

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ
КОНТРОЛЬ И
АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ТЭС
Часть вторая

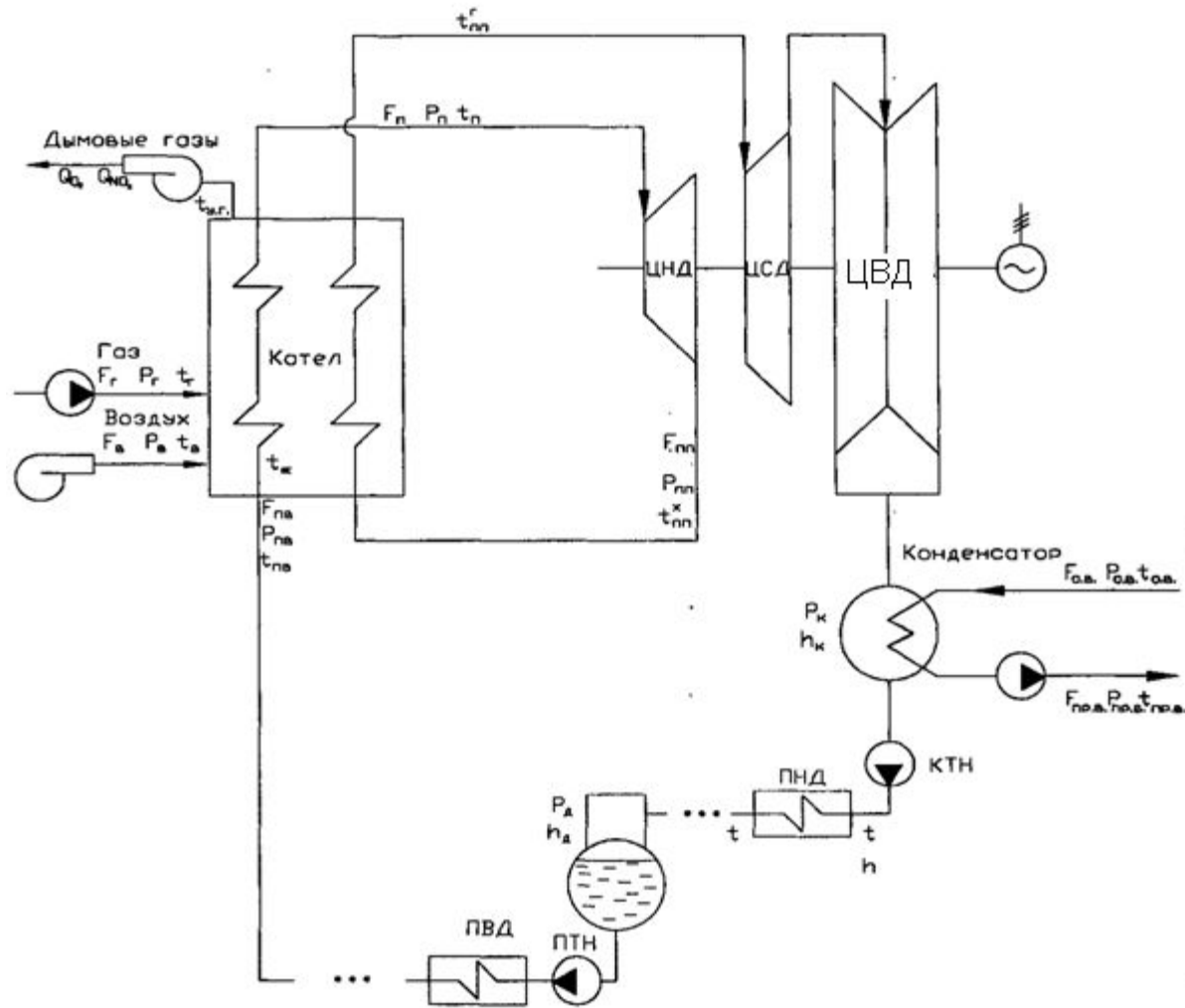
доц., к.т.н. Мухин В.С.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДОСТОВЕРНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

На современных электрических станциях теплотехнический контроль представлен широким спектром информационно-измерительных систем, предназначенных для формирования измерительной информации о ходе технологического процесса, состоянии объекта и оборудования.

Измерительная информация – это количественные сведения о некоторых свойствах материального объекта, полученные опытным путем с помощью технических средств, в результате их взаимодействия с материальным объектом.

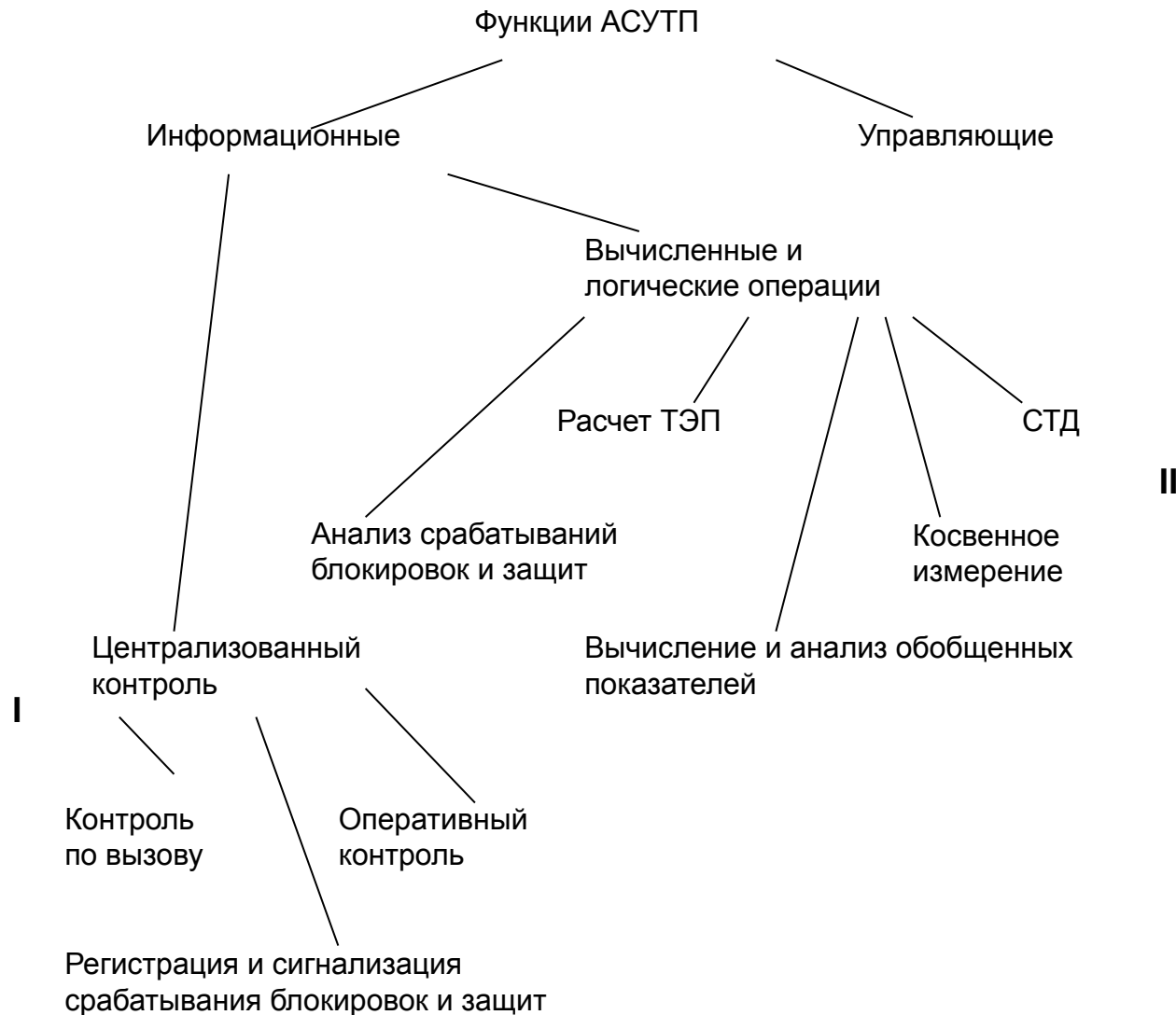
Упрощенная тепловая схема энергоблока



Системы теплотехнического контроля и автоматизации принадлежат одной управляющей системе – это автоматизированной системе управления теплоэнергетическими процессами (АСУТП).

Функции АСУТП делятся на информационные и управляющие. Информационные функции реализуются совокупностью подсистем АСУТП, а именно: информационно-измерительной, технологической сигнализации, технической защиты.

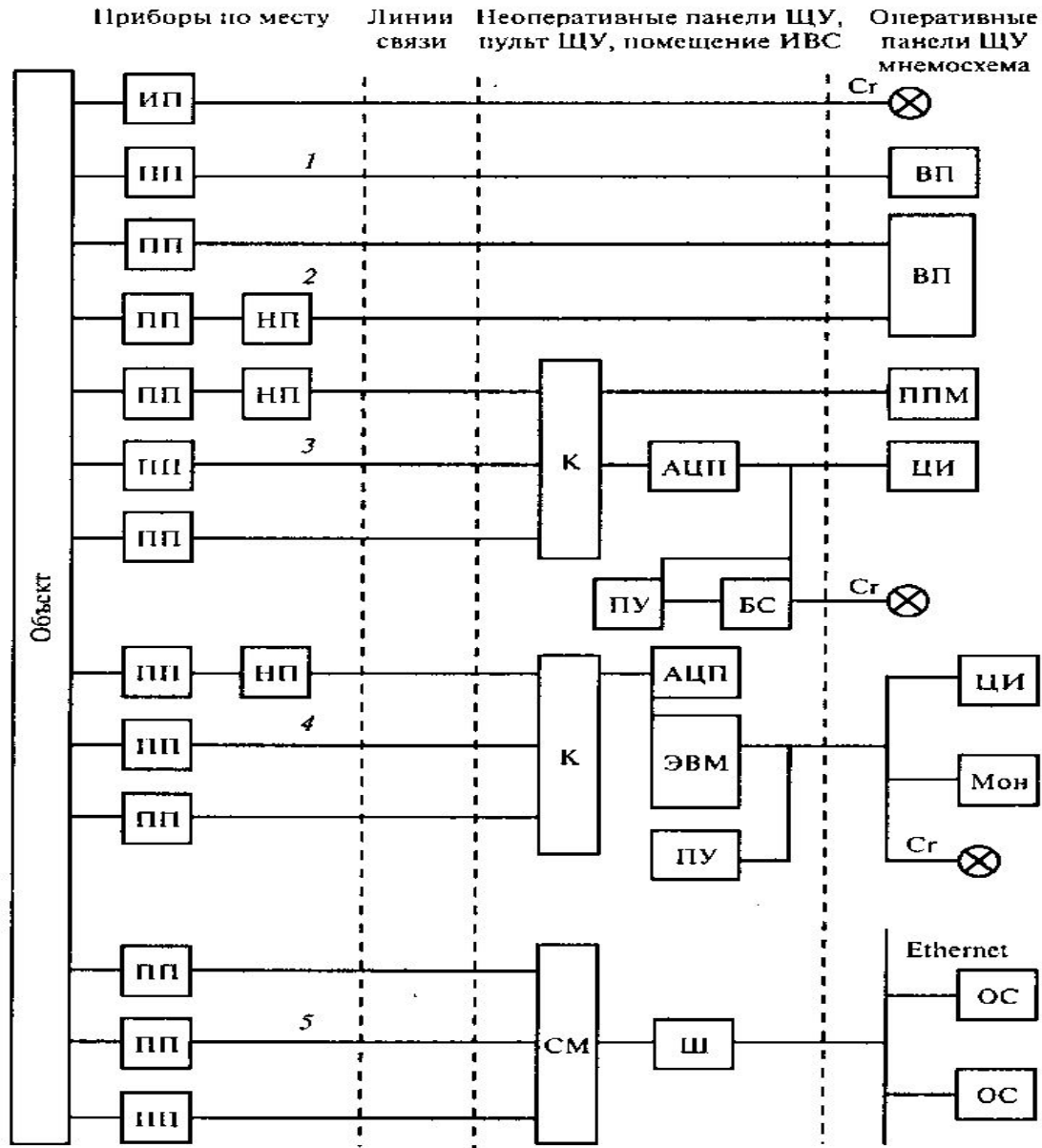
Структурная схема функций АСУТП



Способы формирования измерительной информации

В зависимости от важности измеряемых параметров, сложности технологического объекта и мощности вычислительных управляющих машин используются несколько способов (уровней) формирования измерительной информации

Структура преобразования и представления измерительной информации



МЕТРОЛОГИЯ – НАУЧНАЯ БАЗА ДОСТОВЕРНОЙ И ТОЧНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Ведущую роль измерений в науке определил основоположник метрологии в России Д.И. Менделеев высказыванием: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры». Как бы перекликаясь с ним, основоположник метрологии в Англии Томпсон утверждал: «Каждая вещь известна лишь в той степени, в какой её можно измерить».

Измерения количественно характеризуют окружающий материальный мир. Можно выделить три главные функции измерений в отраслях человеческой деятельности:

- учет продукции, исчисляющейся по массе, длине, объёму, расходу, мощности, энергии и т.д.;
- измерения физических величин, технических параметров, характеристик процессов, состава и свойства веществ, проводимые при научных исследованиях, испытаниях и контроле продукции, в медицине, сельском хозяйстве и других отраслях;
- измерения, проводимые для контроля и регулирования технологических процессов (особенно в автоматизированных производствах) и для обеспечения нормального функционирования их.

Основные метрологические понятия и термины

Метрологическая терминология – это специализированный научный язык метрологии.

Основным понятием метрологии является определение самого слова «Метрология». Слово «метрология» образовано из двух греческих слов: метрон – мера и логос – учение. Дословный перевод слова «метрология» – учение о мерах.

МЕТРОЛОГИЯ в современном понимании – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ – такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной доверительной вероятностью.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА – это свойство, общее в качественном отношении многим объектам, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. К физическим величинам в теплоэнергетике относятся: температура, давление, расход, уровень, концентрация определяемого компонента в газовой смеси, влажность, концентрация вещества растворенного в воде и др.

Рассмотренный термин «физическая величина» можно заменить краткой формой основного термина: словом – «величина» для описания физических величин, например: температуры, давления, влажности и т.п. Однако, словом «величина» часто пытаются выразить размер данной конкретной физической величины. Это неверно, так как говорить: величина температуры нельзя, иначе получается величина величины.

ПОВЕРКА – это совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы или другими уполномоченными на то органами, организациями с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.

КАЛИБРОВКА – это совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору.

ГРАДУИРОВКА средств измерений – нанесение отметок на шкалу или определение значений измеряемой величины, соответствующих уже нанесенным условным отметкам. Целью градуировки является определение градуировочной характеристики средств измерений. В отличие от «поверки», «градуировка» не дает заключения о точности средств измерений.

Основные характеристики измерений

Основными характеристиками измерений являются: принцип измерений, метод измерений, погрешность, правильность и достоверность измерений.

Принцип измерения – физические явления или совокупность физических явлений, положенных в основу измерений.

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерения. Метод измерения обычно обусловлен устройством средства измерения.

Погрешность измерений – это отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Правильность и достоверность измерений характеризуют их качество. *Правильность* измерений отражает близость к нулю систематических погрешностей результатов, а *достоверность* характеризует доверие к результатам измерений, то есть наличие вероятностных характеристик их отклонений от истинных значений соответствующих величин.

Средства измерений и их классификация

Средство измерения (СИ) – техническое средство, предназначенное для измерений, вырабатывающее сигнал (показание), несущее информацию о значении измеряемой величины, или воспроизводящее величину заданного (известного) размера в течение известного интервала времени.

СИ – это меры, компараторы, измерительные приборы, измерительные преобразователи и измерительные системы. Для средств измерений должны быть установлены нормируемые метрологические характеристики (НМХ).

НМХ – это совокупность метрологических характеристик данного типа СИ, устанавливаемые нормативными документами на средства измерений.

