

# Системы управления химико-технологическими процессами

Лекция №2.

**Автоматизация  
технологического контроля**

# Измерение температуры



## Определение №1.

**Температура** — физическая величина, характеризующая термодинамическую систему и количественно выражающая понятие о различной *степени нагретости* тел.

Представление о температуре основано на теплообмене между двумя телами, находящимися в тепловом контакте.

## Определение №2.

**Температура** — условная величина, прямо пропорциональная средней кинетической энергии частиц вещества (молекул или атомов).

Измерить температуру какого-либо тела непосредственно невозможно, т.к. не существует эталона или образца единицы температуры.

Определение температуры вещества производят посредством наблюдения за изменением физических свойств другого, так называемого **термометрического (рабочего) вещества**, которое приводится в соприкосновение с нагретым телом, и вступает с ним через некоторое время в тепловое равновесие.

# Классификация приборов для измерения температуры по способу измерения

## • **контактный** способ: термометры

- термометры сопротивления
- термоэлектрические термометры
- термометры расширения

## • **бесконтактный** способ: пирометры или инфракрасные термометры

- оптические
- цветные
- радиационные

# 1. Термометры сопротивления

- **состоят** из датчика, усилителя сигнала, регистрирующего и вспомогательных устройств
- В качестве датчика используются **термопреобразователи сопротивления (ТС)**
- Измерение температуры с помощью ТС основано на использовании зависимости электрического сопротивления  $R$  чувствительного элемента (ЧЭ) от температуры  $T$ , при этом материал ЧЭ подбирается таким образом, чтобы зависимость  $R=f(T)$  имела по возможности прямо пропорциональный характер.

# Характеристики ТС:

- **диапазон измерений:** Диапазон температур, в котором выполняется нормированная зависимость сопротивления ТС от температуры в пределах соответствующего класса допуска
- **класс допуска:** класс точности ТС
- **допуск:** Максимально допустимое отклонение от номинальной статической характеристики, выраженное в градусах Цельсия.
- **номинальная статическая характеристика (НСХ):** Зависимость сопротивления ТС от температуры
- **рабочий диапазон температур:** Диапазон температур, находящийся внутри диапазона измерений или равный ему, в пределах которого изготовителем установлены показатели надежности ТС

# Характеристики ТС

- **номинальное сопротивление ТС:** Нормированное изготовителем сопротивление ТС при  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $R_0$ , Ом, округленное до целых единиц, указанное в его маркировке и рекомендуемое для выбора из ряда: 10, 50, 100, 500, 1000 Ом.
- **температурный коэффициент сопротивления (ТКС)  $\alpha$ ,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ :**  
Коэффициент, определяемый по формуле

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100^{\circ}\text{C}}$$

Где  $R_0, R_{100}$  – значения сопротивления термопреобразователя сопротивления по номинальной статической характеристике соответственно при  $100^{\circ}\text{C}$  и  $0^{\circ}\text{C}$  и округляемый до пятого знака после запятой.

# Виды термопреобразователей сопротивления

- Два основных вида этих датчиков - металлические терморезисторы и полупроводниковые (термисторы).

