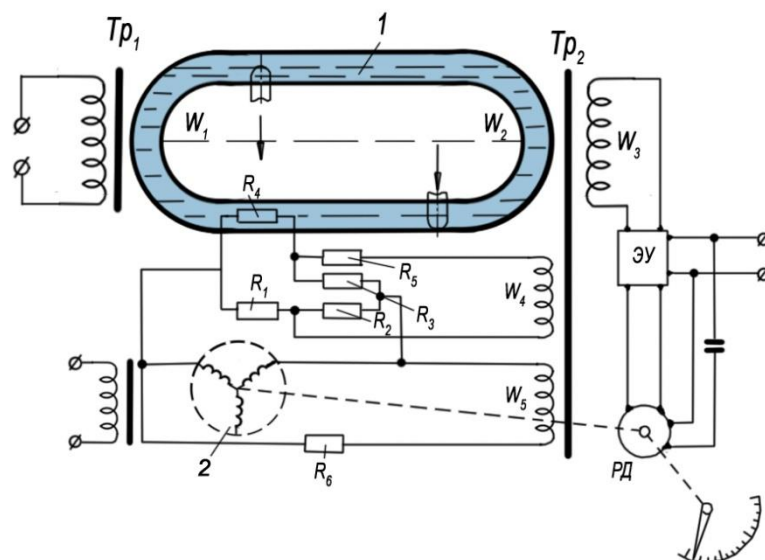


Рис.134.

Выпускается следующие модификации кондуктометрических концентратометров:

КСО-3 – прибор для измерения концентрации серной кислоты, олеума с использованием 2^х электродного датчика с жидкостным компенсатором.

Приборы типа КП, работающие с 4^х электродными измерительными ячейками.

Выпускаются солемеры типа СС1 и СС2, а также солемеры котловой воды типа КСКВ. Также выпускаются приборы типа КК различной модификации.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Для определения концентрации вещества путем титрования подбирают специальный реагент называемый титрующим раствором, который избирательно реагирует с определяемым компонентом анализируемой смеси.

Титрование выполняется следующим образом: к определенному количеству анализируемой смеси постепенно добавляется титрующее вещество, до тех пор, пока количество веществ в смеси не достигнет эквивалентного соотношения.

Эквивалентная точка определяется по различным косвенным признакам, например по изменению окраски индикатора.

По методу определения конечной точки титрования различают потенциометрическое, кондуктометрическое, фотометрическое, термохимическое титрования. Эти названия методов соответствуют типам концентратометров и применяются для контроля за ходом титрования.

Потенциометрическое титрование

При кислотно–основных титрованиях (реакциях нейтрализации) применяются РН–метры. Зависимость ЭДС датчика от концентрации является логарифмической функцией. Поэтому кривая потенциометрического титрования имеет характерную форму, причем эквивалентной точке соответствует перегиб кривой.

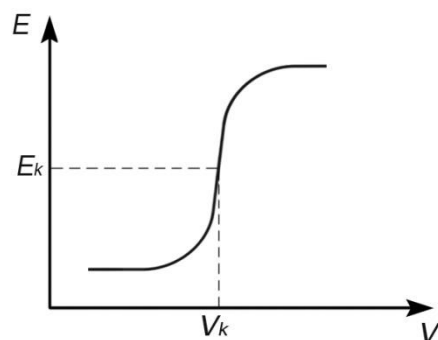


Рис.135.

Благодаря скачку ЭДС (E) достигается высокая чувствительность и точность индикации конечной точки V_k и E_k . (где, V – объем титрующего раствора).

Однако недостатком является возможность перетитрования.

Кондуктометрическое титрование

Процесс титрования при таком титровании контролируется по изменению электропроводности титруемой смеси, для измерения которого используются различные кондуктометрические концентратометры. Типичные кривые кондуктометрического титрования имеют вид:

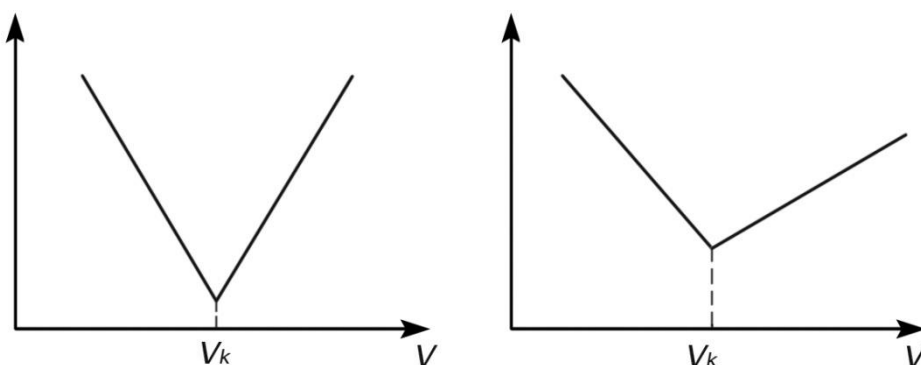


Рис.136.

Недостатком является большие температурные погрешности.

Фотометрическое титрование

Ход процесса при этом контролируется с помощью фотоколориметра или спектрофотометра по изменению поглощения света определенной длины волны.

Термохимическое титрование

При титровании в некоторых случаях происходит химическая реакция с выделением или поглощением тепла. При экзотермической реакции титрования по мере подачи титрующего раствора температура титруемого раствора повышается и достигнет максимальной величины в конечной точке титрования. Если продолжать разбавление, то температура раствора начнет снижаться. Измеряя температуру с

помощью высокочувствительных датчиков можно достаточно точно определять эквивалентную точку, а следовательно, концентрацию контролируемой смеси.

Автоматический титрометр дискретного действия

Поток контролируемого раствора из пробоотборной линии 1 подается в дозатор 2. Определенное дозированное количество контролируемого вещества, подается в сосуд 3 для титрования. При необходимости, с помощью вспомогательного дозатора 4, в сосуд 3 подаются какие-либо реагенты. Затем из автоматической бюретки 5 подается титрующий раствор. Изменение состава титрующего раствора фиксируется датчиком 6 косвенного концентромера 7. Регулирующее устройство 8 управляет подачей титрующего раствора из автоматической бюретки. В момент, когда титруемый раствор достигнет эквивалентной точки, регулирующее устройство 8 прекращает подачу титрующего раствора и включает систему отсчета 9 израсходованного титрующего раствора. Сигнал отсчетного устройства регистрируется вторичным прибором 10, шкала которого градуируется в единицах концентрации.

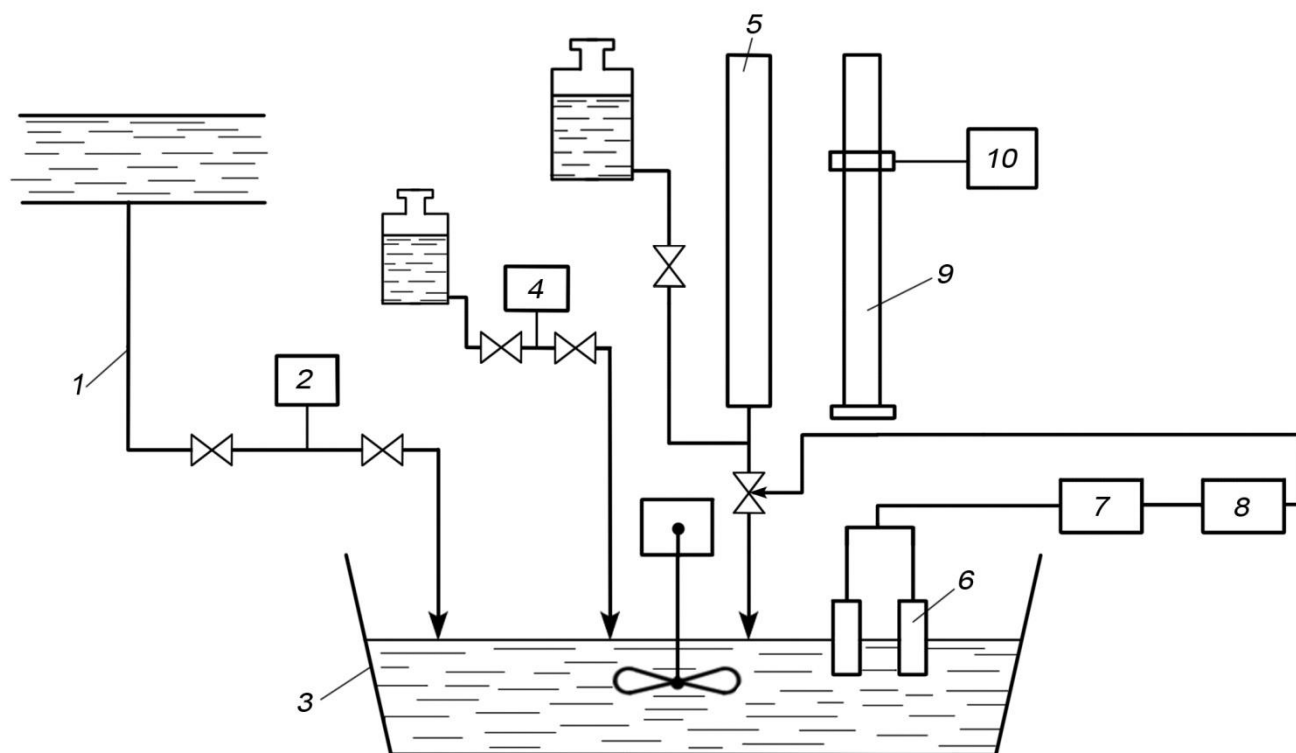


Рис.137.