В зависимости от предназначения в измерительном процессе СИ подразделяются на:

- меры;
- измерительные приборы;
- измерительные преобразователи
- измерительные устройства;
- измерительные системы;

Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Мера выступает в качестве носителя единицы физической величины. Примеры мер: нормальный элемент – мера Э.Д.С. с номинальным напряжением 1В; магазин сопротивлений; конденсатор переменной емкости.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины Y в установленном диапазоне и в форме N доступной для непосредственного восприятия человеком (оператором).

Измерительный преобразователь – техническое средство, с НМХ, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи, но не поддающийся непосредственному наблюдению человеком (оператором).

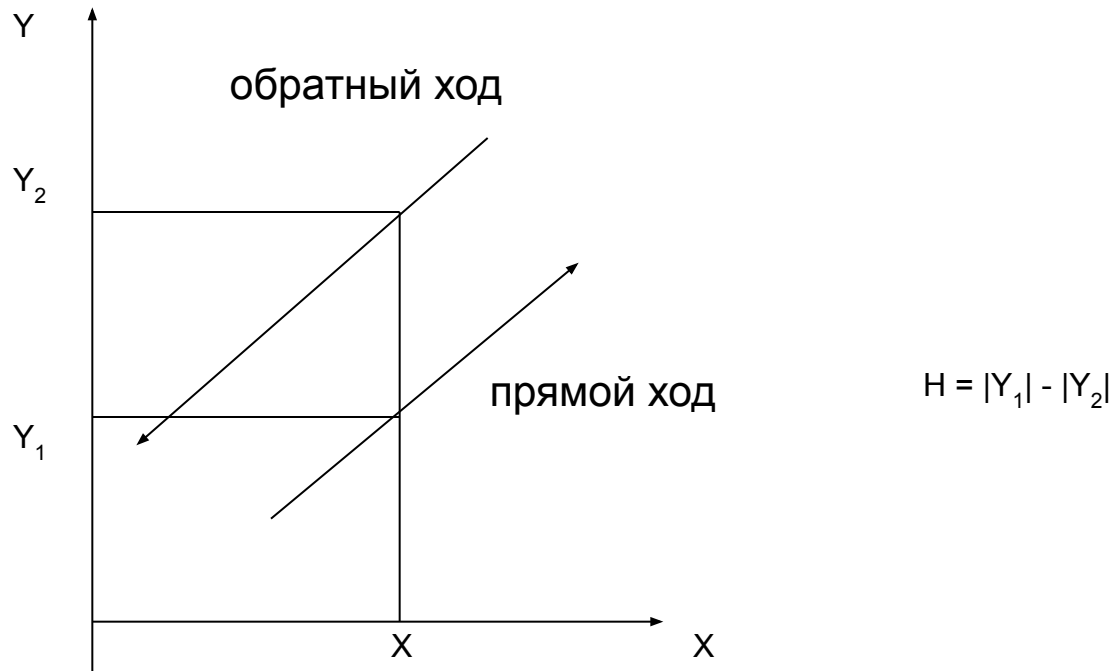
В зависимости от занимаемого места в измерительной цепи преобразователи делятся на: первичные, промежуточные, масштабные и передающие.

Первичным преобразователем называют измерительный преобразователь, имеющий непосредственный контакт с измеряемой величиной, т.е. первый в измерительной цепи. К ним можно отнести: термоэлектрические преобразователи (термопары), термопреобразователи сопротивления, сужающее устройство расходомера.

Метрологические характеристики средств измерений

Метрологические характеристики – это, по сути, «визитная карточка» средств измерений. Располагая МХ средств измерений легко решить вопрос оптимального выбора комплекта СИ для получения достоверной и точной информации.

Вариация средств измерений. Неоднозначность градуировочной характеристики при увеличении и уменьшении измеряемой (входной) величины характеризуется вариацией.



Графическое представление вариации СИ.

Класс точности средств измерений.

Это нормируемая метрологическая характеристика, которая присваивается средствам измерений при их разработке с учетом результатов государственных приемных испытаний.

Класс точности – обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых погрешностей, а так же другими характеристиками, влияющими на точность

Примеры форм нормирования погрешностей и обозначений классов точности СИ.

Форма нормирования основной погрешности	Формула расчета предела основной допускаемой погрешности	Пределы основной допускаемой погрешности	Обозначение класса точности	
			В документации	На С.И.
Абсолютная	$\Delta_x = X - X_d$ $\Delta_{np} = \pm [a + b(X/X_n)]$	$\Delta_{np} = \pm 0,2^\circ\text{C}$ $\Delta_{np} = \pm (0,3 + 0,005/t), ^\circ\text{C}$	$0,2^\circ\text{C}$ $0,3 + 0,005/t$	A B
Относительная	$\delta_x = \Delta_x / X_d \cdot 100$ $\delta_{np} = \pm [c + d(X_B/X - 1)] 100$	$\delta_{np} = \pm 1,5\%$ $\delta_{np} = \pm [0,3 + 0,02(X_B/X - 1)], \%$	$1,5$ $0,3/0,02$	$1,5$ $0,3/0,02$
Приведенная	$\gamma_x = \Delta_x / N \cdot 100$	$\gamma_{np} = \pm 2\%$	2	2

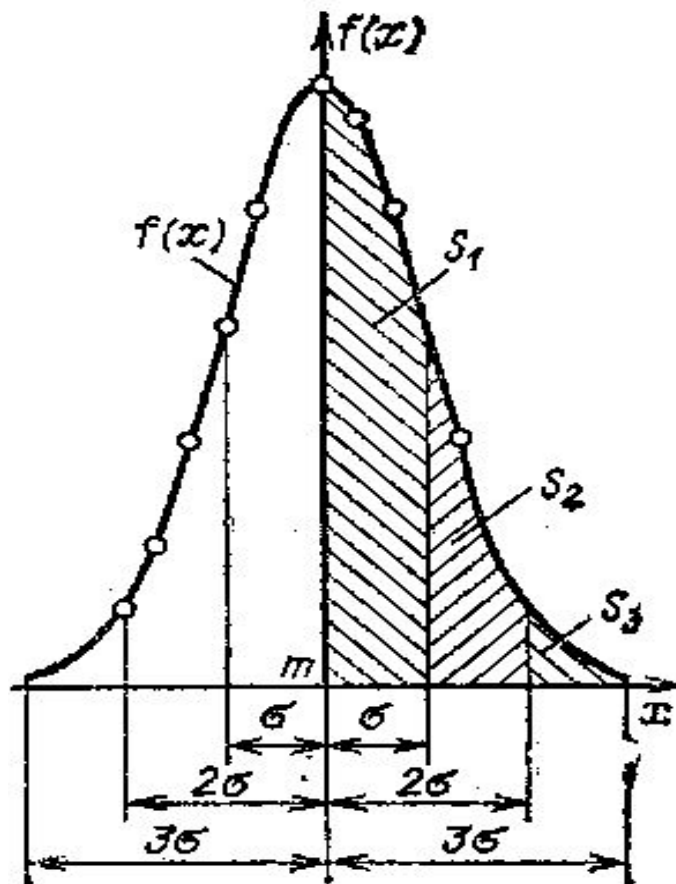
Оценка точности прямых измерений с многократными наблюдениями

Прямые измерения с многократными наблюдениями – это, как правило, лабораторные измерения, выполняемые в нормальных условиях с использованием образцовых средств измерений, в которых устранены известные систематические погрешности.

Наблюдения с исключенными систематическими погрешностями представляют статистический ряд случайных величин, принадлежащих нормальному распределению при числе наблюдений более 50. Для оценки результата измерений при многократных наблюдениях используется доверительный интервал.

Доверительный интервал связан с другим важным понятием – доверительной вероятностью. Другими словами вероятность – это площадь под кривой плотности вероятности на заданном интервале. Доверительная вероятность может принимать значения в интервале от 0 до 1.

На практике часто пользуются симметричными интервалами, кратными σ .



Нормальное распределение погрешностей

Отсюда возникает понятие доверительного интервала. Доверительным называют интервал, в котором с заданной доверительной вероятностью находится истинное значение измеряемой величины.

В общем случае доверительный интервал для нормального закона распределения может быть определен из выражения:

$$m_x - \varepsilon_x \leq x \leq m_x + \varepsilon_x,$$

или

$$m_x - t_p \sigma_x \leq x \leq m_x + t_p \sigma_x,$$

где $\varepsilon_x = t_p \sigma_x$ - полуширина доверительного интервала; t_p - коэффициент, определяемый по интегралу вероятностей для заданной вероятности

При малом числе наблюдений ($n < 15$) имеет место закон распределения Стьюдента для случайных величин. Для определения доверительного интервала при заданной доверительной вероятности используют таблицы распределения Стьюдента, в которых устанавливается связь между числом наблюдений n и коэффициентом t_p , определяющим ширину доверительного интервала для различных доверительных вероятностей: $t_p = f(P, n - 1)$. Доверительный интервал в этом случае определяется выражением

$$\tilde{m}_x - t_p \tilde{\sigma}_x \leq x \leq \tilde{m}_x + t_p \tilde{\sigma}_x$$

Оценка точности результата косвенных измерений

$$\Delta_y = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^2 \sigma_{x_n}^2}$$

Оценка точности технических измерений, выполняемых измерительными системами

$$\delta_{u.c.} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}$$

$$\sum_{i=1}^n M(\Delta_s) - \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma^2(\Delta_s) + \sum_{i=1}^n \sigma^2\left(\frac{0}{\Delta}\right) + \sum_{i=1}^n \frac{H^2}{12}} < \Delta_{u.c.} < \sum_{i=1}^n M(\Delta_s) + K \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma^2(\Delta_s) + \sum_{i=1}^n \sigma^2\left(\frac{0}{\Delta}\right) + \sum_{i=1}^n \frac{H^2}{12}},$$

Метрологическое обеспечение АСУТП ТЭС

Основной целью метрологического обеспечения является не достижение высокой точности, а гарантия единства и достоверности результатов измерений. Следует указать научные, организационные и нормативно-технические основы метрологического обеспечения измерительных систем. Научной основой метрологического обеспечения ИС является – МЕТРОЛОГИЯ. Организационной основой – государственные метрологические службы.

Нормативно-технической основой является система государственных стандартов и других нормативных и методических документов.

На теплоэнергетических объектах одной из первых задач МО является анализ состояния измерений.

Задачи метрологического обеспечения АСУТП

Анализ
состояния
измерений на
ТЭС

Разрабо
тка
методик
и
выполне
ния
измерен
ий

Метрол
огическ
ая
аттестац
ия МВИ

Метрологическая
экспертиза
проектов АСУТП
ТЭС

Установление
оптимальных норм
точности

Оценка
погрешности
измерений с
заданной
вероятностью

Разработка
поверочных
схем

Ведомственная
поверка СИ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Измерить температуру непосредственно, т. е так, как измеряют длину, вес, объем или время нельзя, так как в природе не существует эталона или образца единицы этой величины. Определение температуры тела производят посредством наблюдения за изменением свойств термометрического (рабочего) вещества, которое, будучи приведённым, в соприкосновение с нагретым телом, вступает с ним через некоторое время в тепловое равновесие. Такими свойствами рабочего вещества являются: объемное расширение, изменение электрического сопротивления, термоэлектродвижущей силы, энергетической яркости излучения и ряд других.

В зависимости от свойств рабочего вещества все первичные средства измерения температуры делятся на термометры и пирометры. Термометры реализуют контактный метод измерения, а пирометры - бесконтактный.

Контактный метод измерения представлен следующими средствами измерения:

стеклянные термометры (термометрическое вещество – жидкость, свойство, меняющееся от температуры – объемное расширение), диапазон измеряемых температур: от -200 до 600 °С;

термометры манометрические (термометрическое вещество – газ, жидкость, низкокипящая жидкость; свойство – изменение давления термометрического вещества в герметически замкнутом объеме от температуры), диапазон измеряемых температур: от -200 до 1000 °С;

термоэлектрические преобразователи (основаны на зависимости термоэлектродвижущей силы от температуры); диапазон измеряемых температур: от -200 до 2200 °С;

термопреобразователи сопротивления (основаны на способности различных материалов изменения электрического сопротивления с изменением температуры); диапазон измеряемых температур: от -270 до 1100 °С.

Бесконтактный метод измерения реализуют следующие средства измерений:

квазимонохроматические (оптические) пирометры – основаны на зависимости спектральной энергетической яркости абсолютно черного тела от его абсолютной температуры, диапазон измеряемых температур: от 700 до 6000 °С;

пирометры спектрального отношения (цветовые) – основаны на использовании зависимости от температуры тела отношения спектральных энергетических яркостей для двух (или более) фиксированных длин волн, диапазон измеряемых температур: от 300 до 2800 °С;

пирометры полного излучения (радиационные) – основаны на зависимости интегральной энергетической яркости излучения от температуры, описываемой для абсолютно черного тела законом Стефана-Больцмана; диапазон измеряемых температур: от -50 до 3500 °С.

Стеклянные термометры

Принцип действия основан на объемном расширении термометрического вещества, заключенного в термометре, от температуры. Выпускаются промышленностью следующие термометры: технические, образцовые, повышенной точности и специальные (медицинские, метеорологические, почвенные и т.д.). По конструктивному исполнению различают: палочные и с вложенной шкалой.

Преимущества: простота, дешевизна и высокая точность. Допускаемая погрешность не должна превышать деления шкалы для технических термометров, для лабораторных и образцовых - допускаемая погрешность оговаривается в технических требованиях.

Недостаток: плохая видимость шкалы, невозможность передачи показаний на расстояние, неремонтнопригодность.

Манометрические термометры

Манометрические термометры – это технические средства для измерения температуры, работающие в диапазоне от – 200 до 1000 °С. Класс точности этих приборов выбирается из ряда: 0,6; 1; 1,5; 2,5; 4.

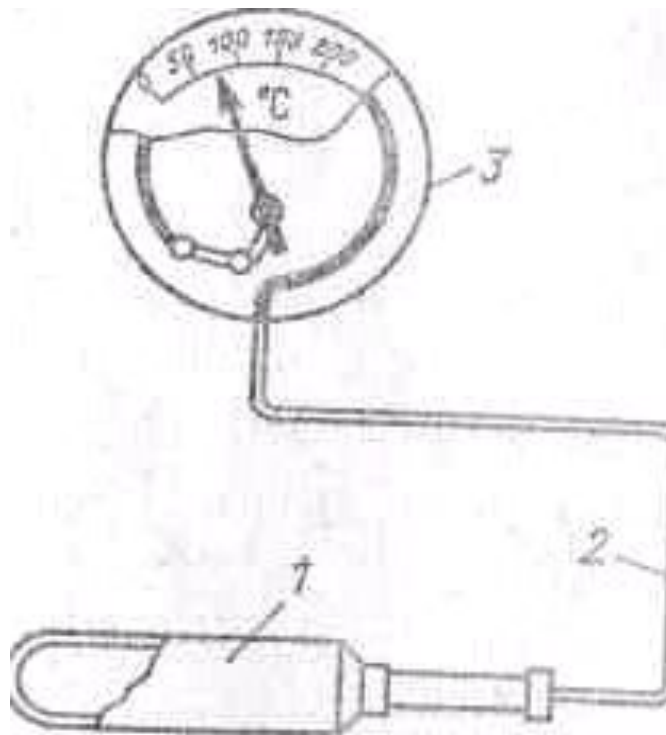
Принцип действия основан на зависимости давления термометрического вещества в герметически замкнутом объеме от температуры. Термосистема манометрического термометра (рис.3.1) состоит из: термобаллона 1, капилляра 2 и манометрической пружины 3, один конец которой соединен с капилляром, а другой, запаянный конец, соединен со стрелкой измерительного прибора.

Манометрические термометры в зависимости от вида термометрического вещества, заполняющего термосистему, подразделяются на: газовые, жидкостные и конденсационные.