## Виды металлических ТС:

- Платиновые
- Медные
- Никелевые

## Сравнительная характеристика меаллических ТС:

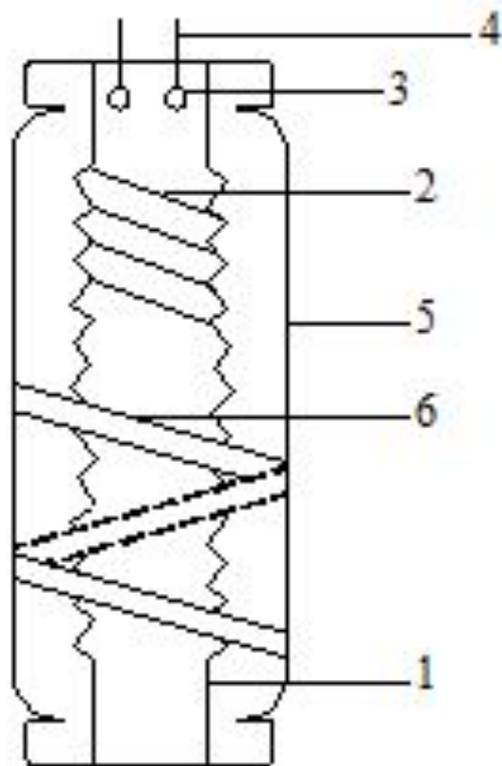
	Платиновые	Медные
Обозначение	ТСП	ТСМ
Диапазон	- 200 ~ + 850 °С	- 180 ~ + 200 °С
Градуировка	1П( $R_0=1$ Ом); 5П( $R_0=5$ Ом); 10П( $R_0=10$ Ом); 100П( $R_0=100$ Ом); 500П( $R_0=500$ Ом).	10М ( $R_0=10$ Ом); 50М ( $R_0=50$ Ом); 100М( $R_0=100$ Ом);
НСХ	<p>Диапазон 0 ~ 850 °С:  <math>R_t = R_0(1 + at + bt^2)</math>.</p> <p>Диапазон - 200 ~ 0 °С:  <math>R_t = R_0(1 + at + bt^2) + c(t-100)t^3</math>.</p> <p>a, b, c – постоянные коэффициенты. <math>R_0</math> – сопротивление платины при t =</p>	<p><math>R_t = R_0(1 + at)</math></p> <p><math>R_0</math> – сопротивление меди при t =</p>
ТКС (температурный коэффициент сопротивления)	$\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3}$ град <sup>-1</sup>	$\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3}$ град <sup>-1</sup>
Достоинства	Высокая надежность работы в воздушной среде, большой диапазон измеряемых величин	Низкая стоимость, легкость получения меди в чистом виде, линейная зависимость $R = f(t)$
Недостатки	Высокая стоимость	Легкая окисляемость при температуре выше 100 °С

# Никелевые ТС

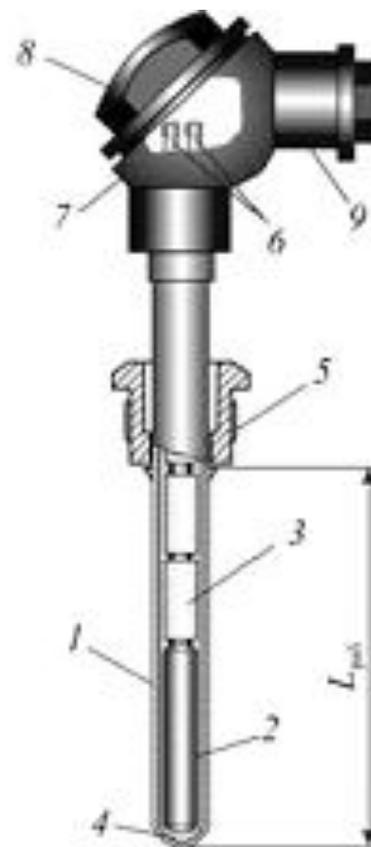
- Температурный коэффициент  $0,00617 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$   
Рабочий диапазон температур:  $-60^\circ\text{C} \dots 180^\circ\text{C}$
- Достоинства: наиболее высокий температурный коэффициент, наибольший выходной сигнал сопротивления.
- Недостатки: если превышена точка Кюри ( $352^\circ\text{C}$ ), может возникать непредсказуемый гистерезис характеристики.
- Используются значительно реже, чем платиновые и медные термометры



# Платиновые ТС



*а*



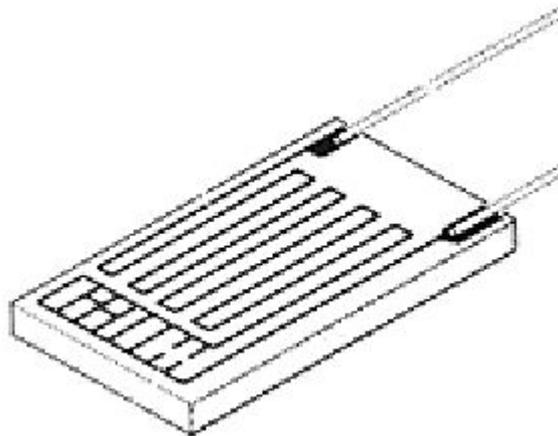
*б*

- *а* - схема чувствительного элемента: 1 – плоская слюдяная пластина, 2 – платиновая проволока, 3 – спай проволоки с выводами, 4 – серебряные проволочные выводы, 5 – плоские слюдяные накладки, 6 – серебряная лента.
- *б* – Конструкция термопреобразователя ТСП: 1 - защитный чехол; 2 - чувствительный элемент; 3 - изоляционные бусы; 4 - порошок; 5 - штуцер; 6 - розетка с клеммами; 7 - головка; 8 - крышка; 9 - штуцер под кабель.