Непрерывный автоматический титрометр

Из технологического потока отбирается проба, которая непрерывно поступает через стабилизатор расхода 1 в смеситель 2. Сюда – же подается титрующий раствор, расход которого определяется регулирующим органом 3.

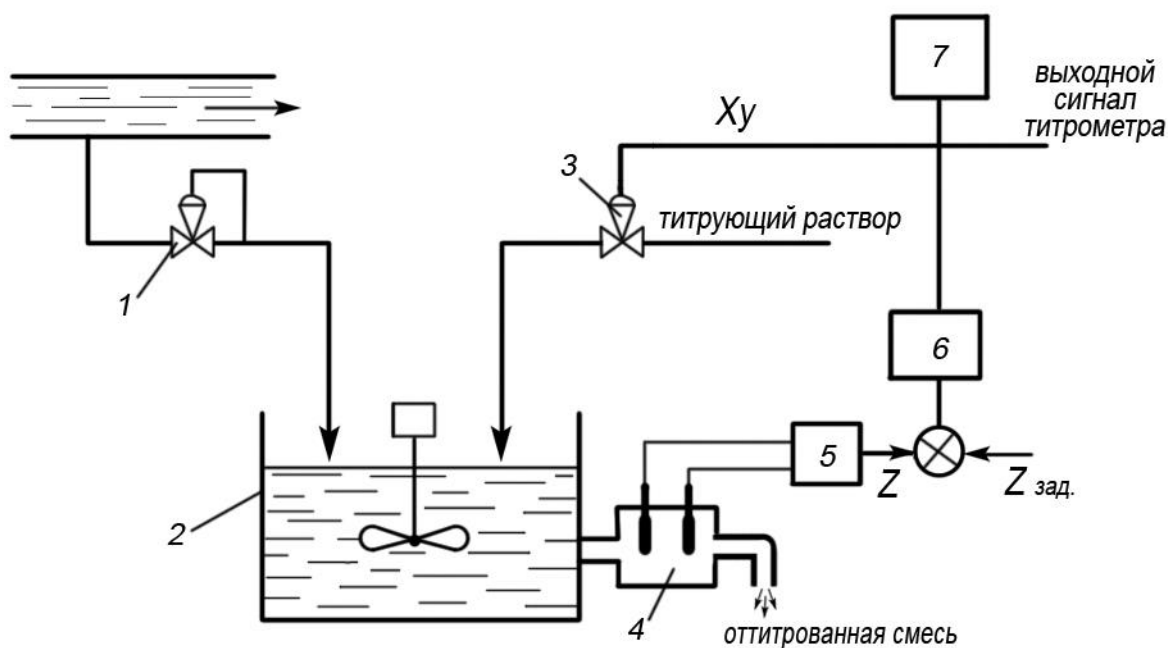


Рис.138.

Хорошо смешанный раствор протекает через камеру датчика 4 автоматического концентратомера 5, который контролирует соотношение количество титрующего и титруемого веществ в смеси. Выходной сигнал датчика Z , сравнивается с заданным $Z_{\text{зад}}$, соответствующей конечной точки титрования. При равенстве $Z = Z_{\text{зад}}$, расход титрующего раствора остается неизменным и характеризует концентрацию контролируемого компонента пробы. В противном случае преобразуемый по определенному закону регулятором 6 сигнал рассогласования подается на регулирующий орган 3, который изменяет подачу титрующего раствора.

При линейной характеристике регулирующего органа 3, расход титрующего раствора пропорционален величине управляющего сигнала X_y , следовательно, прибор 7 регистрирующий величину X_y , можно проградуировать в единицах концентрации определяемого вещества.

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ

Плотность - одна из основных физических величин, характеризующих свойств и параметры множества технологических процессов в различных отраслях промышленности. До 1934 года применялись плотномеры со шкалами, градуированными в условных единицах плотности – в так называемых градусах, носящих название авторов, сконструировавших этих приборов так, например, градусы Баллинга, Бека, Боме, Брикса, Гей-Люссака, Траллеса и так далее. В 1934 году были изъяты из употребления все плотномеры с условными единицами. В настоящее время плотномеры градуируются в единицах плотности (обычно г/см^3) или процентах весовых или объемных содержания вещества в растворе.

Приборы для автоматического непрерывного измерения плотности вещества в потоке (плотномеры) играют значительную роль при осуществлении автоматизированных систем управления производственными процессами и качеством продукции.

Плотностью называется отношение массы тела к его объему, то есть,

$$\rho = m/V$$

где, ρ - плотность среды; m , V - масса и объем среды.

Единицей плотности в системе СИ является кг/м^3 .

Плотность жидкостей зависит от температуры. Температурная зависимость плотности приближенно определяется по уравнению

$$\rho_t = \rho_{t^1} (1 - \beta(t - t^1))$$

ρ_t, ρ_{t^1} – соответственно, плотность жидкости при нормальной температуре ($t = 20^\circ\text{C}$) и при некоторой температуре t^1 . $\rho_{20^\circ\text{C}} = \rho_{t^1} (1 - \beta(20 - t^1))$

β – средний коэффициент объемного теплового расширения жидкости в интервале температур от t до t^1 (от 20°C до t^1).

Приборы для измерения плотности жидкостей по принципу действия делятся на следующие: Поплавковые (ареометрические), весовые (пикнометрические), гидростатические, радиоактивные и другие.

Приборы для измерения плотности могут быть разделены на две группы: приборы прямых методов измерения - поплавковые, пикнометрические и пьезометрические плотномеры; приборы косвенных методов измерения, основанные на использовании физических явлений, зависящих от плотности жидкости.

Поплавковые плотномеры

Поплавковые плотномеры делятся на две группы:

- 1) с плавающим поплавком;
- 2) с поплавком, полностью погруженным в жидкость.

В приборах с плавающим поплавком мерой плотности является степень погружения поплавка определенной формы и массы.

Принцип действия этих плотномеров, основан на законе Архимеда, согласно которому тело, погруженное в жидкость, плавает в ней тогда, когда вес плавающего тела равен весу вытесненной жидкости в объеме погруженной части тела. Поэтому в жидкостях разной плотности тела будет погружаться на разную глубину, поскольку вес тела остается постоянным, а при изменяющейся плотности объем вытесняемой телом жидкости должен меняться.

При увеличении плотности поплавков перемещается вверх, так как уже меньший объем жидкости будет имеет вес, одинаковый с поплавком).

Примером этих приборов является поплавковые плотномеры – ареометры. Эти приборы предназначены для лабораторных анализов плотности различных растворов (то есть является экспресс - методом) (рис.139).

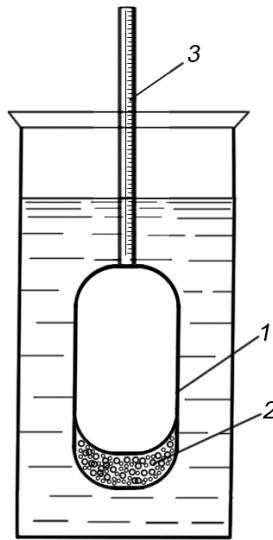


Рис.139.

Ареометр – это стеклянный поплавок со шкалой 3. Степень погружения этого поплавка зависит от веса поплавка (от количества дробей 2 заключенных в цилиндрический поплавок) и от плотности исследуемого раствора, но так как весь поплавка постоянный, то степень погружения поплавка зависит только от плотности исследуемого раствора.

Для производственных измерений можно использовать поплавковый плотномер с плавающим поплавком, который снабжен дополнительно дифференциально – трансформаторной схемой передачи показаний на расстояние.