Однако цепочка преобразований одинакова для всех типов манометрических термометров и имеет вид:

$$t \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow \Delta V_{\text{терм}} \rightarrow \Delta P \rightarrow h \rightarrow N_{\text{пр}}$$

Манометрические термометры



**Термосистема
манометрического
термометра**

Измерение температур термоэлектрическими термометрами

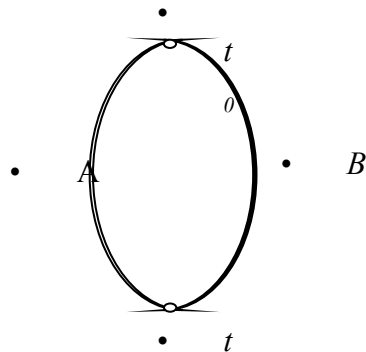
Измерение температур термоэлектрическими термометрами – это процесс, осуществляемый комплектом последовательно соединенных технических средств. Эти комплекты могут отличаться количеством технических средств и их типами при наличии одного и того же датчика – термоэлектрического преобразователя.

Применение термоэлектрического преобразователя (ТЭП) для измерения температуры основано на зависимости термоэлектродвижущей силы термопары от температуры.

ТЭП – первичный измерительный преобразователь, преобразующий температуру в термоЭДС. Он устанавливается непосредственно на объекте (по месту). Область измеряемых температур от -200 до 2200°C ; кратковременное измерение до 2500°C

Основы теории ТЭП

В основе теории ТЭП лежит явление термоэлектричества открытого в XVIII веке. Суть явления заключается в том, что в замкнутом контуре, состоящем из двух разнородных металлических проводников А и В непрерывно течет ток (термоток), если места спаев имеют разные температуры t и t_0 .



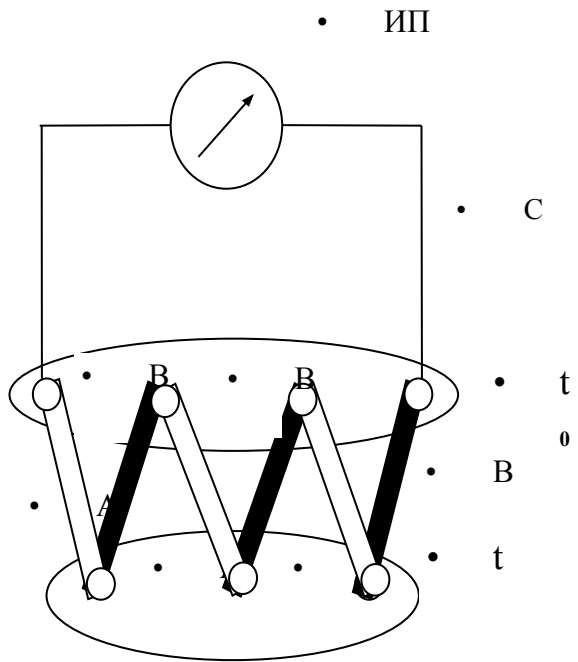
Замкнутый контур из двух разнородных металлических проводников А и В

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

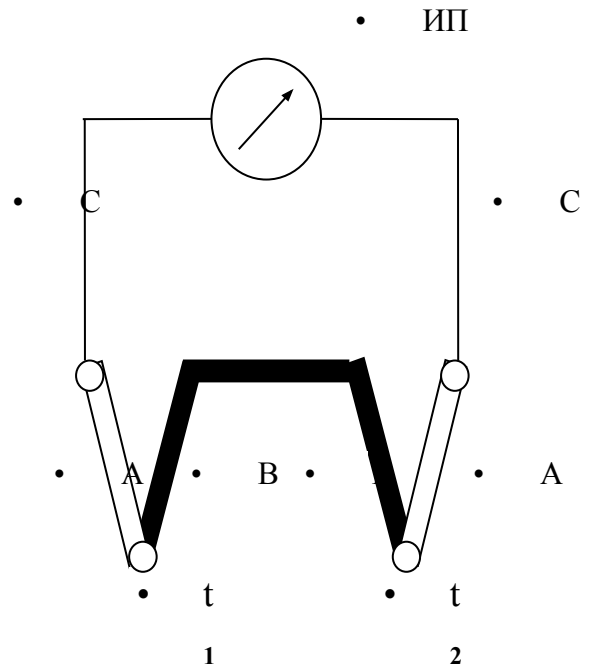
Для решения отдельных задач измерений температуры применяются различные способы соединения термопар. Наиболее распространенные из них – термобатарея и дифференциальная термопара. Термобатарея – это последовательно включенные однотипные термопары, рабочие концы которых имеют измеряемую температуру t , а свободные – t_0 .

Такое включение применяют для измерений при малых разностях температур рабочего t и свободного t_0 концов. При этом термоЭДС, развиваемая n термопарами, суммируется, т.е. $E_{\text{терб}} = n \cdot E_{\text{АВ}}$. Термобатарея, увеличивая термоЭДС, позволяет уменьшить погрешность измерения её, но при этом не повышает существенно точность измерения температуры.

Дифференциальная термопара – это две однотипные термопары, но включенные встречно. При этом располагают рабочий спай одной из термопар в точке с температурой t_1 , а второй - с температурой t_2 .



Термобатарея



Дифференциальная термопара

Стандартные ТЭП

Стандартные ТЭП – это такие средства измерения, которые выпускаются промышленностью в соответствии с ГОСТ Р50431 - 92 и имеют стандартную градуировочную характеристику, полученную при $t_0 = 0$ (7), которой присвоено название – номинальная статическая характеристика преобразования (НСХ). НСХ задается в виде таблиц или формул и обозначается условным символом (например: НСХ ХА; НСХ К и т.д.).

Уравнение стандартной ТЭП можно представить в виде:

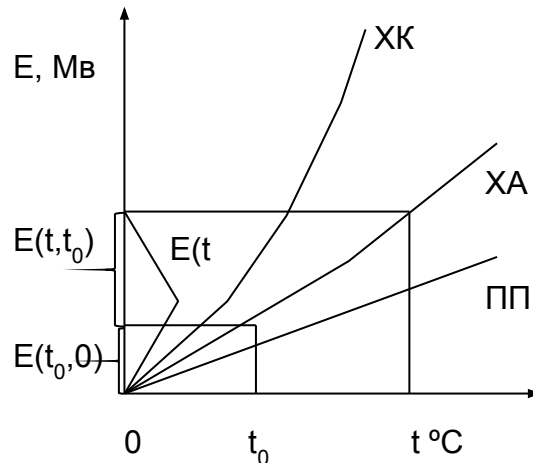
$$E(t, t_0) = E(t, 0) - E(t_0, 0)$$

где - $E(t, t_0)$ - термоЭДС, измеряемая на клеммах головки стандартной ТЭП;
 $E(t_0, 0)$ – термоЭДС стандартной ТЭП при температуре рабочего конца t_0 и температуре свободных концов 0°C ;

$E(t, 0)$ – термоЭДС стандартной ТЭП, соответствующая измеряемой температуре $t^\circ\text{C}$.

Из уравнения можно определить $E(t, 0)$:

$$E(t, 0) = E(t, t_0) + E(t_0, 0)$$



**Графическое
представление уравнения
стандартной термопары**

Учет поправки на $E(t_0, 0)$ – это та реальность, о которой необходимо помнить, при измерении температуры стандартными ТЭП.

Значение поправки зависит от правильности определения значения t_0 , связанного с реальными условиями установки ТЭП на объекте. Реальные условия будут зависеть от режима работы установки, температуры окружающего воздуха и других факторов. Отсюда возникает необходимость в удлиняющих термоэлектродных проводах, которые позволят отвести свободные концы в такое место, где будет расположен автоматический компенсатор, содержащий термочувствительный элемент, температура которого равна t_0 .

Удлиняющие термоэлектродные провода

Удлиняющие термоэлектродные провода (ТЭ – провода) должны быть термоидентичными удлиняемым термоэлектродам, чтобы исключить возникновение паразитной термоЭДС.

Требования к ТЭ – проводам:

- удлиняющие ТЭ – провода должны иметь ту же градуировочную характеристику в интервале температур от 0 до 1000С, что и сам ТЭП, т.е. каждый термоэлектрод должен удлиняться своим ТЭ проводом;
- места соединения ТЭ – проводов с термоэлектродами ТЭП должны иметь одинаковую температуру («теорема о третьем проводнике»).

Таким образом, подключение к ТЭП удлиняющих проводов аналогично удлинению термоэлектродов, т.е. концы ТЭ – проводов становятся свободными, и их температура определяет действующую $E(t_0, 0)$, на которую необходимо вводить поправку.

Способы введения поправки на $E(t_0, 0)$

Поправка на $E(t_0, 0)$ является систематической погрешностью сопровождающей метод измерения температуры стандартными ТЭП.

простейшим способом введения поправки является – расчетный значение поправки $E(t_0, 0)$ можно создать в диагонали неуравновешенного моста, включенного в цепь ТЭП, как в качестве отдельного средства, так и встроенного в измерительный прибор или преобразователь.

Введение поправки на $E(t_0, 0)$ возможно произвести путем создания падения напряжения на медном резисторе R_m от $U_{ст}$ в контуре, включенном в цепь измерительного прибора (РП – 160).

В автоматизированных системах управления тепловыми процессами в качестве компенсирующих устройств, применяются соединительные коробки: КС – 345, КС 313, УК 82-0. Для введения поправки в них используются платиновые термометры сопротивления расположенные внутри коробки рядом со свободными концами ТЭП. Сигналы от соединительных коробок заводятся в вычислительные устройства (ВУ) для обработки и дальнейшего использования уже исправленной достоверной информации.

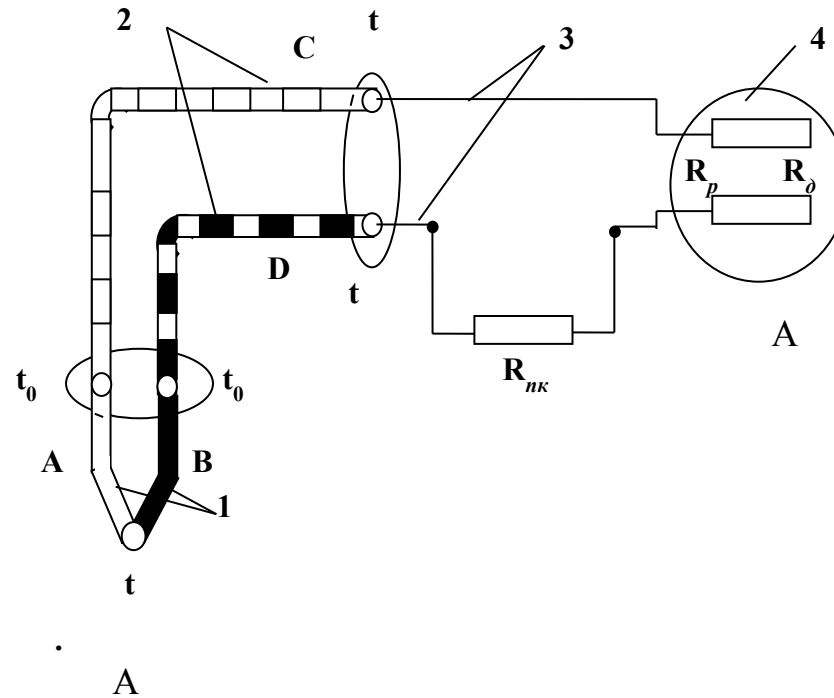
Способ введения поправки на t_0 в автоматических потенциометрах отличается от рассматриваемых выше тем, что измерительная система в потенциометрах реализует измерение не $E(t,0)$, а $E(t,t_0)$

В современных интеллектуальных микропроцессорных средствах для измерения температуры вопрос введения поправки на $E(t_0, 0)$ решается расчетно-программным способом по следующей схеме согласно:

- на вход микропроцессорного средства от ТЭП поступает термоЭДС $E(t, t_0)$;
- температура свободных концов t_0 измеряется терморезистором R_t (медным или платиновым), расположенным у клемм подсоединения ТЭП;
- по измеренному значению R_t в микропроцессоре (МП) рассчитывается значение t_0 и выводится по требованию на дисплей прибора;
- по рассчитанному значению t_0 в МП определяют $E(t_0, 0)$ по НСХ ТЭП и это значение суммируется с $E(t, t_0)$;
- по $E(t, 0)$ в МП определяют t по НСХ ТЭП и значение выводится на дисплей прибора

Средства измерения и преобразования термоЭДС

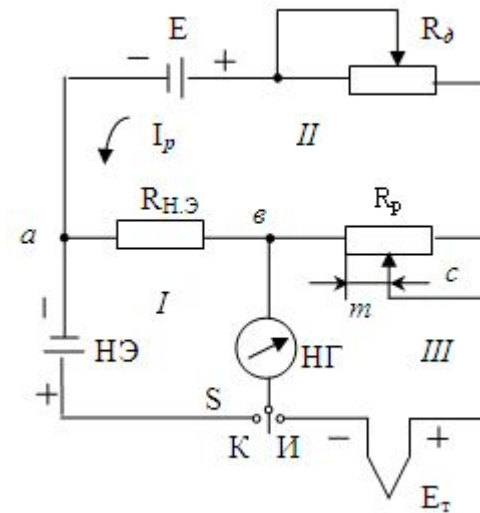
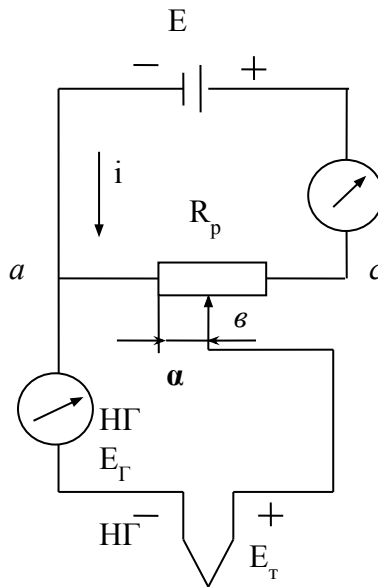
Измерение термоЭДС с помощью милливольтметра – это прямой метод измерения



Компенсационный метод измерения термоЭДС ТЭП

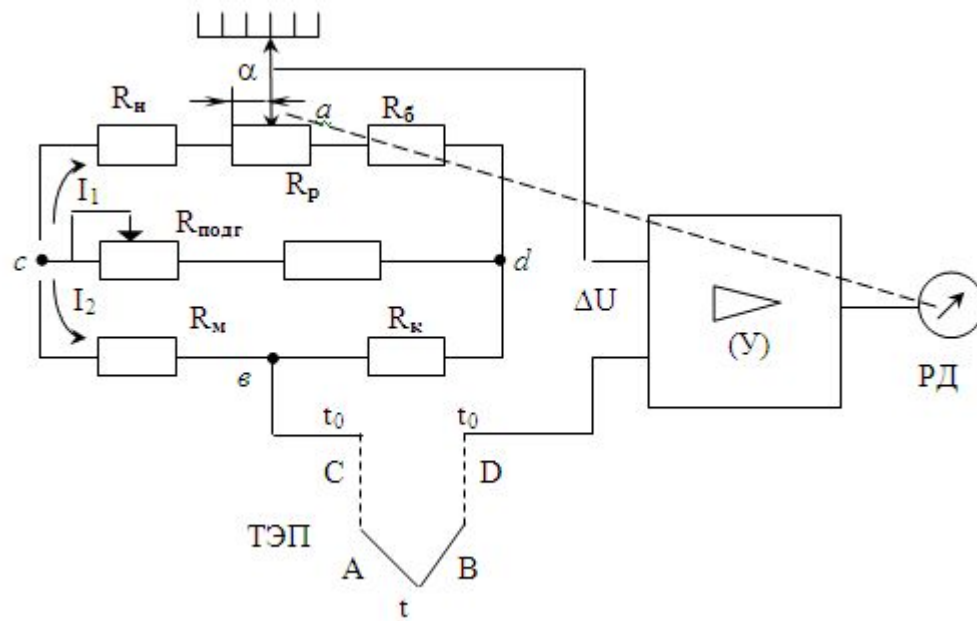
- Компенсационный метод измерения термоЭДС основан на уравнивании измеряемой величины другой величиной, известной с высокой степенью точности

- Схема потенциометра с постоянной силой тока



Автоматические потенциометры

Автоматические потенциометры – это технические средства для измерения температуры в широком диапазоне, которые применяются в комплекте с ТЭП. В основе измерения термоЭДС лежит компенсационный метод, Этот метод реализуется автоматически, а также автоматически вводится поправка на температуру свободных концов. Они представляют класс вторичных приборов, как показывающих, так и самопишущих и регистрирующих. Выпускаются одноточечные и многоточечные средства, с сигнализирующими устройствами и без них



$$E(t, t_0) = E(t, 0) - E(t_0, 0)$$

$$U_{AB} = I_1 \cdot (\alpha R_p + R_H) - I_2 \cdot R_M$$

Измерение температуры с помощью термопреобразователей сопротивления

Измерение температуры с помощью термопреобразователей сопротивления (ТПС) является контактным методом измерения. Для реализации этого метода используется комплект, состоящий из первичного измерительного преобразователя ТПС, линии связи и вторичного прибора. Область измеряемых температур от -270 до 1100 °С

Стандартные ТПС – это такие первичные средства измерения, которые выпускаются промышленностью в соответствии ГОСТ Р50353- 92 и имеют стандартную градуировочную характеристику, называемую номинальной статической характеристикой преобразования (НСХ). НСХ задается в виде таблиц или формул.