- Чувствительные элементы ТСП (рис. *a*) изготавливают из платиновой проволоки диаметром 0,04 – 0,07 мм и длиной около 2 м, бифилярно намотанной на слюдяную пластину с зубчатыми краями, которая сверху закрывается слюдяными накладками для обеспечения изоляции и придания механической прочности. Все три слюдяные пластины скреплены в пакет серебряной лентой. Выводы делают из серебряной проволоки диаметром 1 мм, изолируют фарфоровыми бусами.
- Для защиты от повреждений чувствительные элементы помещают в защитные чехлы.
- Некоторые фирмы выпускают ЧЭ из платиновой проволоки, покрытой стеклом. Это обычно довольно дорогие термометры сопротивления. Преимуществом является полная герметизация чувствительного элемента, стойкость к условиям повышенной влажности, недостатком – ограниченный диапазон рабочих температур.

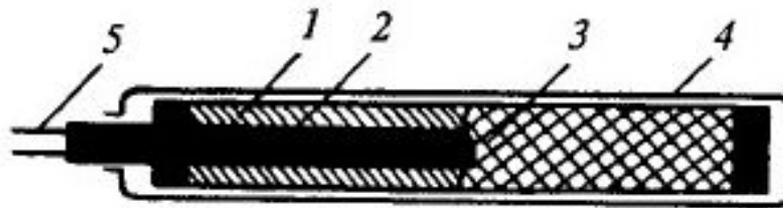
## Пленочные платиновые чувствительные элементы

- изготавливается нанесением тонкого слоя платины на керамическую подложку. Обычно слой имеет толщину порядка  $10^{-8}$  см. Слой платины сверху покрывается эпоксидным или стеклянным изоляционным слоем. Технология изготовления освоена многими зарубежными фирмами, в настоящее время пленочный платиновый ЧЭ – это самый дешевый и самый широко продаваемый сенсор. Большим преимуществом является малый размер и масса ЧЭ, это позволяет устанавливать такие ЧЭ в миниатюрные корпуса и получать быструю скорость реагирования на изменение температуры объекта. Благодаря малым размерам, пленочные ЧЭ могут изготавливаться с повышенным номинальным сопротивлением. Уже разработаны и производятся ЧЭ с сопротивлением 1000 Ом. Это позволяет значительно снизить влияние сопротивления выводов при подключении по 2-х проводной схеме. По стабильности пленочные ЧЭ все еще уступают проволочным, но их технология постоянно совершенствуется, и в последнее время отчетливо наблюдается прогресс в повышении стабильности сопротивления ЧЭ и расширении температурного диапазона



# Медные ТС

- Чувствительный элемент **каркасного** медного термопреобразователя сопротивления состоит из медной изолированной проволоки диаметром 0,1 мм, намотанной на каркас
- Намотка должна быть безындуктивной, т.е. индуктивное сопротивление ЧЭ должно быть минимальным. Для обеспечения безындуктивности обычно выполняется бифилярная намотка — намотка вдвое сложенным проводом.
- Поверхность намотки покрывается слоем лака. К концам проволоки припаиваются медные выводы диаметром 1... 1,5 мм. ЧЭ помещается в металлическую защитную оболочку, засыпанную изолирующим порошком и герметизированную.



ЧЭ с каркасной намоткой: 1 — намотка; 2 — каркас; 3 — слой лака; 4 — защитная оболочка; 5 — выводы

## Классы допуска ТС

Класс допуска	Допуск, °С	Диапазон измерений, °С			
		Платиновый ТС, ЧЭ		Медный ТС, ЧЭ	Никелевый ТС, ЧЭ
		проволочный	пленочный		
AA W 0.1 F 0.1	$\pm (0,1+0,0017   t  )$	От -50 до +250	От -50 до +150	-	-
A W 0.15 F 0.15	$\pm (0,15+0,002   t  )$	От -100 до +450	От -30 до +300	От -50 до +120	-
B W 0.3 F 0.3	$\pm (0,3+0,005   t  )$	От -196 до +660	От -50 до +500	От -50 до +200	-
C W 0.6 F 0.6	$\pm (0,6+0,01   t  )$	От -196 до +660	От -50 до +600	От -180 до +200	От -60 до +180

## Полупроводниковые ТС (термисторы)

- Резистивный элемент термистора изготавливают методом порошковой металлургии из оксидов, галогенидов, халькогенидов некоторых металлов. Конструктивное исполнение различно, например в виде стержней, трубок, дисков, шайб, бусинок, тонких пластинок, и размерами от 1-10 микрометров до нескольких сантиметров.