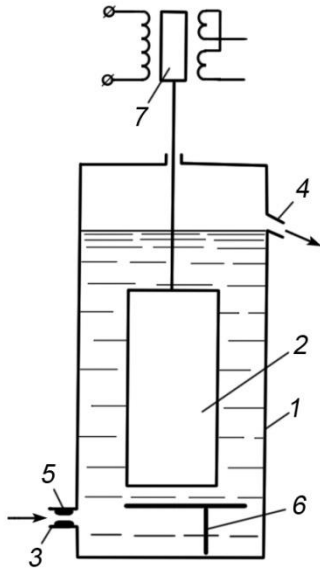


Рис.140.

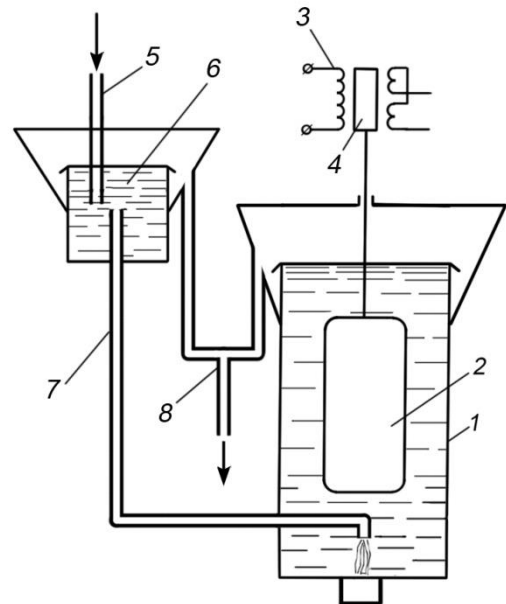


Рис.141.

Плотномер состоит из измерительного сосуда 1, в котором плавает металлический поплавок 2. Контролируемая жидкость подводится через патрубок 3, где для стабилизации расхода установлен постоянный дроссель 5 и выходит через патрубок 4 из прибора. Изменение плотности вызывает перемещение поплавка и связанного с ним сердечника 7, который перемещается в катушках дифференциально –

трансформаторного датчика, изменяя выходной электрический сигнал. Для устранения влияния завихрения, в приборе установлены отражательные пластины 6.

Погрешность $\pm 1\%$; Недостаток – громоздкость. Кроме того, как известно, при изменении расхода контролируемой жидкостью, уровень переливающейся через патрубок 4 жидкости изменяется, что вводит дополнительные погрешности.

В конструкции плотномера с плавающим поплавком (рис.141), исключается влияние на показание прибора колебания расхода контролируемой жидкости, за счет поддержания постоянного набора на переливном сосуде 6. здесь: 1-сосуд; 2-поплавок; 3-электрический (схема) преобразователь перемещения; 4-сердечник; 5 и 7 –трубки; 8-отводящая трубка.

Основной недостаток плотномеров с плавающим поплавком является их громоздкость.

Этот недостаток отсутствует у плотномеров с полностью погруженным поплавком, так как у них глубина погружения поплавка практически остается постоянной.

Плотномеры с погруженным поплавком так же, как и плотномеры с плавающим поплавком, основаны на законе Архимеда. Различие состоит в том, что в первом типе поплавки полностью погружены в контролируемую среду и во втором – частично.

При изменении плотности жидкости изменяется действующая на поплавок выталкивающая архимедова сила. В приборах с плавающим поплавком эта сила уравнивается весом поплавка в зависимости от глубины его погружения. В приборах с погружным поплавком, глубина погружения остается постоянной и выталкивающая сила, пропорциональная плотности жидкости, уравнивается помимо веса поплавка специальными устройствами.

Рассмотрим такой плотномер с пневматическим преобразователем (рис.142).

Под действием перепада давления, создаваемого вентилем 1 или другим всасывающим устройством, жидкость по трубе 2 поступает через кольцевой распределитель в измерительную камеру 3 и по отводным патрубкам через трубу 4 в трубопровод 5. расход = $0,75 \text{ м}^3/\text{час}$.

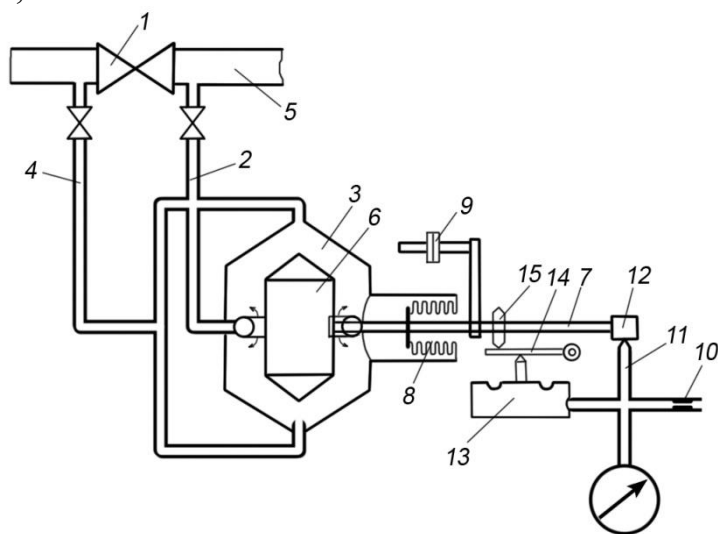


Рис.142.

6-поплавок; 7-коромысло; 8- уплотнительный сильфон; 9-противовес; 10-постоянный дроссель; 11-сопло; 12-заслонка; 13-мембранная коробка; 14-рычаг; 15-ролик.

При изменении плотности жидкости, изменяется выталкивающая на поплавок и поплавок под воздействием этой силы перемещается в ту или другую сторону, вызывая изменения зазора между соплом и заслонкой. При этом давления в междросстойном пространстве и в мембранной коробке изменяется и это изменение будет происходить до тех пор пока усилие вызванное этим изменением давления, действующая через рычаг и ролик на коромысло. Не уравновесится изменением выталкивающей силы вызванным изменением плотности. Таким образом, давление сжатого воздуха в мембранной коробке изменяется пропорционально выталкивающей силе действующей на поплавок, то есть является мерой плотности контролируемой жидкости.

Предел измерения: от 50 кг/м^3 до ∞ .

Колебания температуры исследуемого раствора, как и в других плотномерах оказывает влияния на показанное поплавковых плотномеров. Для исключения температурных погрешностей применяют различные способы термокомпенсации.

Весовые (пикнометрические) плотномеры

Одним из наиболее точных и распространенных методов является весовой метод.

Принцип действие весовых плотномеров основано на измерении веса постоянного объема в-в. Простейшим плотномером является лабораторный пикнометр. В этот сосуд постоянного объема, имеющий риску (Р),наливают определенный объем контролируемой жидкости и путем взвешивания определяют его вес.

В весовых плотномерах промышленного образца, автоматически непрерывно взвешивается определенный объем жидкости, протекающий (по трубопроводу) через прибор.

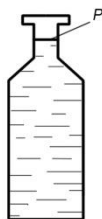


Рис.143.

Весовой плотномер с пневматическим преобразователем (ДУВ- 1).

Исследуемый раствор в измерительный прибор подается через патрубок 2 и выходит через патрубок 1. При этом с изменением плотности раствора изменяется вес постоянного объема раствора в нетробообразной трубе 4 и она начинает вращаться вокруг скобы 6 благодаря гибкому соединению трубы 4 с подрубками 1 и 2 сильфонами 3. Перемещение трубки через тягу 7 передается рычагу 8, которое вращаясь вокруг оси 9 изменяет зазор между соплом 14 и заслонкой 15 что приводит к изменению давления на линии вторичного прибора (дистанционной передачи) и на линии (сильфона) обратной связи 12. давления на выходе будет изменяться до тех пор, пока за счет действия сил на рычаг снизу (изменение плотности) и сверху (изменение давления на линии сильфона обратной связи), заслонка не примет определенного положения относительно сопла.

При этом изменении давления на выходе будет пропорционален изменению плотности исследуемого раствора.