Медные ТПС. Они нашли широкое применение в энергетике, работают в интервале температур от -200 до +200 °С. Медь дешевый металл, его легко получить в химически чистом виде, но главное – это линейная градуировочная характеристика.

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

R_0 - сопротивление при 0°С и значение его определяет тип условного обозначения стандартной градуировки для медных ТПС, выбираемой из ряда: 10М, 50М, 100М (новые) и из старых Гр 23 (53 Ом) и Гр 24 (100 Ом).

Платиновые ТПС. Чистая платина является одним из наиболее распространенных металлов. Платиновые ТПС применяются для измерения температур от -260 до $+1100^{\circ}\text{C}$. Сопротивление платины имеет сложную нелинейную зависимость от температуры:

В интервале температур от 0 до 630°C :

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

В интервале температур от -183 до 0°C :

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t - 100)]$$

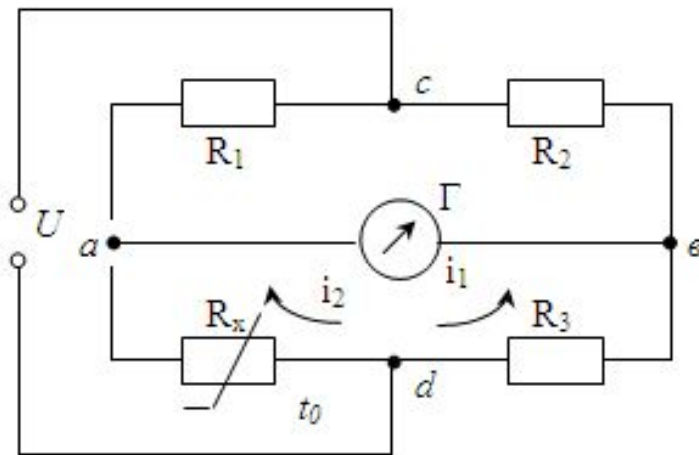
R_0 - значения сопротивления при 0°C , выбираются из ряда: 1, 5, 10, 50, 100 и 500 Ом, в эксплуатации находятся термометры с $R_0 = 46$ Ом.

Условные обозначения номинальной статической характеристики преобразования (НСХ) состоит из двух элементов: 1П, 5П, 10П, 50П, 100П, 500 П, где цифры, соответствуют значению R_0 , а буква – названию материала. Для $R_0 = 46$ Ом соответствует Гр. 21 (старое обозначение)

Методы измерения сопротивления ТПС

Для измерения сопротивлений используются следующие методы и измерительные схемы: одно и двух мостовые схемы (уравновешенные и неуравновешенные), логометры и компенсационный метод.

Схема неуравновешенного моста



Уравновешенные мосты

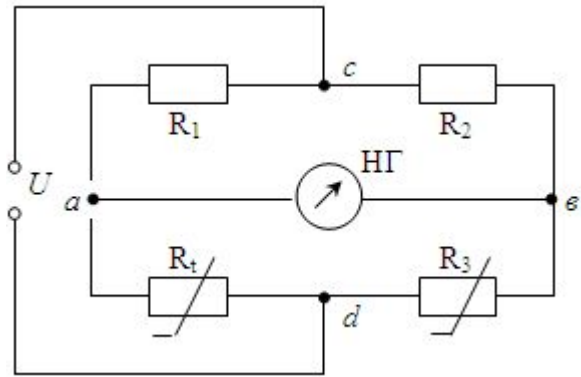


Схема уравновешенного моста

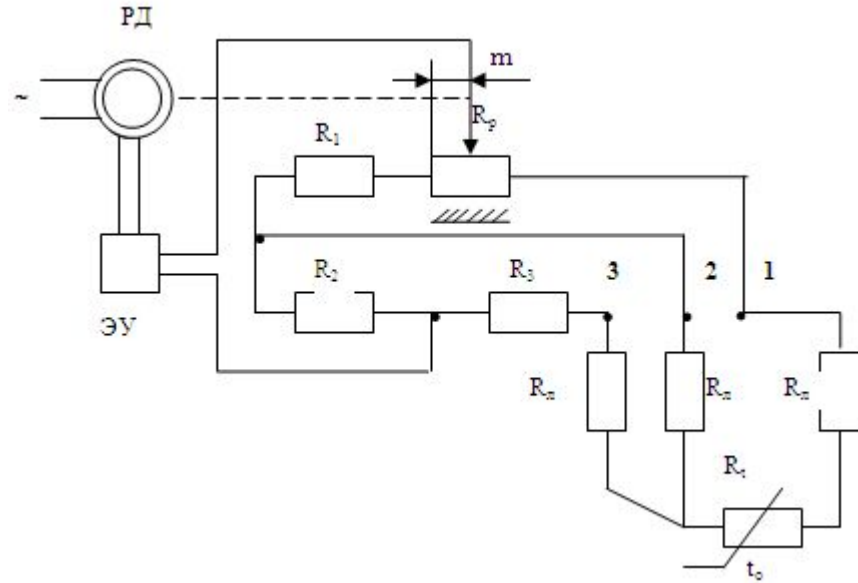
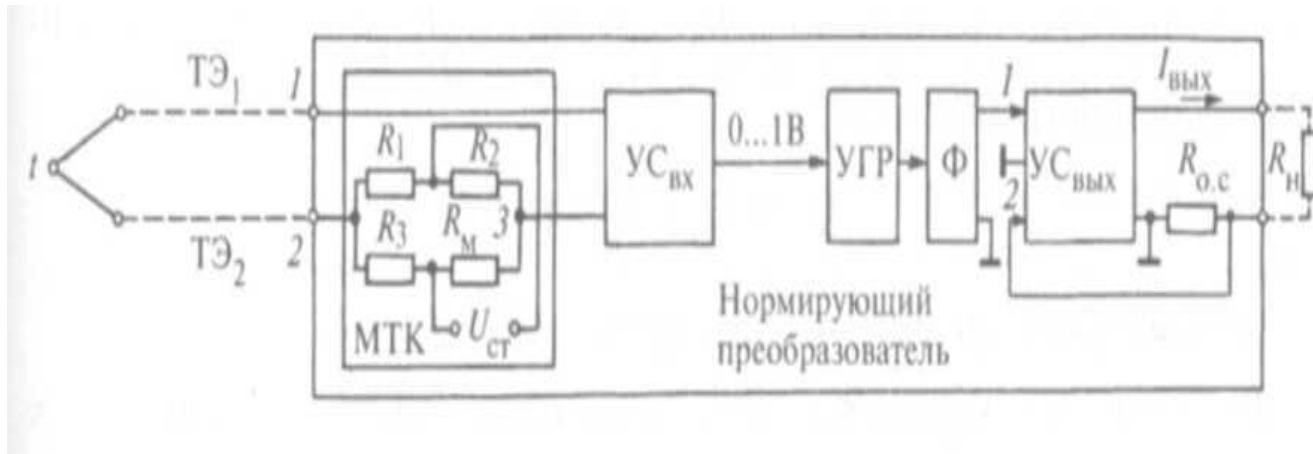


Схема автоматического уравновешенного моста

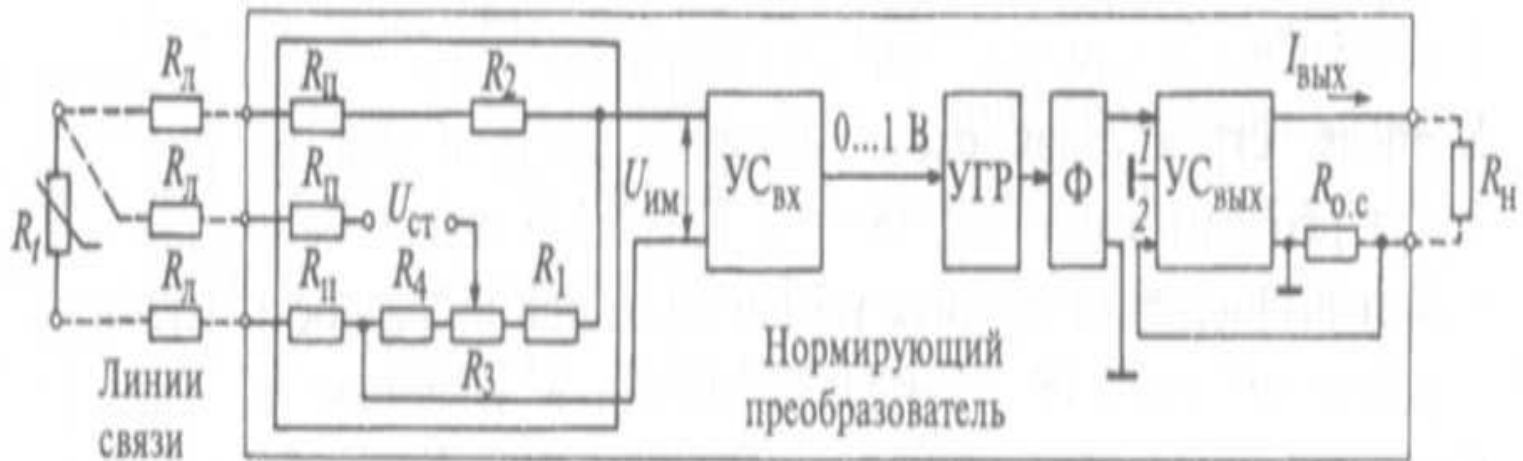
Нормирующий преобразователь для ТЭП

Нормирующий преобразователь предназначен для линейного преобразования термоЭДС в нормированный (унифицированный) токовый сигнал постоянного тока от 0 до 5мА, от 0 до 20мА или от 4 до 20мА.



Структурная схема нормирующего преобразователя для ТЭП

Нормирующий преобразователь для ТПС



Структурная схема нормирующего преобразователя для ТС

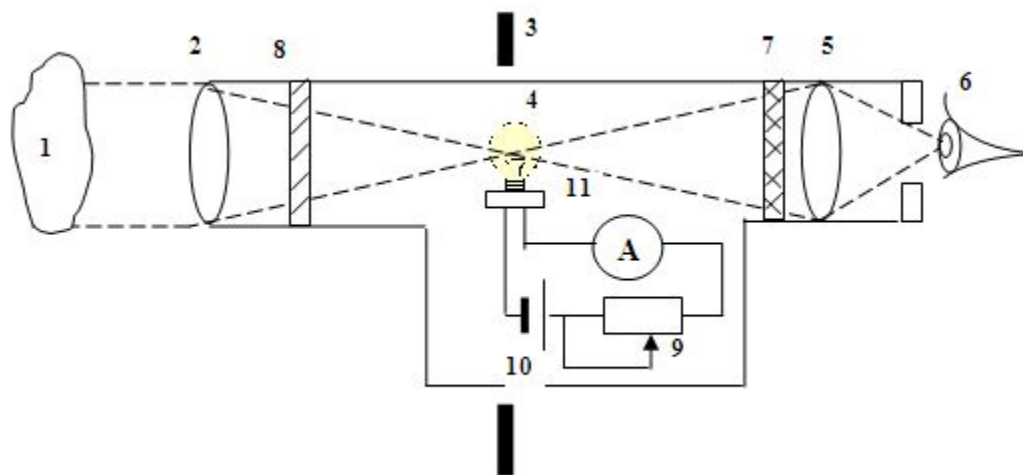
Пирометры. Бесконтактные методы измерения температуры

Пирометры – это технические средства для измерения температуры в интервале от 20оС до 6000°С. В основе лежит метод измерения температуры тел по излучению. В отличие от термометров, имеющих непосредственный контакт с измеряемой средой, пирометры не искажают температурного поля объекта, т.к. не имеют с ним контакта, в этом их преимущество. Однако, по точности измерения температуры они уступают контактными средствами измерения. Этот недостаток обусловлен тем, что в основе метода лежат законы излучения, открытые для абсолютно черных тел и применение их для реальных тел сопровождается появлением методической погрешности.

Квазимонохроматический пирометр с исчезающей нитью

НИТЬЮ

Квазимонохроматический (оптический) пирометр с исчезающей нитью – это техническое средство, предназначенное для измерения температуры в видимой области спектра от 700 до 4000° С. Приборы показывают яркостную температуру, отличную от действительной, и при этом $T_{я} < T_{д}$. Эта объективная систематическая погрешность измерения входит в погрешность прибора. Если точность измерения реальной температуры, выполненная прибором, не удовлетворяет потребителя, то зная $T_{я}$ и спектральный коэффициент излучения реального тела $\epsilon_{\lambda T}$ можно вычислить $T_{д}$, используя известную зависимость, указанную в справочной литературе.



ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И РАЗНОСТИ ДАВЛЕНИЙ

Давление - нормально распределенная сила, действующая со стороны одного тела на единицу поверхности другого. Единицей измерения в системе СИ является паскаль (Па), который равен давлению, создаваемому силой в один ньютон, действующий на площадь в один квадратный метр (Н/м²). Применяются также кратные единицы кПа и МПа. Допускается использование внесистемных единиц таких, как килограмм-сила на квадратный сантиметр (кгс/см²) и квадратный метр (кгс/м²), последняя численно равна миллиметру водяного столба (мм вод.ст.). Для измерения избыточного давления предназначены средства измерения, называемые манометрами. Если избыточное давление < 40 кПа, то приборы для измерения такого давления называются напоромерами.

Вакуумметрическое давление - это давление ниже атмосферного:

$$P_v = P_{ат.} - P_a.$$

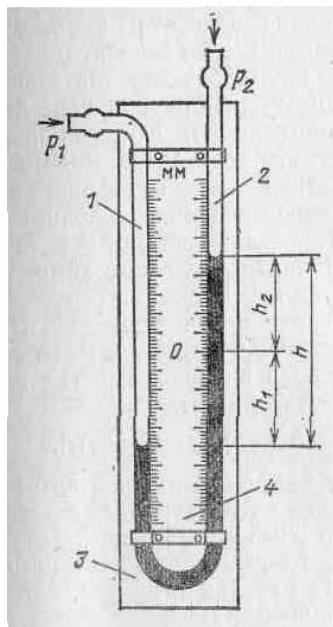
Приборы для измерения этого давления называются вакуумметрами. Если разрежение < 40кПа, то приборы для измерения называются тягомерами.

Для измерения разности давлений предназначены дифманометры.

Жидкостные манометры и дифманометры

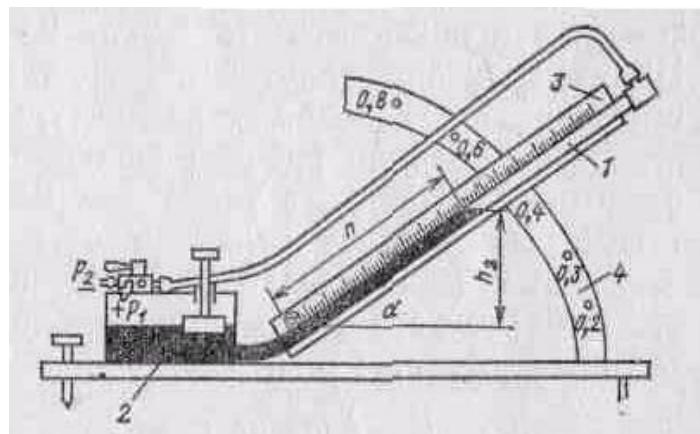
В жидкостных манометрах измеряемое давление или разность давлений уравнивается гидростатическим давлением столба жидкости, определяемым по формуле: $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$

Схема двухтрубного U-образного манометра



Микроманометры Для измерения давления и разности давлений до 3 кПа используются микроманометры (рис. 4.2), которые являются разновидностью однострубных манометров.