## По типу зависимости сопротивления полупроводника от температуры различают:

- **NTC-термисторы** (от слов «Negative Temperature Coefficient») – терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления
- **PTC-термисторы** (от слов «Positive Temperature Coefficient») или **позисторы** – с положительным температурным коэффициентом сопротивления.
- У позисторов с повышением температуры их сопротивление растёт, у NTC-термисторов - падает.
- NTC-термисторы производят из смеси поликристаллических оксидов переходных металлов (например,  $MnO$ ,  $CoO_x$ ,  $NiO$  и  $CuO$ ), полупроводников типа  $A^{III}B^V$ , стеклообразных, легированных полупроводников ( $Ge$  и  $Si$ ), и других материалов.
- Позисторы производят из твёрдых растворов на основе  $BaTiO_3$ , что даёт положительный ТКС.

Зависимость электрического сопротивления терморезисторов от температуры выражается уравнением:

$$R = A \cdot e^{B/T}$$

где  $A$ ,  $B$  - постоянные коэффициенты, зависящие от свойств полупроводника

## Характеристики термисторов

- рабочий температурный диапазон: от  $-100...+300$  °С;
- Достоинствами терморезисторов являются: высокая чувствительность, малая инерционность, небольшие размеры и высокий температурный коэффициент электрического сопротивления  $\alpha = (3 - 4) \cdot 10^{-2}$  град<sup>-1</sup>.
- Недостатками терморезисторов являются: нелинейная зависимость сопротивления от температуры; взаимозаменяемость только в узком диапазоне температур ; систематическое изменение сопротивления со временем и связанная с этим невысокая воспроизводимость показаний.

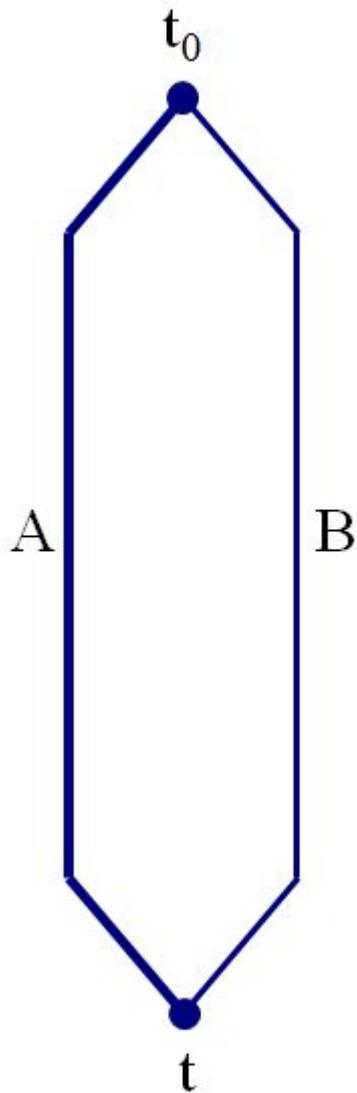
## 2. Термоэлектрические термометры

### Состав:

- датчик: термоэлектрический преобразователь температуры (ТПТ) – **термопара**;
- канал связи (термоэлектродные провода);
- вторичный прибор: милливольтметр или потенциометр.

**Термопара** состоит из двух разнородных проводников.

Принцип действия основан на **термоэлектрическом эффекте**, т.е. на возникновении в замкнутой цепи из двух разнородных проводников электрического тока в том случае, если места их спаев имеют разную температуру.



**ТермоЭДС** (мВ) – электродвижущая сила, обусловленная неодинаковыми температурами мест соединений (спаев).

**Измерительный спай** – на который воздействует измеряемая температура  $t$  (**горячий** или **рабочий** спай).

**Соединительный спай** – на который воздействует контрольная (фиксированная) температура  $t_0$  (**холодный** или **свободный** спай).

Проводники А и В – термоэлектроды.