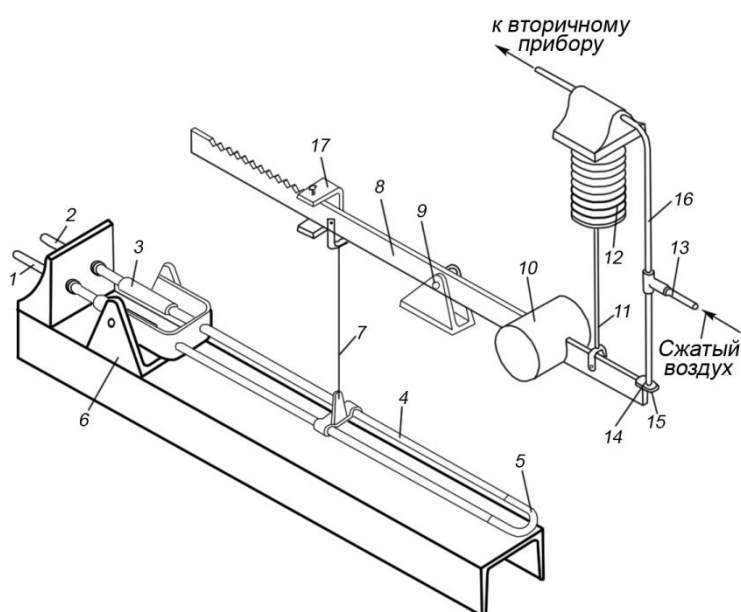


Рис.144.

1,2-трубы; 3-сильфон; 4-петриобразная труба; 5-съемное колено; 6-скоба; 7,11-тяги; 8-рычаг; 9-ось; 10-противовес; 12-сильфон обратной связи; 13-16-трубки; 14-соило; 15-заслонка; 17-упор.

Предел измерения изменяется путем повышая грузы на надрезы (500-2500кг/м³). Кл точности $\pm 1\%$. С изменением температуры раствора плотность его изменяется, что вводит дополнительные погрешности. Выпускаются весовые плотномеры и с термопомпенсацией. Например ДУВ-ТК-101. в этих приборах при изменении температуры раствора плотность изменяется, что приводит к изменению усилия на рычаг. Одновременно изменения температуры раствора приводит к изменению давления в замкнутом объеме, состоящим из термобаллона, установленного в трубопроводе на входе к прибору, капиллярной трубки и сильфона. Можно рассчитать этот объем замкнутой системы так, чтобы усилия от изменения давления в ней, (действующей в обратном направлении усилия изменению плотности за счет изменения температуры) компенсировала бы то усилие от изменении плотности за счет изменения температуры.

Пружинный весовой плотномер

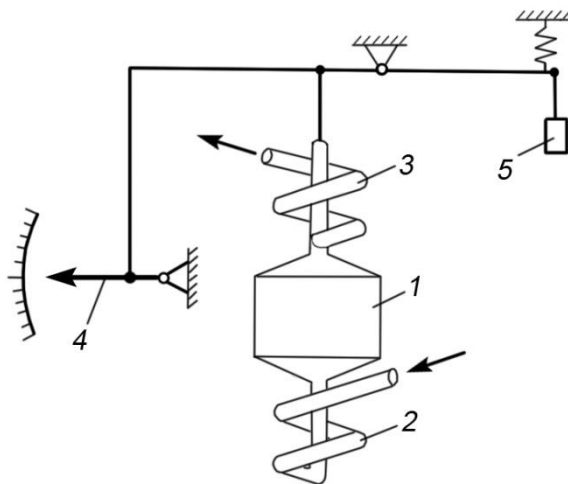


Рис.145.

В этом приборе контролируемый раствор непрерывно пропускается через сосуд 1, подвешенный на двух эластических трубках 2 и 3, закрученных в спираль. Спиральные трубки служат также патрубками для подвода и обвода жидкости. Изменение плотности жидкости вызывает изменение массы измерительного сосуда, которое благодаря эластичности спиральных трубок преобразуется в пропорциональное перемещение его. Это перемещение передается на стрелку 4 прибора. Пределы измерения плотномера можно менять с помощью груза 5.

Весовой плотномер, разработанный на кафедре АПП ТашПИ, состоит из корпуса 1 и вторичного прибора 2. Корпус состоит из камеры 3, представляющей сосуд с контролируемой жидкостью, камеры 4, являющейся промежуточной и заполненной буферной жидкостью и камеры 5, выполняющей роль инвентпреобразователя. Жидкость, плотность измеряют, непрерывно 2 поступает в камеру 3 через штуцер 7.

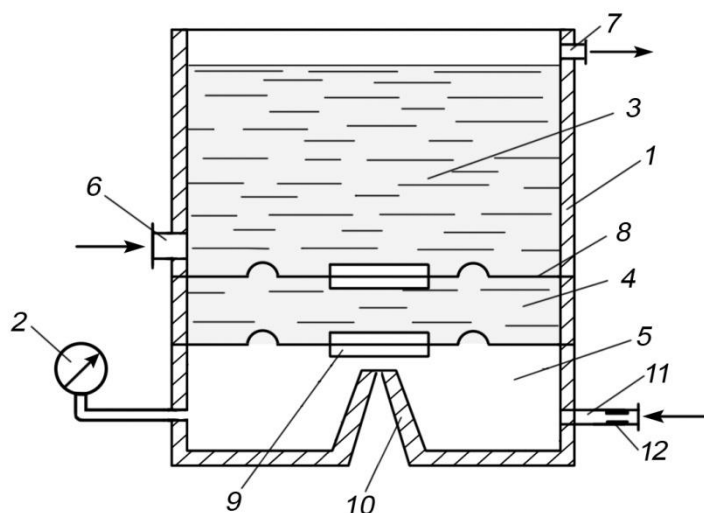


Рис.146.

Промежуточная гидравлическая камера 4 предназначена для поддержания уровня жидкой среды 8 сосуда 3, которое представляет упругую мембрану с жидким центром, к мембране 9, установленной в днище камеры 4. Камера 5 снабжена соплом 10. Сжатый воздух по воздухопроводу 11

поступает в камеру 5 через постоянный дроссель 12. Жидкий центр мембраны 9 выполняет роль заслонки Сопла 10. Перемещении мембраны 8, обусловленное изменением плотности жидкости, передается через промежуточную камеру 4 на мембрану 9, которая, перемещаясь, закрывает сопло 10. давлении воздуха в камере 5 регистрируется вторичным прибором 2 и служит мерой плотности жидкости.

Как известно с колебанием температуры исследуемого раствора плотность его изменяется в больших пределах.

Гидростатические плотномеры

Работа этих плотномеров основано на измерении изменения гидростатического давления столба жидкости с изменением плотности раствора (при постоянном уровне).

$$P = \rho g h$$

Где, ρ - плотность измеряемой среды; g - ускорение силы тяжести; h - уровень измеряемой среды; P - давление создаваемой столбом жидкости.

В гидростатических плотномерах P измеряется косвенным методом, путем непрерывного продувания воздуха через трубку, давление в котором следит за гидростатическим давлением столба жидкости.

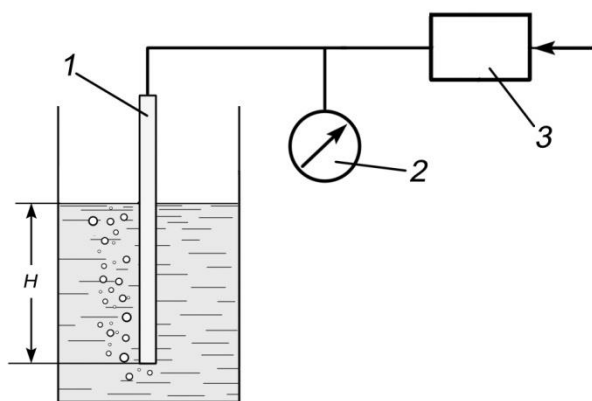


Рис.147.

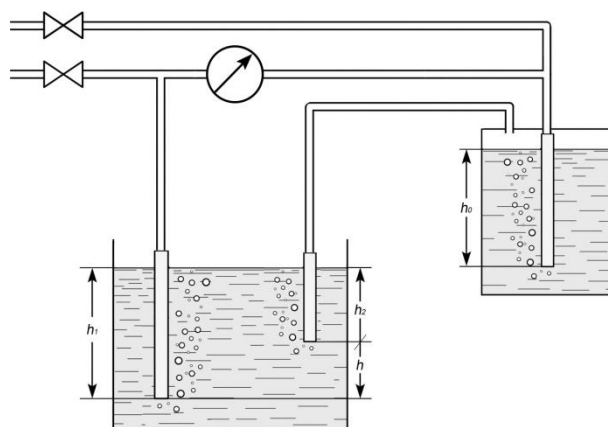


Рис.148.

Однако при изменении уровня появляется некоторые погрешности.