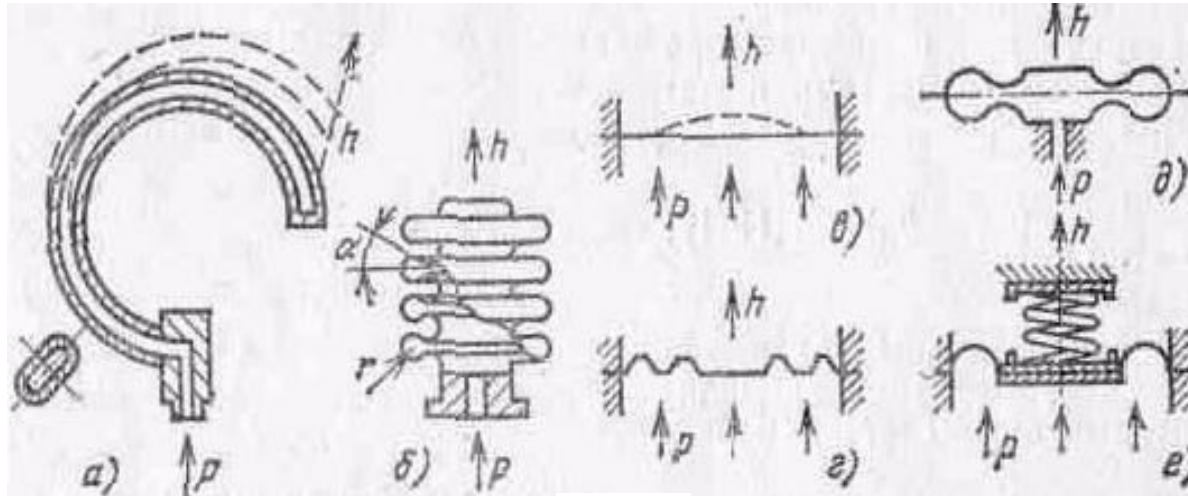
Схема микроманометра



Деформационные манометры и дифманометры

В деформационных манометрах используется зависимость деформации чувствительного элемента h или развиваемой им силы F от измеряемого

Упругие чувствительные элементы



Деформационные преобразователи давления

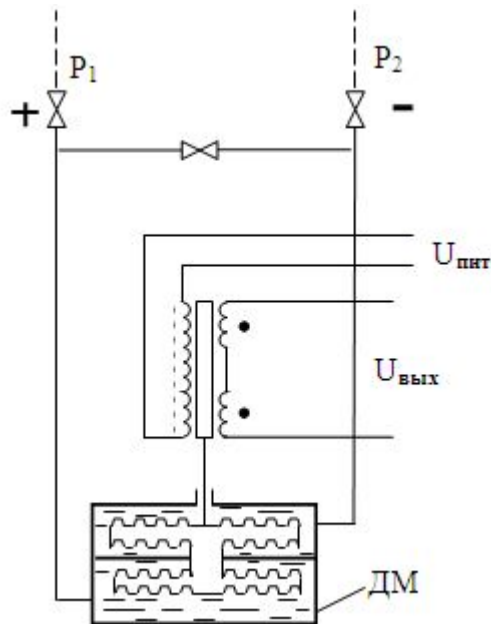
Давление – неэлектрическая физическая величина и передача информации об измеряемом давлении на расстояние потребовала разработки ряда деформационных преобразователей, позволяющих перемещение упругих чувствительных элементов преобразовать в унифицированные электрические или пневматические сигналы, которые поступают на вторичные приборы или в системы автоматического управления.

Принцип преобразования давления и перепада давления в электрический или пневматический сигналы определил название этих преобразователей. Рассмотрим некоторые из них в порядке развития технического прогресса: дифференциально-трансформаторные (ДТП), преобразователи с компенсацией магнитных потоков, тензопреобразователи, преобразователи с силовой компенсацией, интеллектуальные преобразователи давления.

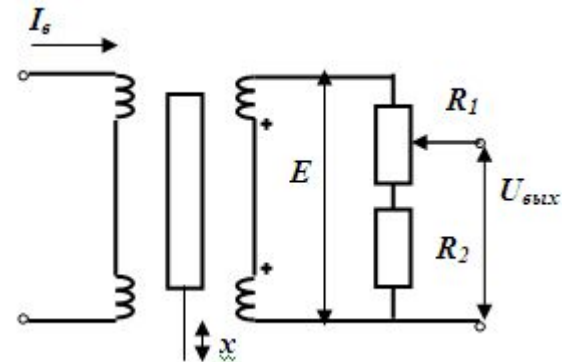
Дифференциально – трансформаторные преобразователи

ДТП – это, прежде всего передающий преобразователь, предназначенный для преобразования линейного перемещения упругого чувствительного элемента в унифицированный выходной сигнал.

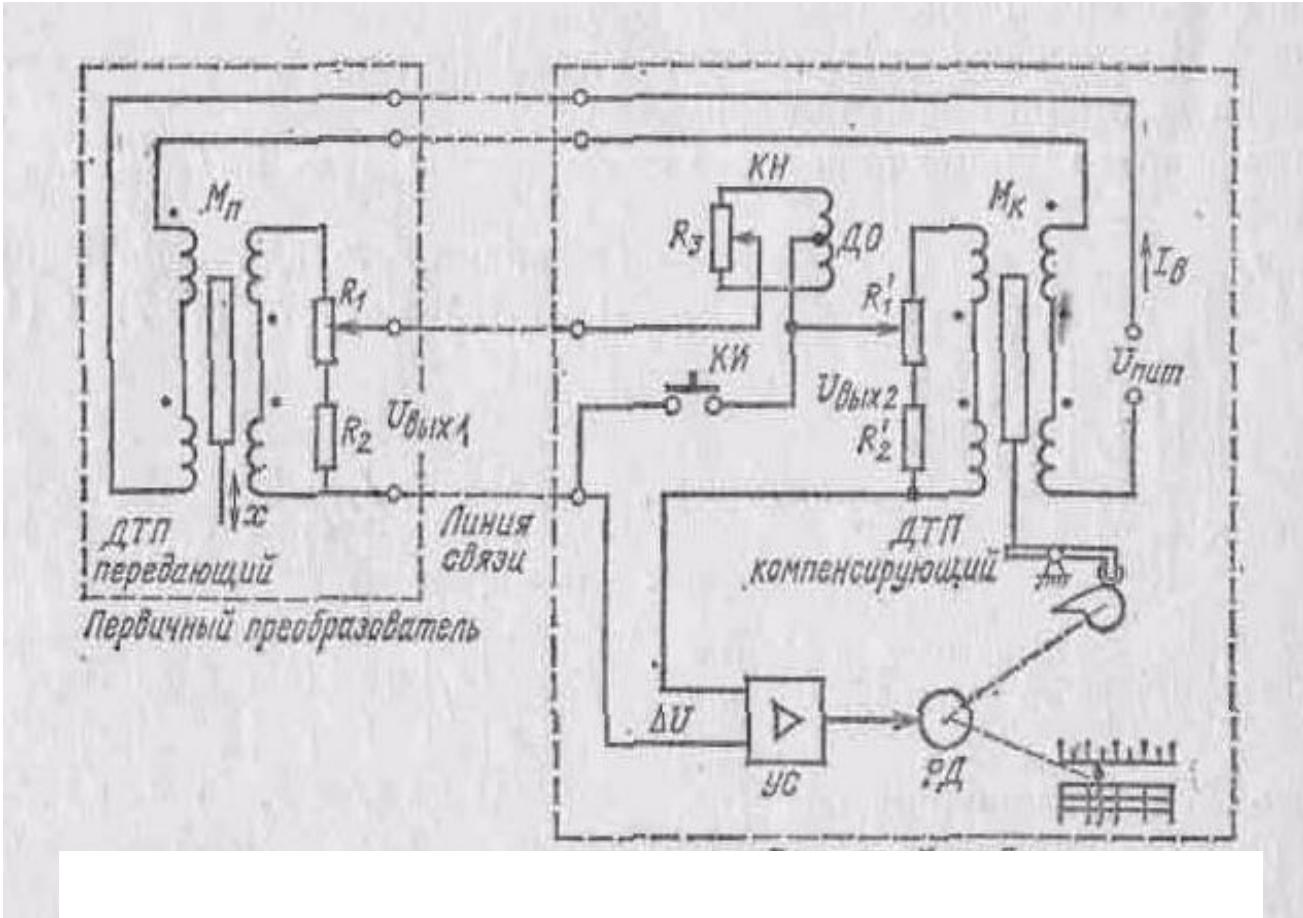
Рассмотрим последовательность преобразований происходящих в ДТП на примере реального технического средства – дифманометра типа ДМ.



Дифференциально-трансформаторные преобразователи (ДТП) предназначены для преобразования линейного перемещения сердечника (связанного с чувствительным элементом) в выходной электрический сигнал. Дифтрансформаторный преобразователь

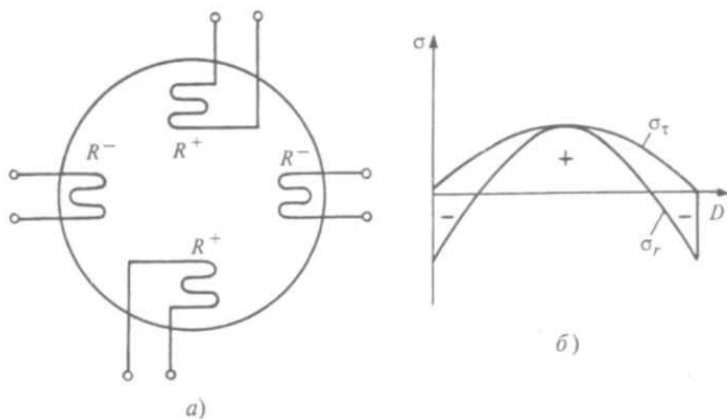


Дистанционная система передачи давления с ДТП

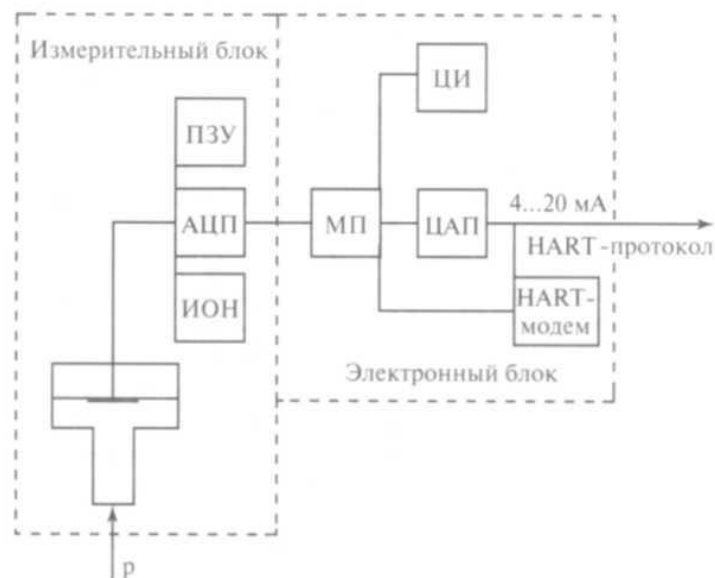


Манометры с тензопреобразователями

Действие измерительных тензопреобразователей основано на изменении электрического сопротивления тензочувствительного элемента (тензорезистора) при его деформации. Схема размещения тензорезисторов на поверхности мембраны (а) и эпюра напряжений (б)



Электрические манометры с тензопреобразователями – это совокупность двух блоков: измерительного и электронного. Структурная схема микропроцессорного преобразователя давления



ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВЕЩЕСТВА

Расход есть количество вещества, протекающего через сечение трубопровода в единицу времени. Приборы для измерения мгновенного расхода вещества называются расходомерами. Для измерения расхода за определенный интервал времени используются счетчики количества (счетчики) [8]. Иногда для измерения суммарного расхода расходомеры снабжаются интеграторами (счетчиками).

Различают расход массовый и объемный G_m и G_o . Единицы G_m [кг/с; кг/ч; т/ч], а G_o [м³/с; л/с; м³/ч]. Наибольшее распространение получили следующие разновидности расходомеров:

- переменного перепада давления с сужающими устройствами (самый массовый метод на тепловых объектах);
- постоянного перепада давления (ротаметры);
- тахометрические;
- электромагнитные (индукционные);
- ультразвуковые;
- вихревые.

Расходомеры переменного перепада давления с сужающими устройствами

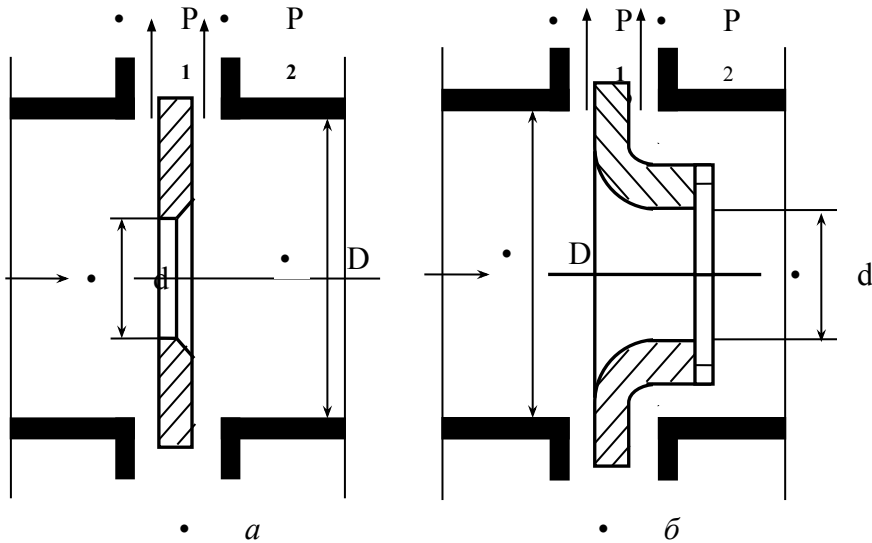
Измерение расхода этим методом реализуется измерительной системой (ИС), где СУ – первичный преобразователь неподвижно установленный в трубопроводе. Дифманометр – вторичный прибор для измерения перепада давления, создаваемого в СУ и шкала которого градуируется в единицах расхода. В этом случае измерительную последовательную цепочку преобразований можно представить в виде:

$$G \rightarrow СУ \rightarrow \Delta P \rightarrow ВП (G = k \sqrt{\Delta P})$$

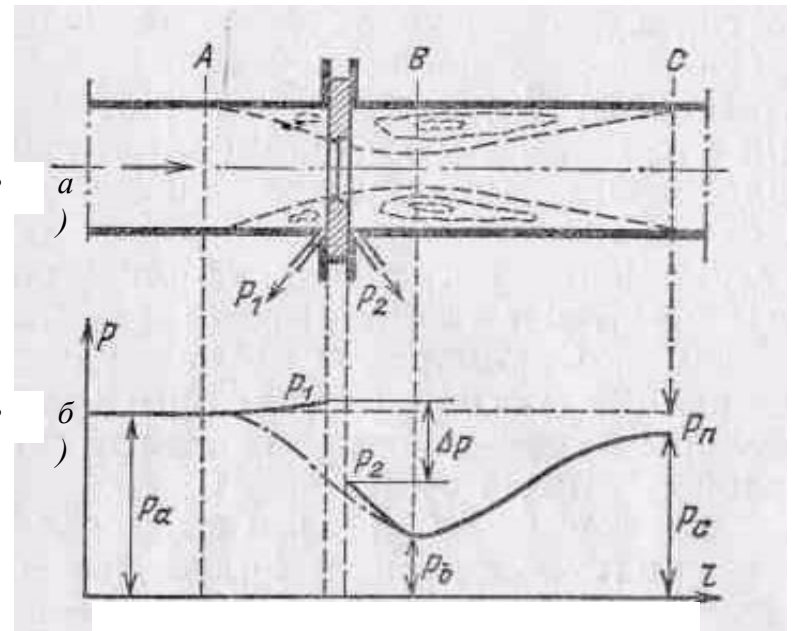
На тепловых объектах, где информацию об измеряемом расходе необходимо передать на расстояние для использования в системах автоматического управления, защиты, применяются измерительные системы с промежуточными преобразователями типа ДМ, ДМЭР, САПФИР 22, МЕТРАН и т.д,

Уравнение расхода

Типы стандартных сужающих устройств



Характер потока и распределение статического давления вдоль стенки трубопровода



$$G_0 = C \cdot E \cdot f \cdot \sqrt{2 / \rho(P_1 - P_2)}$$

$$G_M = C \cdot E \cdot f \cdot \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)}$$

E – коэффициент расхода входа равен величине $1/(1 - \beta^4) \cdot 0,5$,

C - коэффициент истечения, учитывающий завышение ΔP , вызванное торможением потока и завихрениями на входе и выходе из СУ ($C < 1$), получаем расчетные формулы уравнения расхода для несжимаемых сред;

f – минимальная площадь проходного сечения СУ (произведение CE ранее было представлено, как коэффициент расхода α).