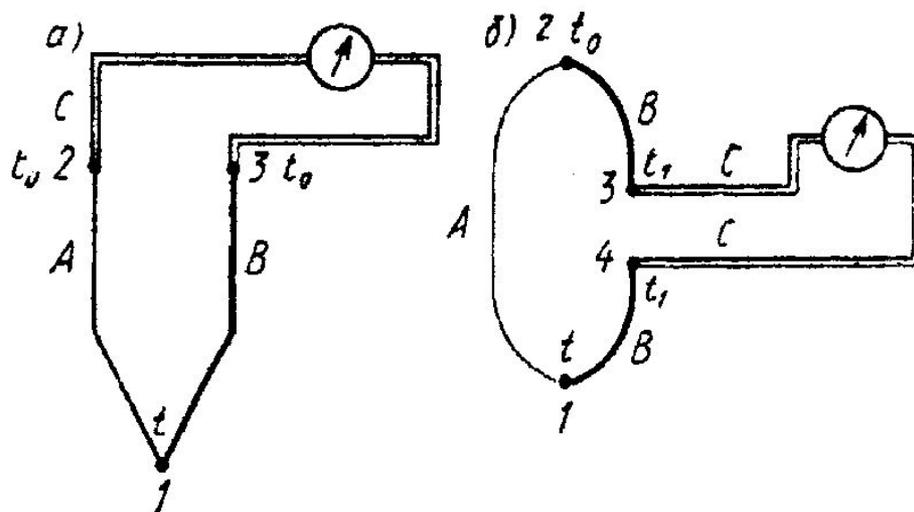
ТермоЭДС:

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t) \text{ при } t_0 = \text{const}$$

# Внешний вид термоэлектрических термометров



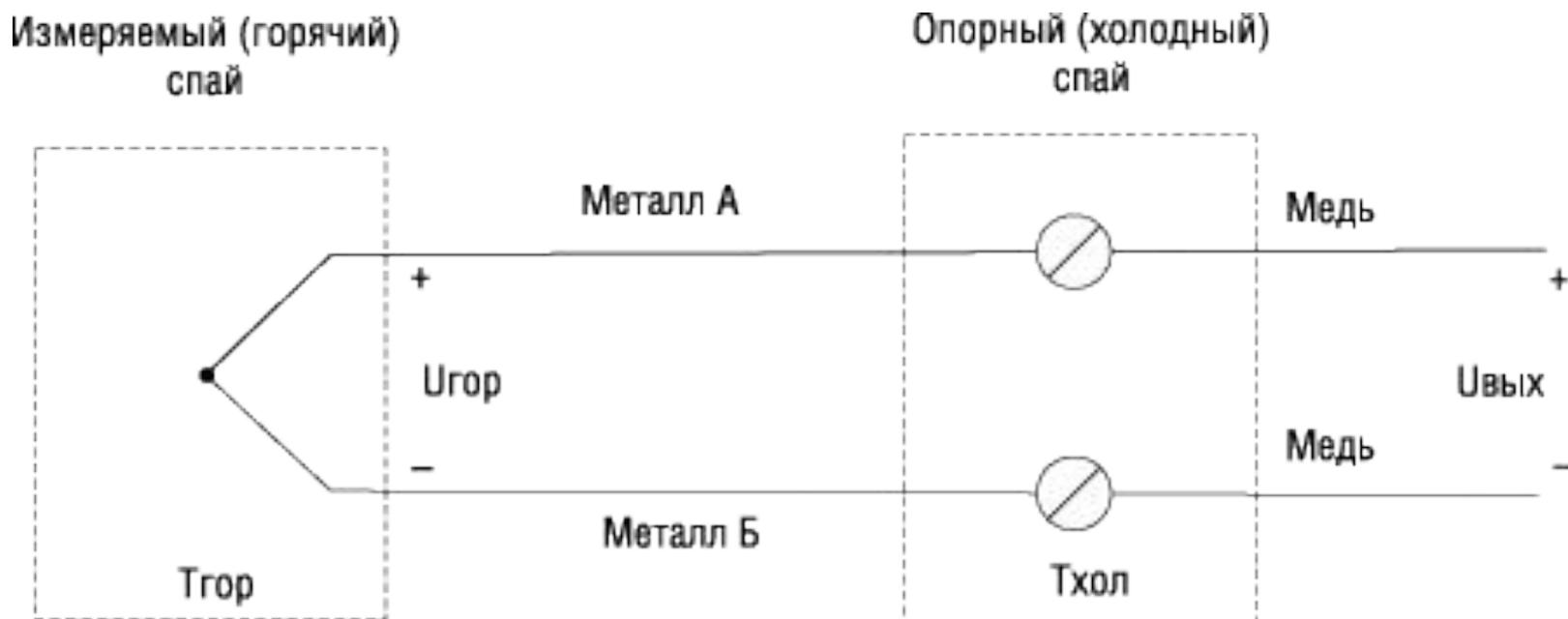
**ТермоЭДС не меняется** от введения в цепь термопары третьего проводника, если температуры концов этого проводника одинаковы.