Поэтому обычно измеряют разность давлений двух столбов жидкости разной высоты (дифференциальный метод). Это дает возможность исключить влияния на точность измерения колебаний уровня исследуемой жидкости, так как измеряемый перепад дифманометром ДМ:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \text{ где}$$

$$P_1 = h_1 \rho g = (h + h_2) \rho g;$$

$$P_2 = h_0 \zeta \rho_0 g + h_2 \rho g, \quad \text{откуда}$$

$$\Delta P = h_2 \rho g + h \rho g - h_0 \rho_0 g - h_2 \rho g = h \rho g - h_0 \rho_0 g \text{ где,}$$

$h_0 \rho_0 g = \text{const}$, так как ρ_0 постоянная величина, следовательно $\Delta P = f(\rho)$, так как величина $h = \text{const}$. Сжатый воздух в пьезометрические трубки поступает через БПВЩ – 2, заранее очищенным от влаги пыли и масла. БПВЩ – 2 включает редуктор, манометр и два контрольных стаканчика (давление $0,2 \div 1 \text{ кгс/см}^2$).

Выпускаются пьезометрические плотномеры типа ПМ, который изготавливается как с пробочным так и с погружным датчиком.

Проточные датчики типа КМ-1, КМ-3 и КМ-4 предназначены для установки на трубопроводах. Выпускается плотномеры с погружным датчиком ДПМ-6.

Диапазон измерения плотномерами ПМ $400 = 800 \text{ кг/м}^3$. Погрешность $\pm 4\%$.

Гидростатический дифманометрический плотномер

Принцип действие этого прибора основан на уравнивании столба жидкости постоянного уровня столбом эталонной жидкости. Сигнал изменения плотности поступает на вход схемы компенсации, включающий в себя пневмопреобразователь 6 и исполнительный механизм 8 и сильфон 7. Выход схемы компенсации подключен к камере 2 с изменяющимся столбом эталонной жидкости. Изменение последнего вызывает изменения давления на мембрану пропорциональное давлению контролируемой жидкости, до компенсации перемещения мембраны.

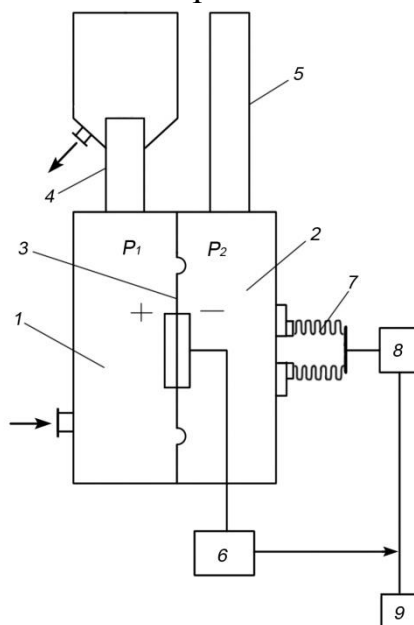


Рис.149.

1-рабочая камера; 2-камера с эталонной жидкостью; 3-мембрана; 4-рабочая труба; 5-компенсационная труба; 6-пневмопреобразователь; 7-сильфон; 8-исполнительный механизм; 9-вторичный прибор.

Вторичный прибор 9 регистрирует давления под действием которого перемещения мембраны, вызванное изменением плотности, компенсируется изменением высоты столба эталонной жидкости.

Диапазон измерения можно изменять изменением длины рабочей трубки и плотности эталонной жидкости.

Гидростатический дифманометрический плотномер с термокомпенсацией

В производственных условиях температуру исследуемой жидкости поддерживать при определенных значениях вызывает определенные трудности. Колебания же температуры вызывает определенные погрешности при измерениях плотности измеряемой среды. В этом приборе вопрос уменьшения температурной погрешности решен следующим образом:

Термокомпенсатором в данном плотномере служит часть рабочей трубки. Термокомпенсатор 10 представляет собой два сильфона, помещенных один в другой; причем подвижные торцы их соединены в виде торонда. Полость между сильфонами заполняется жидкостью с требуемым коэффициентом объемного расширения. Поскольку поверхность термокомпенсатора омывается контролируемой жидкостью, 10-термокомпенсатор инерционность системы термокомпенсации незначительны. В результате изменения объема жидкости в межсильфонном пространстве термокомпенсатор удлиняется, изменяя при этом уровень жидкости в рабочей камере.

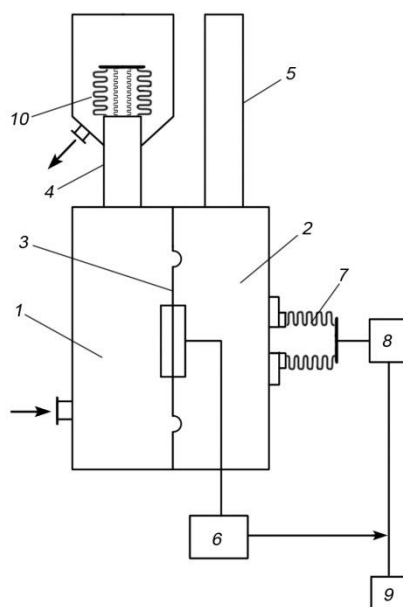


Рис.150.

Радиоизотопные плотномеры

Измерение плотности основано на определении изменений интенсивности пучка γ - лучей после прохождения их через измеряемую среду.

Рассмотрим принципиальную блок-схему радиоизотопного плотномера жидкости ПЖР-2.

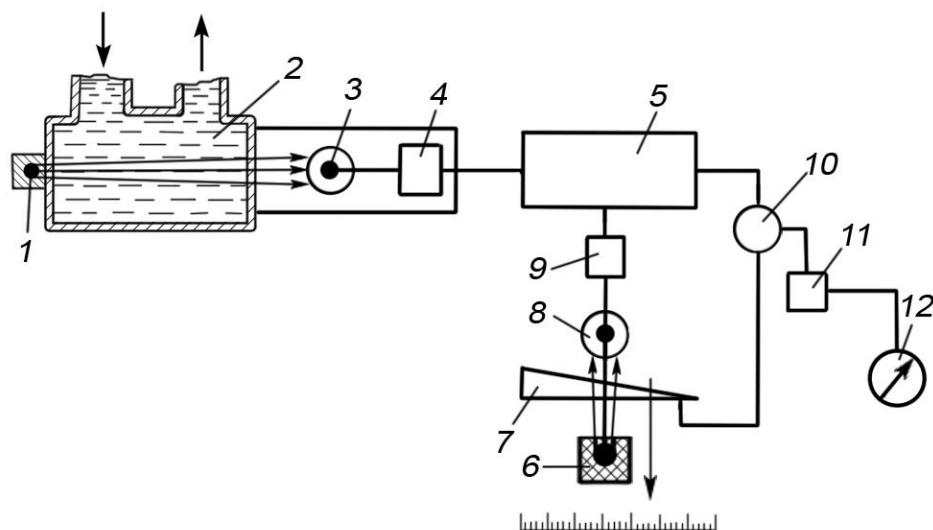


Рис.151.

1 и 6 – источники X – излучения; 2 – объект измерения; 3 и 8 – приемники излучения; 4 и 9 – формирующие блоки; 5 – электронный усилитель – преобразователь; 7 – металлический клин; 10 – РД; 12 – ВП; 11 – дифференциально – трансформаторный преобразователь.

В этих плотномерах источник X – излучения (C_0^{60} , C_5^{137}) и приемник излучения (3) может устанавливаться непосредственно в технологическом трубопроводе. X – лучи от источника 1 проходят через стенки объекта измерения 2 и через слой жидкости и попадают в приемник излучения 3. Электрический сигнал приемника, являющийся функцией измеряемой плотности, формируется блоком 4 и далее передается на вход электронного усилителя 5, куда также поступает сигнал от дополнительного устройства (6, 7, 8, 9). Разность сигналов усиливается в электронном усилителе и подается на РД 10, который связан с металлическим клином 7 и сердечником дифференциально-трансформаторного преобразователя и вторичного прибора 12.

В зависимости от величины и знака сигнала РД перемещает металлический клин до тех пор пока разность сигналов не станет равным нулю. Величина перемещения клина, с которым связана стрелка показывающего прибора, пропорционально изменению плотности жидкости.

Предел измерения от 600 до 2000 кг/м^3 .

Погрешность $\pm 2\%$ при ежесуточном контроле нуля прибора.

Приборы косвенных методов измерения плотности основаны на использовании физических явлений, зависящих от плотности жидкостей. К ним относятся тепловые, динамические, оптические свойства жидкостей и электропроводности и других.

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ПРОДУКТОВ

В свое время Ньютон сказал, что вязкость – это свойство жидкостей сопротивляться усилиям, вызывающим перемещение ее частиц.

Для многих продуктов вязкость является величиной определяющим качество и состав продукта, по вязкости судят о готовности продуктов.