Между расходом и перепадом давления в СУ существует определенная квадратичная зависимость

и поэтому для расходомеров, шкалы которых градуируются в единицах расхода, в кинематическую или электронную схему дифманометров или вторичных приборов включаются различные типы устройств, извлекающих квадратный корень.

Наличие таких устройств является одним из недостатков метода измерения расхода по перепаду давления.

Другим серьезным недостатком метода является суженый диапазон измерения, охватывающий обычно интервал 30...100 % максимального измеряемого расхода. Это означает, что использовать расходомер для измерения расхода в интервале 0...30 % его шкалы не рекомендуется, т.к. не гарантируется точность измерения из-за резкого увеличения относительной погрешности измерения перепада давления.

Особенности измерения расхода пара

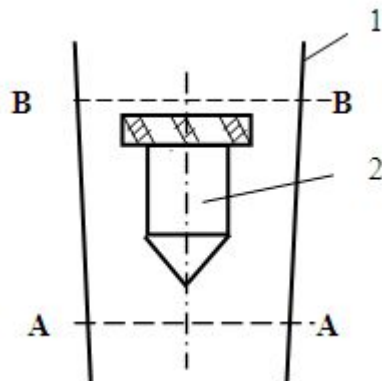
При измерении расхода перегретого пара неизолированные соединительные линии оказываются заполненными конденсатом. Для стабилизации верхних уровней конденсата в обеих соединительных линиях вблизи СУ устанавливаются уравнительные конденсационные сосуды, имеющие диаметры, значительно большие, чем импульсные соединительные линии. Это вызвано тем, что чувствительный элемент дифманометра - мембранный блок, состоящий из двух мембранных коробок, расположенных в «минусовой» и «плюсовой» камерах, соединенных с импульсными линиями, при изменении перепада давления изменяют свои объемы и этим изменяют уровни конденсата в импульсных линиях. Так как сечение конденсационных сосудов велико, вытекание из них конденсата мало изменит его уровень, так что перепад давления, измеряемый дифманометром, можно считать равным перепаду давления в СУ.

Применение конденсационных сосудов при измерении расхода пара обусловлено и технологической необходимостью, чтобы избежать заброса конденсата в паропровод.

Расходомеры постоянного перепада давления ротаметры

Область применения и особенности данного метода:

- измерение малых объемных расходов жидкостей и газов в вертикальных трубопроводах диаметром 4 – 100 мм;
- практически линейная шкала;
- малая остаточная потеря давления;
- верхние пределы измерения ротаметров по воде от 0.04 до 16 м³/ч, а по воздуху от 0,063 до 40 м³/ч;
- невысокий класс точности ротаметров общепромышленного назначения [4];
- минимальный измеряемый расход равен обычно 0,2 верхнего предела измеряемого давления (Гв.п).



Электромагнитные (индукционные) расходомеры

Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на законе электромагнитной индукции, в соответствии, с которым в электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости.

Область применения:

измерение расхода жидкостей с электропроводностью не менее 10-3 См/м (соответствует электропроводности водопроводной воды);

измерение расхода загрязненных, агрессивных, абразивных и вязких жидкостей и пульп, измерение расхода жидких металлов;

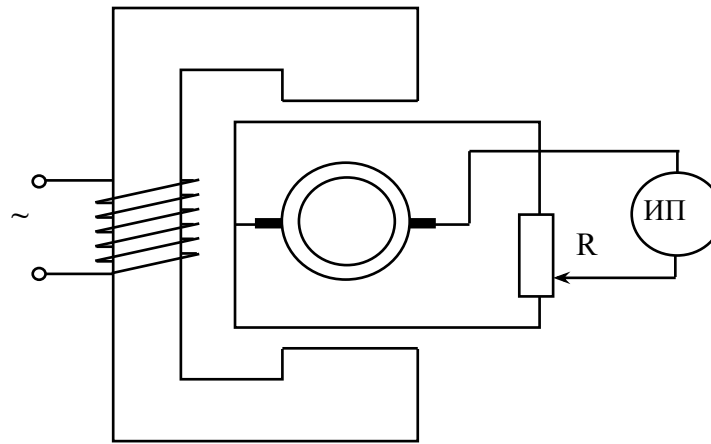
нет ограничений по диаметрам трубопровода (от 2 до 4000 мм);

отсутствует остаточная потеря давления, т.к. нет выступающих частей, изменяющих поток среды;

измерение расхода не зависит от плотности среды.

Существенным недостатком этого метода является низкая помехоустойчивость, при низком уровне информационного сигнала (мкВ).

Схема преобразователя с переменным магнитным полем



В соответствии с законом электромагнитной индукции, при осесимметричном профиле скоростей в жидкости между электродами будет наводиться ЭДС:

$$E = B D u,$$

где: B – индукция магнитного поля; u – средняя скорость жидкости; D – длина жидкостного проводника, равная диаметру трубопровода.

Теплосчетчики

Прибор, измеряющий количество теплоты, перенесенной теплоносителем за некоторый промежуток времени, называется теплосчетчиком. Количество теплоты выражается в гигаджоулях (ГДж) или гигакалориях (Гкал),
 $1 \text{ Гкал} = 4,1868 \text{ ГДж}$

Финансовая зависимость учета тепла предъявляет высокие требования к точности теплосчетчиков. В настоящее время этим требованиям отвечают только современные теплосчетчики – микропроцессорные, многофункциональные средства. Комплект этих средств состоит из: измерителей температуры, расхода, давления и тепловычислителей. Они имеют защиту от несанкционированного доступа, а используемые в них программы и заложенные функциональные возможности исходят из действующих правил как учета теплоты и теплоносителя, так и теплопотребления.

Алгоритмы расчета количества теплоты

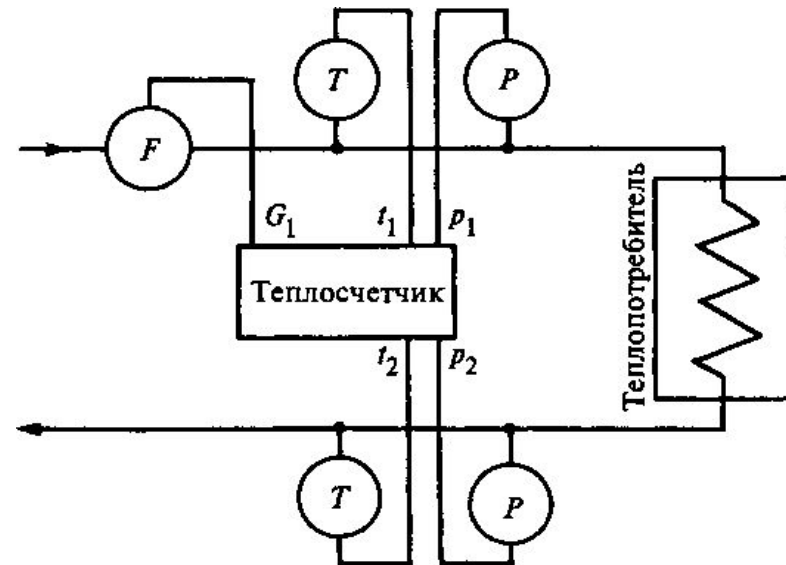
Расход теплоты с потоком теплоносителя определяется через массовый расход G_m и энтальпию i потока в соответствии с известным выражением $q = G_m i$.

Количество теплоты, вырабатываемое установкой при равенстве расхода теплоносителя на входе и выходе (замкнутая система), может быть определено следующим выражением:

$$q = G_m (i_{вх} - i_{вых}),$$

где $i_{вх}$, $i_{вых}$ -- энтальпия теплоносителя на входе и выходе теплообменника.

Схема закрытой системы теплоснабжения



В зависимости от t точность теплосчетчиков составляет:
если $t = 3 \div 10^\circ\text{C}$, $\delta = \pm 6\%$; если $t = 10 \div 20^\circ\text{C}$, $\delta = \pm 5\%$;
если $t > 20^\circ\text{C}$ $\delta = \pm 4\%$.

Число каналов по расходу варьирует в пределах от 1 до 10.

Диаметры трубопровода: в пределах от 10 до 5000мм. Наиболее распространенные типы теплосчетчиков: СПТ-961, СТД, Взлёт ТСР, ТРЭМ-ТС, Метран 400, КМ-5, РМ-5-БЗ, UFEC 005 и т.д.

Плата за энергоносители, воду является значительной статьёй расходов любого производства и жилищно-коммунального хозяйства. Для коммерческого учёта тепловой энергии и теплоносителей у производителей (ТЭЦ) и потребителей создаются локальные сети, объединяющие средства учёта расхода электроэнергии, потребления газа и теплоты. Примером такой сети является измерительно-вычислительный комплекс АСУТ-601.

Комплекс позволяет вести учёт следующих сред:

- горячей и холодной воды;
- водяного пара;
- возвратного конденсата;
- подпитки;
- стоков;
- природных и технических газов.

Количество обчитываемых трубопроводов может достигать 100. Ввод сигналов от первичных преобразователей температуры, давления, разности давлений, их первичное преобразование в значение измеряемых параметров производится в теплосчетчиках, расходомерах, счетчиках газа. Такие комплексы внедрены на многих ТЭЦ Мосэнерго и хорошо себя зарекомендовали.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ

Технические средства для измерения уровня называются уровнемерами.

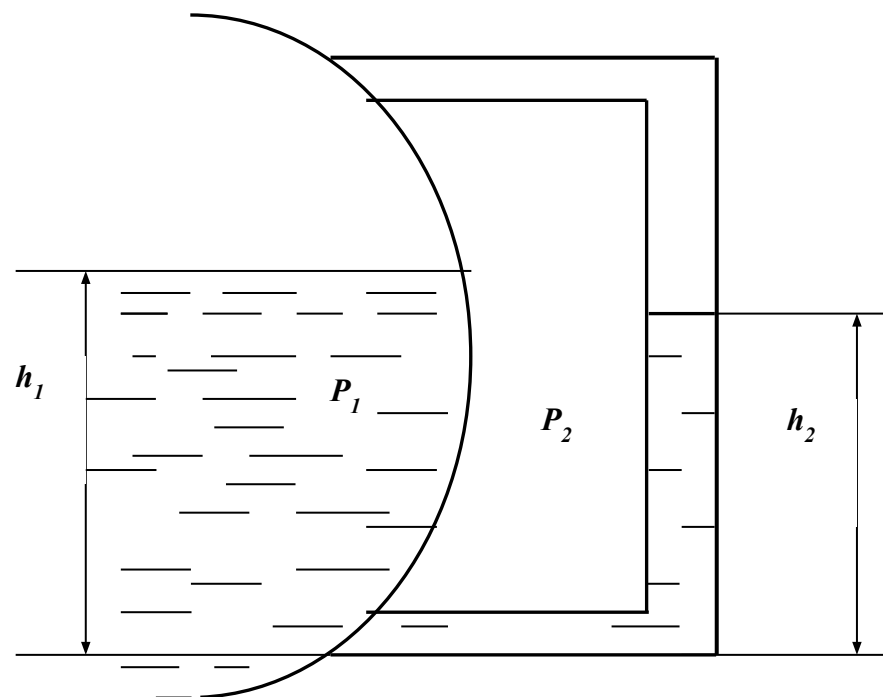
Единицами измерения уровня являются: м; см; мм.

Область применения на тепловых объектах: барабан котла, сетевые подогреватели, конденсатор турбины и т.д. Уровнемеры широко применяются и в других отраслях: нефтяной, нефтеперерабатывающей, а также при производстве медикаментов и пищевых продуктов.

В зависимости от цели измерения приборы делятся на:

- сигнализаторы;
- уровнемеры, предназначенные для поддержания уровня постоянным, (имеют шкалу с нулем посередине);
- уровнемеры, служащие для измерения по уровню количества жидкости в резервуарах, баках известной емкости (односторонняя шкала).
- В зависимости от требований, предъявляемых к автоматизации объекта, применяются следующие методы и средства:
- измерение уровня жидкости указательными стеклами (уровнемеры с визуальным отсчетом);
- измерение уровня по разности давлений с помощью дифманометров (гидростатический метод);
- измерение уровня с помощью буйка или поплавка (механические методы)
- емкостной метод;
- специальные методы – ультразвуковой, резонансный, радиоволновой, акустический, индуктивный и термокондуктометрический.

Схема уровнемера с визуальным отсчетом



Уровнемеры с визуальным отсчетом

Такие уровнемеры основаны на визуальном измерении высоты уровня жидкости. При невысоких давлениях среды высота уровня измеряется в стеклянной трубке (указательном стекле), сообщаемой с жидкостным и газовым пространствами контролируемого резервуара.

Из условий прочности не рекомендуется применять указательные стекла более 0,5 м, поэтому при большом диапазоне изменения уровня устанавливается несколько стекол в шахматном порядке таким образом, чтобы их диапазоны измерения перекрывались.

Дифманометрические уровнемеры

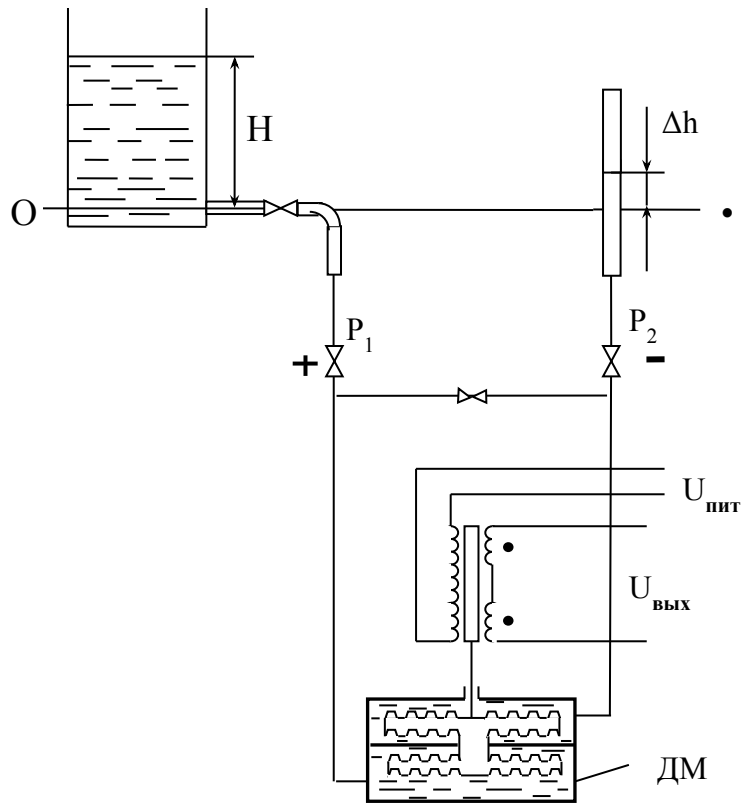
Дифманометрические уровнемеры – это технические средства, где контролируемый уровень пропорционален разности гидростатических давлений $\Delta P = P_1 - P_2$, которая измеряется дифманометром.