Об необходимости измерения вязкости можно судить по следующим:

- вязкость мазута определяет эффективность его горения в блоках ГРЭС при высоких ее значениях увеличивается выделение дыма и ядовитых газов, что загрязняет окружающую среду;
- для пластмасс и других синтетических продуктов вязкость является основным показателем качества;
- необходимо знать вязкость жидкого мыла, красителей, олифы и лаков, клея;
- в производстве керамических изделий измеряется значения вязкости целиккера и глазурей;
- от вязкости зависят готовность композиций стиральных порошков;
- необходимо измерять вязкость прядильных растворов в производстве химических волокон;
- в масложировой промышленности необходимо контролировать вязкость жирных кислот и масел;
- в процессе приготовления вин измеряют вязкость виноградного сусла;
- вязкостью определяются качество различных фруктовых соков;
- вязкостью характеризуется качество молока, теста, шоколадных масс;
- в фармацевтическом производстве измеряют вязкость различных мазей и экстрактов и тд.

Различают динамическую (μ) и кинематическую (ν) вязкость. В международной системе единиц размерность динамической вязкости - μ , $\frac{H \cdot сек}{M^2}$, Па сек кинематической вязкости - ν , $M^2/сек$ (то есть $\nu = \frac{\mu}{\zeta}$).

Ст = 10^{-4} м²/С (стокс; санти стокс) (СТС)

Для измерения вязкости применяются приборы – вискозиметры, основаны на следующих методах:

- 1) методе истечения;
- 2) методе подающего тела;
- 3) методе крутящего момента (Ротационные);
- 4) вибрационном методе;
- 5) ультразвуковым.

При измерении вязкости необходимо учесть что с изменением температуры, вязкость материалов изменяется в больших пределах, поэтому температуру материалов при измерениях необходимо поддерживать постоянно.

Вискозиметры истечения

Действие приборов этого типа основано на законе истечения жидкости из капиллярных трубок (закон Пуазейля).

$$Q = k \frac{\pi d^4 \cdot g}{\mu l} \cdot \Delta p$$

где, Q - количество (расход) жидкости вытекающей из трубки;

d - диаметр трубки, L – длина капилляра;
 μ - динамическая вязкость жидкости;
 g – ускорения силы тяжести; k – постоянный коэффициент;
 ΔP – разность давлений между концами трубки.

Как видно из уравнения при постоянных значениях Q , k , d , L , g $\mu = k_1 \Delta P$ то есть изменению вязкости измеряемого продукта, при постоянном диаметре и длины капилляра соответствует пропорциональное изменения разности давления на капиллярной трубке (ΔP).

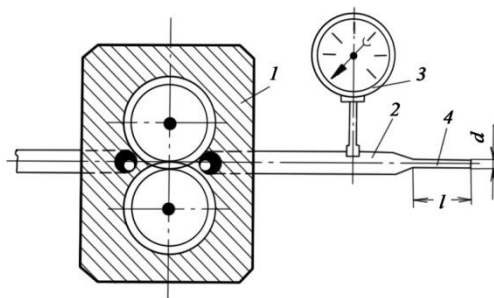


Рис.152.

С помощью шестеренчатого насоса 1, приводимого в движение синхронным электродвигателем, строго постоянное количество жидкости подается в напорную трубку 2, оканчивающегося капилляром 4. напорная трубка соединена с манометром (дифманометром) 3, шкала которого градуирована в единицах вязкости. При изменении вязкости жидкости изменяется давление в напорной трубке 2, которого измеряется манометром 3. диаметр и длина капилляра подбирается в зависимости от предела измерения вязкости (от 0,001÷10 Па.с).

Погрешность прибора $\pm 2\%$.

Допустимое колебания температуры $\pm 1^\circ\text{C}$.

Автоматический капиллярный вискозиметр непрерывного действия

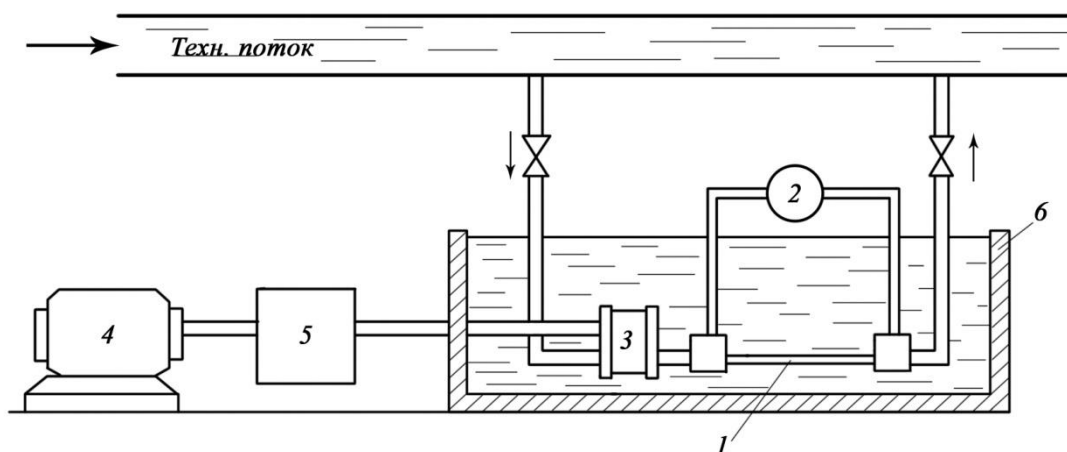


Рис.153.

1- капиллярная трубка; 2-диффометр; 3-постреренчатый насос;
4-синхронный электродвигатель; 5-редуктор; 6-масялной термостат.

Из технологического потока отбирается проба исследуемой жидкости с помощью постреренчатого насоса 3. благодаря постоянству расхода через капиллярную трубку 1 и температуры исследуемой жидкости, переход давления на концах капиллярной трубки зависит только от изменения вязкости.

В этом вискозиметре в отличии от предыдущего измеряется не номер на входе в капилляр, а перепад давлений на входе и выхода из капилляра. Благодаря чему точность измерений повышается.

Вискозиметр Ташпулатова

Вискозиметр состоит из основной (измерительной, капиллярной) трубки 1, соединенной с иьезометрическими трубками 2 для измерения перепада давления на этой трубке.

Жидкость при помощи насоса 3 засасывается из резервуара 4 и нагнетается через компенсирующий емкость 5 змеевиковый теплообменник и трубку 1, обратно в резервуар. Термостат 7 снабжен нагревательным устройством, термометром, терморегулятором и мешалкой 8. Шкала (измерительных) иьезометрических трубок проградуирована по жидкостям с известной вязкостью.

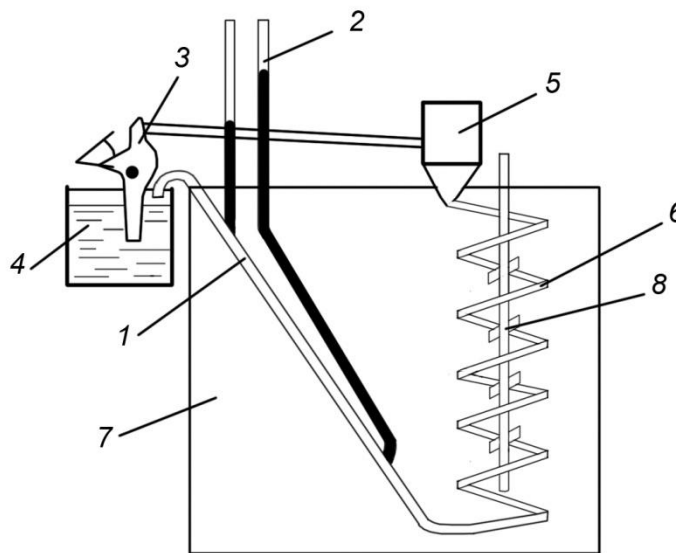


Рис.154.

-капиллярная трубка; 2- трубки для отбора давления; 3-насос; 4- резервуар; 5- компенсирующая емкость; 6- змеевиковые теплообменник; 7- термостат; 8- мешалка.

Погрешность показаний 0,5 – 3,9%.

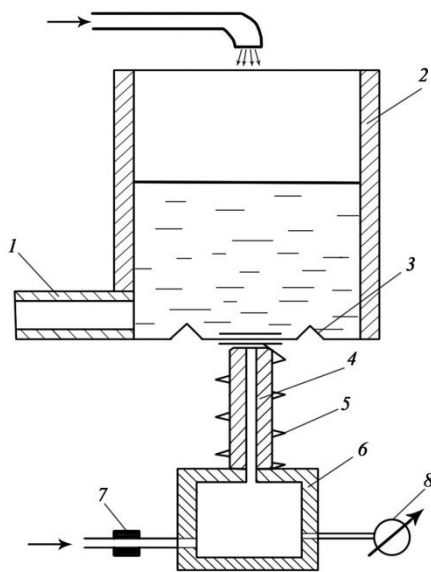
Капиллярный весовой вискозиметр

При изменении вязкости исследуемой жидкости изменяется уровень жидкости в измерительном сосуде [то есть каждому значению вязкости соответствует определенное значение перепада давления (РДН) на капиллярной трубке (при $Q = \text{const}$) – закон Пуазейля]. Уровень жидкости изменяется пропорционально ее вязкости. Изменение уровня приводит к изменению гидростатического давления столба жидкости на мембрану. Мембрана прогибаясь изменяет расстояние между сойлом и заслонкой (4 и 3), что приводит к изменению давления на выходе пневмопреобразователя пропорционально изменению вязкости исследуемой жидкости.

Несмотря на простоту конструкции и оригинальность метода измерения этого вискозиметр имеет и недостатков например в нем не учтен влияние колебания температуры исследуемого раствора на показания прибора.

Для исключения влияния температуры исследуемой жидкости на показания прибора можно применять следующие методы термокомпенсации:

- метод основанный на стабилизации температуры исследуемого раствора;
- метод основанный на введении коррекции на показания прибора по температуре исследуемого раствора.



- 1 – капиллярная трубка
- 2 – измерительный сосуд
- 3 – мембрана – заслонка
- 4 – сопло
- 5 – пружина
- 6 – проточная камера
- 7 – постоянный дроссель
- 8 – вторичный прибор – манометр

Рис.155.

Вискозиметры с падающим шариком

Измерение вязкости методом падающего шарика основана на законе Стокса, связывающего скорость свободного падения твердого тела в жидкости с ее вязкостью то есть

$$\mu = \kappa \frac{(\zeta - \zeta_0) \cdot g \cdot r^2}{v}$$

где, $\zeta - \zeta_0$ - соответственно плотность материала шарика и испытываемой жидкости γ – радиус шарика, v - скорость равномерного (свободного) подення шарика, k - постоянный коэффициент.

Это уравнения применимо при соблюдении следующих условий:

1. Шарик должен быть гладким;
2. Шарик должен быть маленьким, для создания небольшой скорости движения;
3. Жидкость должен быть однородным;

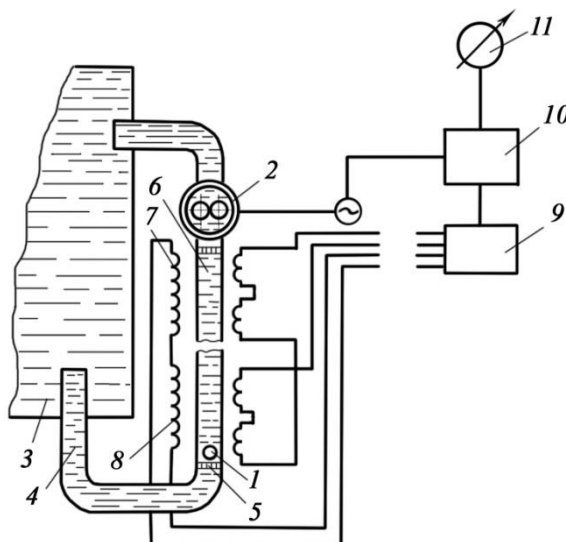


Рис.156.

Между шариком и жидкостью не должна быть скольжения. Используя зависимость скорости свободного падение от вязкости жидкостей построение ряд вискозиметров с подающим шариком. Рассмотрим один из них, автоматический вискозиметр с подающим шариком дискретного действия.

Шарик 1 находясь в нерабочем положении у нижней ограничивающей сетки 5 при включении насоса 2 поднимается вверх и останавливается у верхней ограничивающей сетки 6. В момент касания шарика с сеткой 6 насос автоматически отключается и шарик падает в неподвижной среде. Измерение вязкости сводится к отсчет времени в течении которого шарик проходит фиксированный участок пути.

На мерную трубу 4, выполненного из немагнитного материала надеты катушки 7 и 8. Катушки имеют первичные и вторичные обмотки, соединенные по дифференциально трансформаторной схеме. При прохождении шарика через катушки на выходе измерительной схемы возникает сигнал разбаланса, который усиливается усилителем 9.

Релейный блок 10 и вторичный прибор и автоматически включает насос и отсчитывает время падения шарика.

В качестве вторичного прибора может применяться либо автоматический прибор с дифференциальным трансформаторной схемой либо электронный секундомер.

Предел измерения прибора можно менять изменения размеры шарика.

Этими приборами можно изменять вязкость не только в емкостях но и в трубопроводах.

Измеряется вязкость до $100 \text{ Н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$.

Выпускаются также вискозиметры с падающим шариком в которых фиксация скорости падения шарика производится радиоактивным методом.

В этих приборах в шарик заключен источник гамма-излучения.

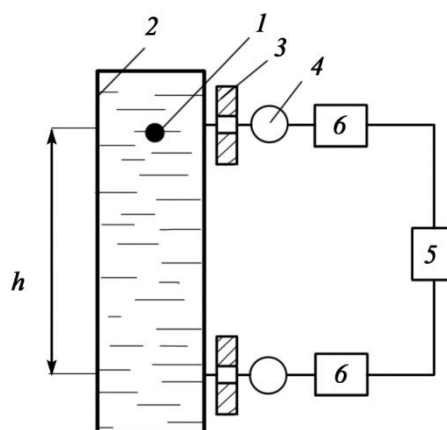


Рис.157.

1-шарик; 2-вертикальная трубка; 3-экран; 4 – счетчик, вырабатывающий электрический импульс при попадании гамма-излучений; 5-измерительное устройство; 6-релейной блок.

Ротационные вискозиметры

Действие этих приборов основано на измерении крутящего момента передаваемого жидкостью.

Если между двумя коаксиально расположенными трубами заполнена исследуемая жидкость и если вращать один из этих (труб) цилиндров с постоянной скоростью, жидкость приходит в стационарное вращательное движение и стремится сообщить его второму цилиндру.

Для сохранения второго цилиндра в насос к нему необходимо приложить момент, равный и противоположный моменту, передаваемому жидкостью.

Величина крутящего момента определяется из $M = K \cdot \mu \cdot \Omega$ Ω - угловая скорость; K – константа прибора, зависящая от геометрических размеров.

Вискозиметры с измерением крутящего момента по углу закручивания упругой подвиги называются крутильными.

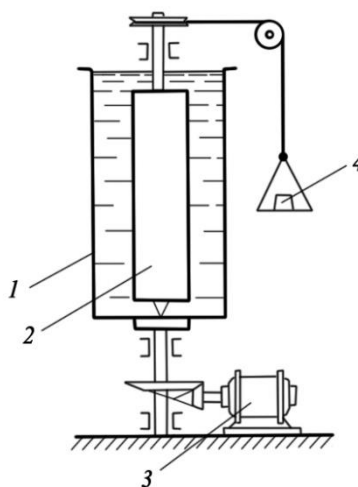


Рис.158.

1-внешний цилиндр; 2-внутренний цилиндр, удерживаемый неподвижно путем накладывание груза 4 на весовую платформу; 3-синхронный электродвигатель.

В вискозиметрах с параллельными дисками используется система измерения с помощью гибкой нити и цилиндрической тарированной пружины.

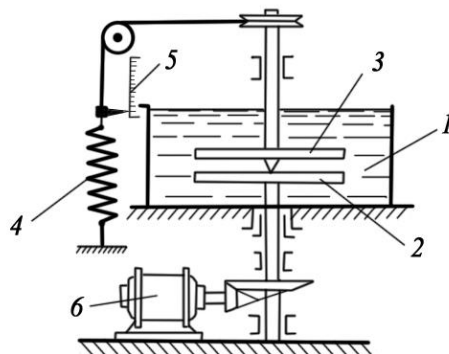


Рис.159.

4- тарированная пружина; 5-шкала; с их помощью можно измерить вязкость в диапазоне.

ВЛАГОМЕРЫ ДЛЯ ГАЗОВ И СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Влажность газа необходимо измерять при конденционировании воздуха, в сушильных и холодильных установках и во многих других случаях. Для твердых материалов влага также является одним из основных параметров, определяющий качество материала, влияющий на технологические свойства материалов.

В производстве необходимо (контролировать и регулировать) поддерживать определенную влажность различных материалов. Для автоматически определяют влажность газа используются методы: психрометрический, точки росы, и электрический.