Гидростатическое давление – это давление, создаваемое столбом жидкости высотой H и рассчитываемое по формуле:

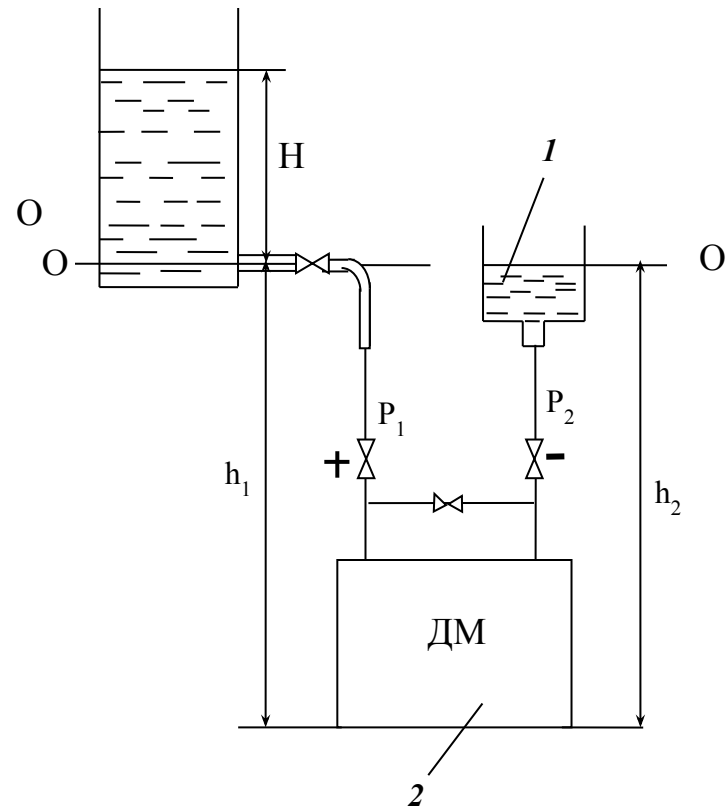
$$P = \rho g H,$$

где: ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения.

Измерение уровня в емкости под атмосферным давлением

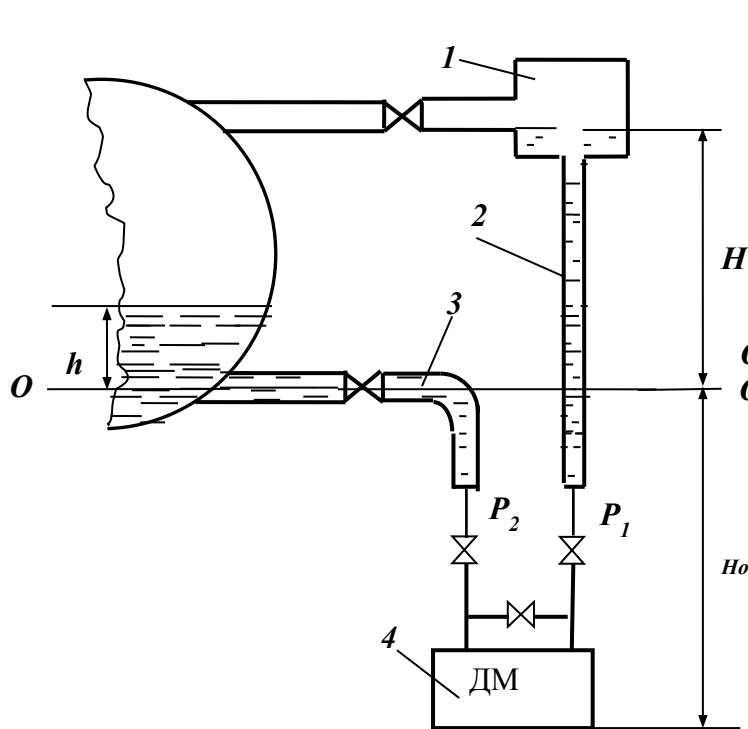


Измерение уровня в емкости под атмосферным давлением

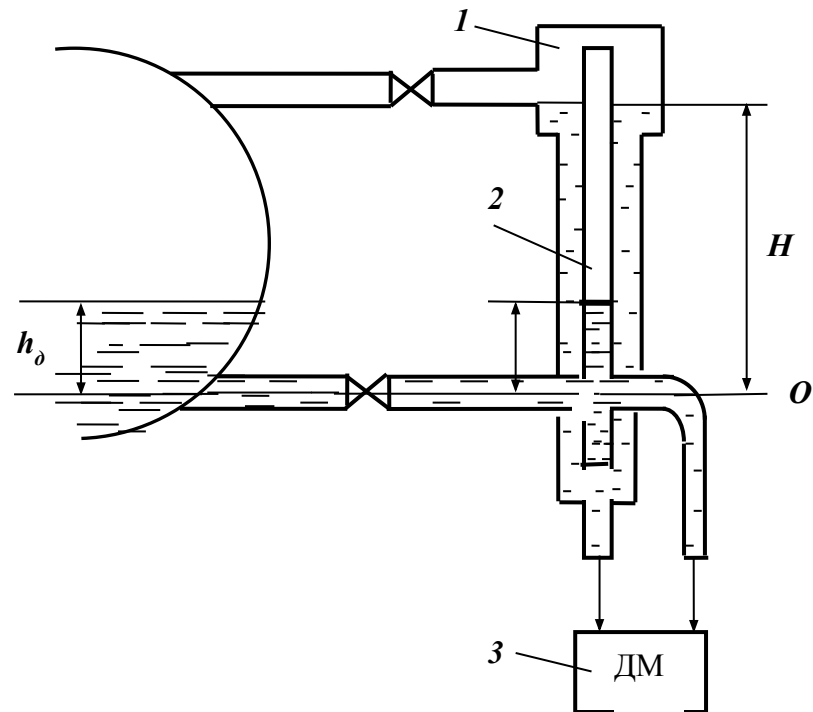


Измерение уровня в емкости под атмосферным давлением с уравнительным сосудом

Измерение уровня в емкости под избыточным давлением



Измерение уровня в емкости под избыточным давлением. Однокамерный измерительный сосуд



Измерение уровня в емкости под избыточным давлением с двухкамерными измерительными сосудами

Емкостные уровнемеры

Емкостными называются уровнемеры, основанные на зависимости электрической емкости конденсаторного преобразователя, частично введенного в жидкость, от уровня жидкости.

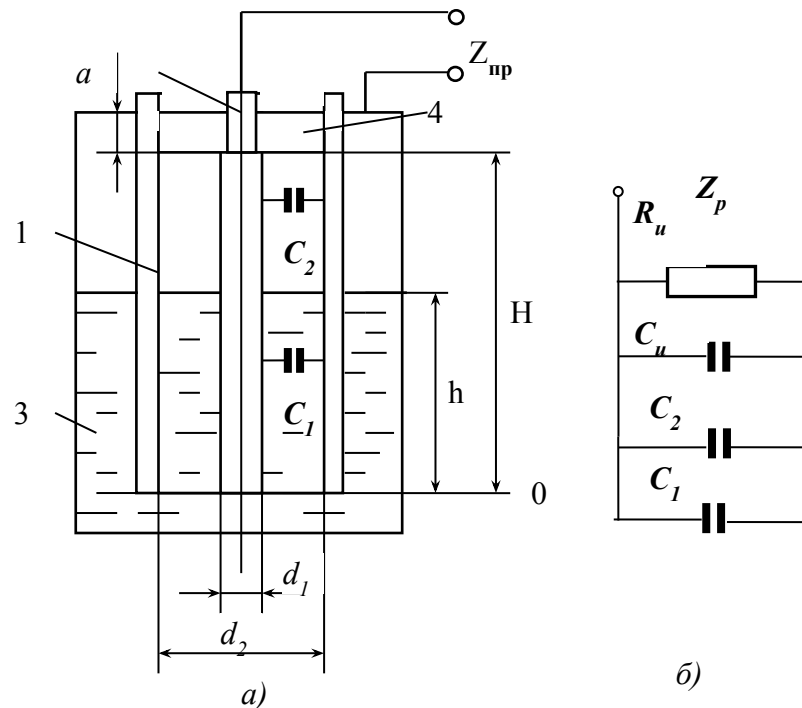


Схема емкостного уровнемера для неэлектропроводных сред

Ёмкостной уровнемер для электропроводных сред

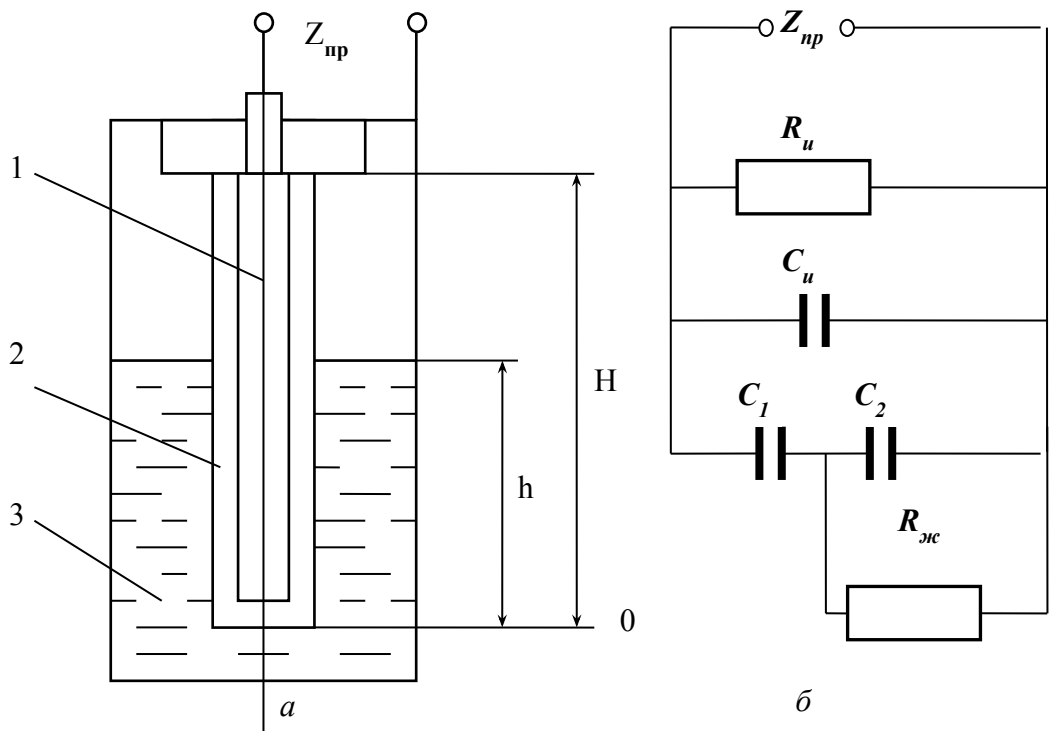


Схема ёмкостного уровнемера для электропроводных сред

АНАЛИЗ СОСТАВА ГАЗОВЫХ СРЕД

Средства измерения для количественного анализа газовых сред называются газоанализаторами и газовыми хроматографами. Газоанализаторы градуируются в % по объему, г/м³, мг/л.

Первый способ градуировки является более удобным, поскольку процентное содержание компонентов газовой смеси сохраняется при изменении температуры и давления

Для анализа многокомпонентных газовых сред используются хроматографические газоанализаторы. Они относятся к приборам периодического действия, сложны по устройству и капризны в обслуживании.

Измерение концентрации того или иного компонента в газовой смеси производится по изменению физико-химических свойств смеси, вызванных изменением концентрации определяемого компонента. Такое утверждение имеет место только для бинарных смесей, состоящих из двух компонентов, в которых определяемый компонент влияет на измеряемое физико-химическое свойство смеси, а остальные компоненты, независимо от их состава и концентрации, не влияют и считаются вторым компонентом: $C_o + C_n = 1$, где C_o – концентрация определяемого компонента в %, а C_n – концентрация неопределяемого компонента (второго), в %.

Классификация газоанализаторов производится исходя из характеристики физико-химических свойств, положенных в основу измерения концентрации определяемых компонентов смеси, и включает следующие основные группы средств измерений : механические, тепловые, магнитные, оптические.

Термокондуктометрические газоанализаторы

Термокондуктометрические газоанализаторы относятся к группе тепловых газоанализаторов, предназначенных для измерения концентрации одного из компонентов бинарных газовых смесей по изменению теплопроводности смеси

В основе принципа измерения по теплопроводности лежит близкая к линейной зависимость между теплопроводностью газовой смеси λ , теплопроводностью λ_i и концентрацией C_i входящих в ее состав n компонентов:

$$\lambda = \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 + \dots + \lambda_n C_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i C_i$$

Теплопроводность – неэлектрическая величина, для ее измерения используется нагреваемый ток проводник (чувствительный элемент) из платины, обладающий высоким температурным коэффициентом электрического сопротивления и химической стойкостью, который помещают в камеру, заполненную анализируемой смесью.

При условии, что отдача тепла от проводника стенкам камеры осуществляется только в результате теплопроводности, имеет место следующая зависимость:

$$Q = 2\pi\lambda L(t_n - t_{ст}) / \ln D/d,$$

где Q – количество теплоты, отдаваемой проводником в секунду; L, d – длина и диаметр проводника; D – диаметр камеры; λ – теплопроводность газовой смеси; $t_n, t_{ст}$ – температуры проводника и стенок камеры.

Если количество теплоты, отдаваемое проводником, Q и температура стенок камеры $t_{ст}$, зависящая от температуры окружающей среды, остаются постоянными, то изменение теплопроводности газовой смеси, вызванное изменением концентрации определяемого компонента, приведет к изменению температуры чувствительного элемента (проводника), t_n , а следовательно, и его сопротивления, т. к.: $R_{тп} = f(t_n)$.

Для измерения сопротивления проволочных чувствительных элементов используются мостовые схемы. Если мостовая схема – неуравновешенный мост питаемый источником питания стабилизированным (ИПС), то $U_{вых} = f(C_0)$.

Термохимические газоанализаторы

Термохимические газоанализаторы относятся к группе тепловых газоанализаторов, осуществляющих анализ бинарных газовых сред. Измерение концентрации определяемого компонента в этих приборах однозначно связано с измерением количества теплоты, выделившейся при реакции каталитического окисления определяемого компонента на поверхности чувствительного элемента, выполняющего функции катализатора. Чувствительный элемент может быть представлен или в виде нагретой платиновой нити, или поверхности гранулированного катализатора. Вид катализатора определяет модификацию термохимического газоанализатора, которые используются для определения концентрации следующих газов: CO, H₂, O₂, NH₃ и CH₄. Термохимические газоанализаторы не отличаются высокой чувствительностью и используются в качестве детектора в газовых хроматографах и, как сигнализаторы, индикаторы взрывоопасных концентраций газов, например, газоанализатор типа СГГ, измеряющий концентрацию H₂ в воздухе.

Магнитные газоанализаторы

Магнитные газоанализаторы предназначены для анализа бинарных газовых сред. Принцип действия приборов основан на изменении магнитных свойств газовой смеси при изменении концентрации определяемого компонента. Из известных магнитных свойств рассматривается свойство – магнитная восприимчивость газов. По магнитной восприимчивости все газы делятся на парамагнитные, втягиваемые в магнитное поле и диамагнитные, выталкиваемые из него. Соответственно, первые имеют положительную магнитную восприимчивость, вторые – отрицательную. Среди парамагнитных газов кислород занимает первое место, его относительная объемная магнитная восприимчивость принята за единицу.

Объемная магнитная восприимчивость χ по закону Кюри связана с параметрами газовой среды следующей зависимостью:

$$\chi = CPM / (T^2R),$$

где C – постоянная Кюри; P, T – абсолютное давление и температура кислорода с молекулярной массой M ; R – газовая постоянная.