Психрометрический метод

По этому методу используется психометрических эффект учитывающий зависимость относительной влажности от психометрической разности температур. То есть

$$y = \frac{P_e - A(t_c - t_b)}{P_c}$$

P_b – упругость паров, насыщающих испытуемую среду при температуре t_b влажного термометра ;

P_c – упругость паров, насыщающих испытуемую среду при температуре сухого термометра;

A – психрометрический коэффициент зависящий от конструкции психрометра, скорости обдувания мокрого термометра.

Из уравнения видно, что относительную влажность газа можно определить по разности показаний двух термометров мокрого и сухого.

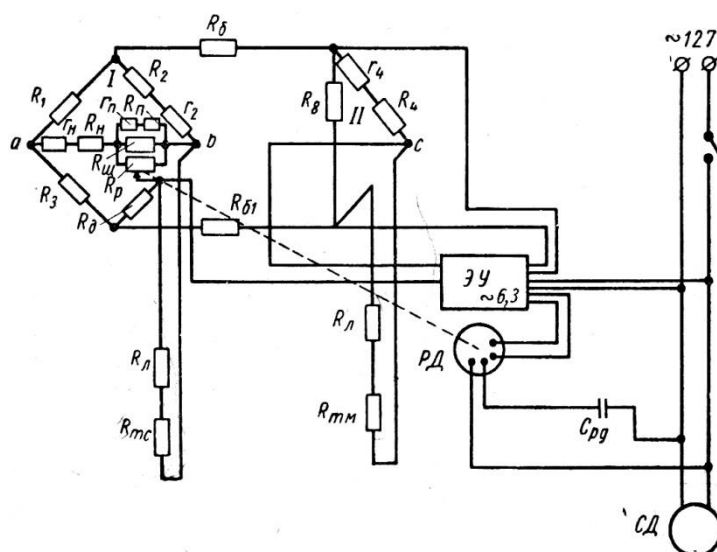


Рис.160.

Рассмотрим схему электрического психрометра. Схема соответствует из двух мостов. Питание мостов осуществляет от обмотки силового трансформатора ЭУ. С изменением влажности газа разность температур между сухим и мокрым термометром сопротивления изменяется. Падения напряжения пропорциональное этой разности снимается с точек в и с и подает в ЭУ. Усиленный сигнал подается в РД который вращается двигает реохорд и переставляет стрелку прибора. Погрешность $\pm 3\%$.

Метод точки росы

При этом методе испытуемый газ охлаждают до наступления насыщения, то есть до точки росы. Методом точки росы можно измерят влажность газов при любых давлениях. Для определения момента наступления точки росы обычно используют охлаждаемое металлическое зеркало, температуру которого в момент выпадения конденсата на нем фиксируют как точку росы.

В автоматических приборах появления точки росы на зеркальной поверхности определяется ослаблением светового потока отраженною от зеркала и воспринимает датчик это место.

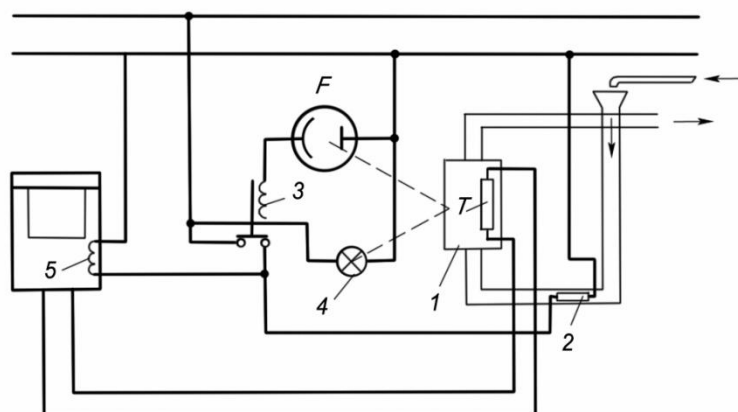


Рис.161.

При охлаждении стенок цилиндра 1 до точки росы. На поверхности зеркала появляется туман и световой поток падающей на фото элемент уменьшается. Фототок уменьшается и срабатывает реле 3, замыкая цепь электронагревателя 2. охлаждающая жидкость принимает температуру выше точки росы и туман исчезает. Фототок увеличивается, нагреватель отключается и тогда все время температура зеркальной поверхности (поддерживается) колеблется около точки росы.

Температура поверхности цилиндра измеряется температурой сопр. или термопарой Т, вторичным прибором служит логометр или милливольтметр с подающей жидкой. Реле 5 управляющее работой подающей дужки, управляет электромагнитным реле 3. Работы общих реле синхронизированы таким образом, что стрелка вторичного прибора прижимается подающей дужкой в те моменты времени когда появляется туман на зеркале.

Электрические гигрометры

В электролитических гигрометрах с подогреваемым датчиком в качестве влагочувствительного элемента используется хлористый литий.

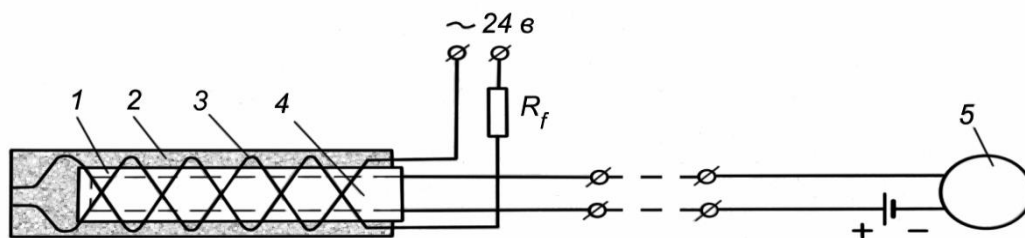


Рис.162.

При подаче напряжения на серебряный электрод через раствор LiCl проходит электрический ток, вызывая его нагрев. Раствор нагревается до кристаллизации LiCl . Образование твердого соли приводит к резкому увеличению сопротивления между электродами, ток уменьшается и температура датчика понижается. Понижение температуры продолжается до тех пор пока вследствие поглощения влажности из окружающей среды проводимость раствора между электродами не повысится вновь, что повлечет за собой увеличение тока и повышение температуры датчика. Таким образом температура в датчике автоматически поддерживается на уровне равновесной, соответствующим влажности окружающей датчик газовой среды.

Влагомеры для твердых тел

Существует 2 метода измерения прямой и косвенный. По прямому методу навеска анализируемого материала высушивается до постоянного веса. Потом влажность материала определяется по разности весов до и после высушивание с высокой точностью. Однако этот метод очень продолжительный.

Косвенные методы характерны быстрым определением влажности, но сравнительно неточные. Из косвенных методов для автоматического непрерывного измерения влажности получили распространение кондуктометрические, емкостные сверхвысокочастотные методы.

Список литературы

Основные:

1. Юсупбеков Н.Р., Мухамедов Б.И., Гуломов Ш.М., - Ташкент: Преподаватель, 2011.-576с.
2. Юсупбеков Н.Р., Мухамедов Б.И., Гуломов Ш.М., - Ташкент: Преподаватель, 1997.-704с.
3. Alan S. Moris, Reza Langari. Measurement and Instrumentation.-UK: Academic Press, 2016.-697 p.

Дополнительные

1. Юсупбеков Н.Р., Мухамедов Б.И., Гуломов Ш.М., - Ташкент: Преподаватель, 2010.-224 с.
2. Зайцев С.А., Грибанов Д.Д., Толстов А.Н., Меркулов Р.В. Контрольно-измерительные приборы и инструменты.- М.:Академия, 2002.-464 с.
3. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С., Теплотехнические измерения и приборы.-М.:МЭИ,2005.-460 с.
4. Гультияев А.К. Визуальное моделирование в среде МАТЛАБ. Учебный курс.-СПб.:Питер. 2000.-432 с.
5. SIMULINK–моделирование в среде MATLAB. Учебное пособие.-М.: МГУИЭ.2002.-128с.
6. Калининченко А.В. Справочник инженера по КИП и А.- М.:Инфра Инженерия, 2008.-504 с.
7. Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Сборник задачи вопросов по “Теплотехнические измерения и приборы”. М.: МЭИ, 2005.
8. Бельдеева Л.Н. Технологические измерения на предприятиях химической промышленности. Часть 1. Алтай: АлтГТУ, 2002. – 70 с.
9. Бельдеева Л.Н. Технологические измерения на предприятиях химической промышленности. Часть 2. Алтай: АлтГТУ, 2002. – 100 с.

Электронные ресурсы

1. <http://www.ziynet.uz>
2. <http://www.elibrary-book.ru>
3. <http://www.books.ru>
4. <http://www.radiosovet.ru>