Чувствительный элемент и преобразователь кислородомера

При технических измерениях для измерения магнитной восприимчивости газовой смеси из существующих методов выбран тот, который используя зависимость $\chi = 1 / T^2$, позволяет применить в измерительном процессе явление термомагнитной конвекции.

Термомагнитная конвекция – это свободное перемещение (без всяких побудителей расхода) кислородосодержащей газовой смеси в неоднородном магнитном и тепловом полях.

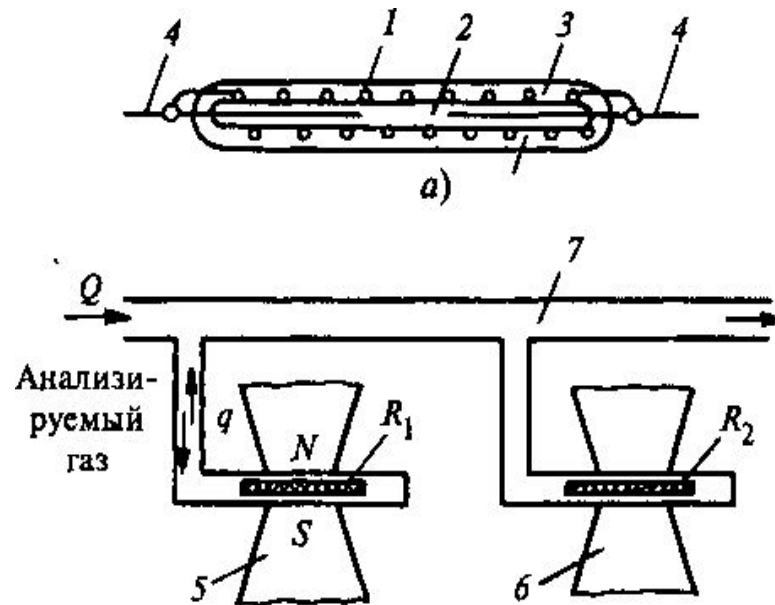


Схема чувствительного элемента кислородомера (а) и преобразователя с внешней магнитной конвекцией (б): 1 — платиновая проволока; 2 — стеклянный капилляр; 3 — стеклянное покрытие; 4 — токоввод; 5 — постоянный магнит; 6 — немагнитный медный блок; 7 — труба

Хроматографические газоанализаторы

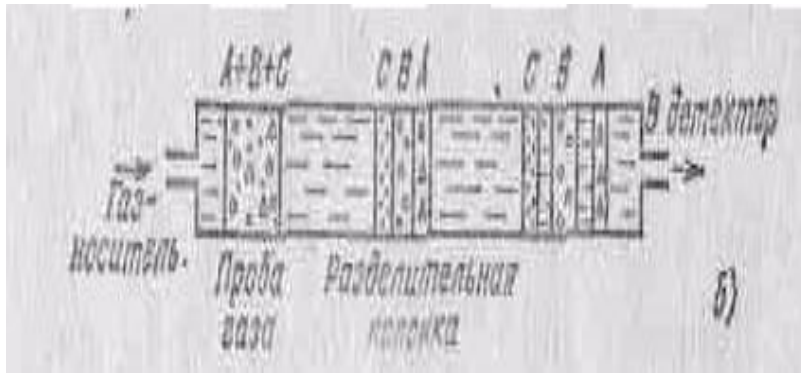
Хроматографические газоанализаторы предназначены для анализа многокомпонентных газовых смесей.

Область применения этих приборов широка: от контроля и автоматизации технологических процессов в химической и нефтехимической промышленности, до периодического анализа продуктов горения различных видов топлива в энергетике.

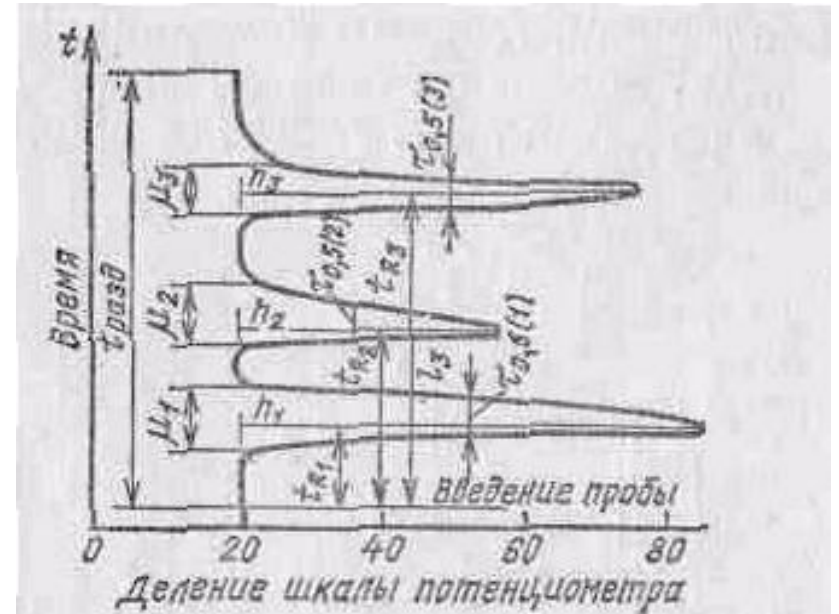
Процесс измерения в хроматографах включает две стадии: хроматографическое разделение газовой смеси на отдельные компоненты и идентификация компонентов, включающая качественный и количественный их анализ.

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

Разделительная колонка и хроматограмма



Фрагмент разделительной колонки



Хроматограмма разделения газовой смеси, состоящей из трех компонентов.

Использование интегрирующего и цифropечатающего устройств вычислительного модуля, автоматизирует обработку хроматограмм и позволяет ввести информацию о составе газовой смеси в АСУ ТП.

К группе промышленных хроматографов относятся следующие: ХПА, ХТМ, «Нефтехим-СКЭП», «Микрохром-1».

Скомпонованные вместе промышленные газоанализаторы в многофункциональные системы обеспечивают промышленный контроль различных составляющих газов.

АНАЛИЗ СОСТАВА ЖИДКОСТЕЙ

Химический контроль теплоносителей в энергетике – это, прежде всего защита энергооборудования от коррозии, увеличение срока его безаварийной работы, обеспечение высоких технико-экономических показателей работы энергопредприятий.

Существуют следующие методы анализа состава жидкостей: электрохимический, оптический и тепловой. Ниже будут рассмотрены только два метода: кондуктометрический и потенциометрический, которые нашли широкое применение на объектах теплоэнергетики и представляют разновидности электрохимических анализаторов растворов.

Кондуктометрический метод анализа состава растворов. Кондуктометры

Водные растворы веществ, которые проводят электрический ток, называют электролитами (соли, щелочи, кислоты). Электролиты представляют собой проводники второго рода, где перенос тока осуществляется движением ионов. Суммарная же концентрация ионов, находящихся в растворе, характеризует электропроводность.

Удельная электропроводность раствора χ связана с эквивалентной концентрацией растворенного в нем вещества η (г-экв/см³) следующей зависимостью :

$$\chi = \sigma \eta \lambda, \text{ См / см,}$$

где σ - степень электролитической диссоциации молекул растворенного вещества; λ – эквивалентная электропроводность раствора при бесконечном разбавлении ($\lambda = \lambda_a + \lambda_k$, т.е. определяется подвижностью анионов λ_a и катионов λ_k).

Кондуктометры, измеряющие содержание солей в паре, конденсате и питательной воде парогенераторов, обычно называют солемерами и градуируются они в единицах условного солесодержания: мг/кг NaCl.

Для измерения концентрации растворов солей, кислот, щелочей используются кондуктометры, получившие название – концентратометров и градуируются они в процентах содержания анализируемого вещества (например, % H₂SO₄).

Электродные кондуктометры

Первичный преобразователь электродного кондуктометра представляет два электрода (пластины), погруженные в анализируемый раствор.

Сопротивление раствора между электродами R_x связано с его удельной электропроводностью следующей зависимостью:

$$R_x = l / (\chi S) = K / \chi,$$

где l , S – расстояние между электродами и их площадь;
 $K = l / S$, см⁻¹ – постоянная первичного преобразователя (датчика).

При известных значениях постоянной датчика, измеряя известными методами R_x , осуществляем переход к удельной электропроводности и, учитывая однозначную зависимость χ от концентрации, получаем результат анализа концентрации растворенного вещества

Потенциометрический метод анализа состава растворов. РН-метры

Качество питательной воды, конденсата на тепловых объектах характеризуется не только солесодержанием. Большое значение имеет характеристика кислотности или щелочности воды.

Повышенная кислотность приводит к ускорению коррозии трубопроводов и основного оборудования. В процессе проведения обработки питательной воды перед подачей в парогенератор, контроль щелочности и кислотности позволяет дозировать реагенты, способствующие очистке воды.

Для характеристики кислотности среды введен специальный параметр – водородный показатель или «рН».

«рН» – это взятый с обратным знаком десятичный логарифм активной концентрации водородных ионов в растворе: $pH = - \lg a(H^+)$.

Раствор нейтральный при $pH = 7$. При $pH > 7$ – раствор щелочной, а при $pH < 7$ – раствор кислый.

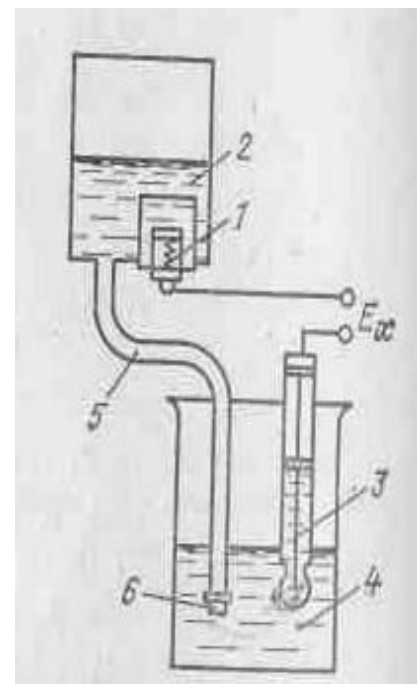
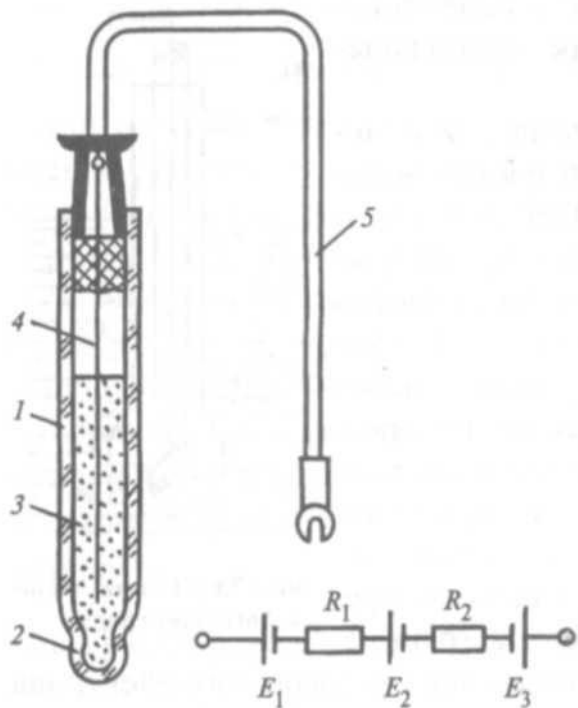
Приборы для измерения активной концентрации ионов водорода называются рН – метрами. В этих приборах для измерения рН растворов применяется потенциометрический метод, в котором связь активной концентрации ионов вещества в растворе с равновесным потенциалом на поверхности этого вещества (электроде) установлена законом Нернста.

$$E = E_0 + \left(\frac{RT}{nF} \ln a \right)$$

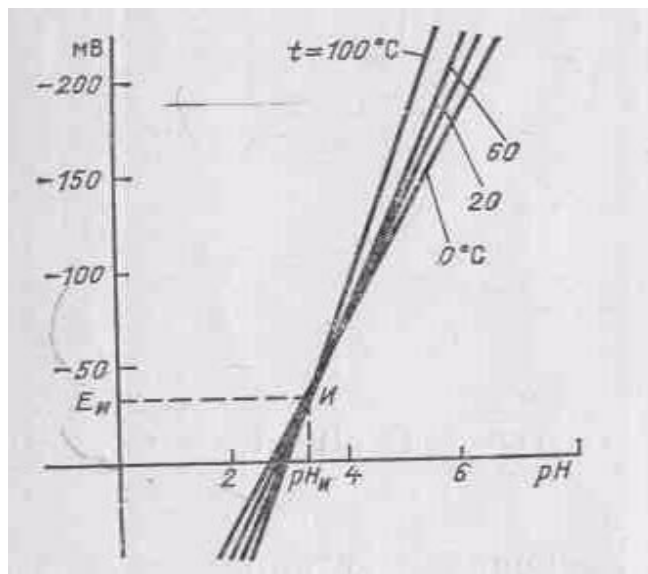
где R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура раствора; F – число Фарадея; n – заряд ионов. Однако, непосредственно измерить значение равновесного потенциала E в растворе практически невозможно. Для измерения потенциала E измерительного электрода необходимо замкнуть электрическую цепь, вводя в раствор второй электрод со стабильным потенциалом, называемый вспомогательным или электродом сравнения.

Так возникает понятие «электродной системы», состоящей из измерительного (рабочего) электрода и электрода сравнения. Электродная система – это первичный измерительный преобразователь рН – метра.

Измерительный электрод и электродная система



Градуировочная характеристика электродной системы

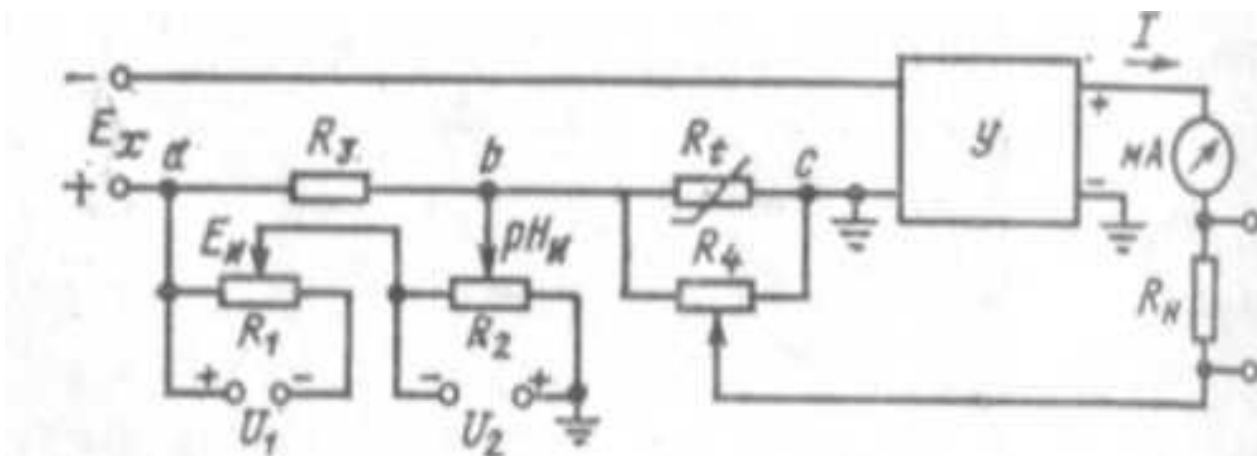


Для одной из промышленных электродных систем градуировочная характеристика определяется выражением:

$$E = -33 - (54,197 + 0,1984t_p)(pH - 3,28).$$

Соответственно, для этой электродной системы координаты изопотенциальной точки составляют: $E_{и} = -33$ мВ, $pH_{и} = 3,28$.

Принципиальная схема измерительного преобразователя рН-метра



Выходной сигнал электродной системы E_x компенсируется напряжением на участке «а - с». т.е.

$$E_x = - U_{ac}, \text{ где } U_{ac} = U_{ab} + U_{bc}$$