- а – цепь с третьим проводником, включенным в разрыв холодного спая;
- б – цепь с третьим проводником, включенным в разрыв термоэлектрода

**Термоэлектродные провода** предназначены для удаления холодных спаев термопары как можно дальше от объекта измерения.

Термоэлектродные провода и термоэлектроды термопары из неблагородных металлов выполняются, как правило, из одних и тех же материалов.



# Способы компенсации изменения температуры холодных спаев термопары

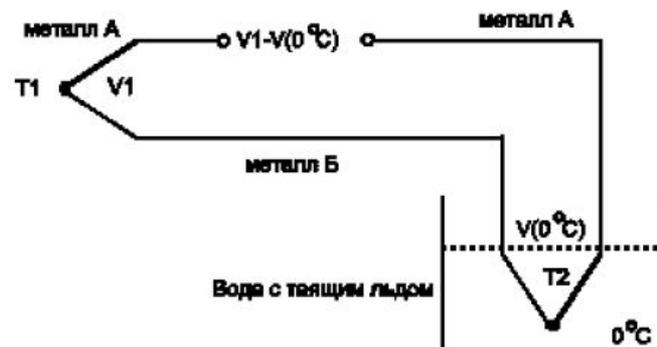
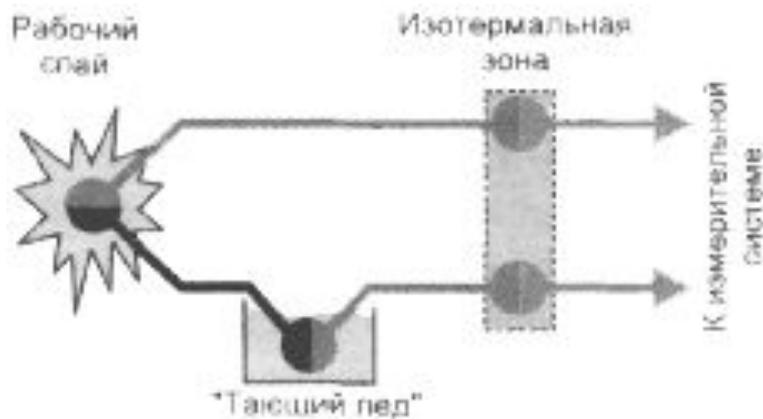
## Классическая термокомпенсация

- Выходное напряжение термопары ( $U_{\text{вых}}$ ) определяется по отношению к температуре холодного спая, равной  $0^{\circ}\text{C}$ . То есть, термопара имеет  $U_{\text{вых}}=0$  мВ при температуре рабочего спая  $0^{\circ}\text{C}$ .
- Поэтому классическая термокомпенсация заключается в помещении холодного спая в ванночку с тающим льдом. Однако такой способ неудобно использовать в промышленных условиях.

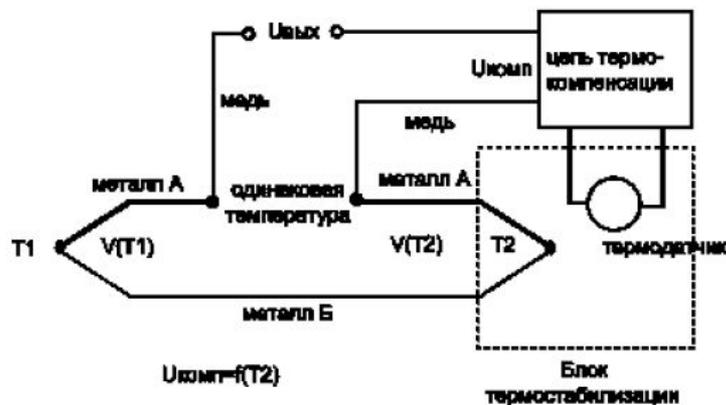
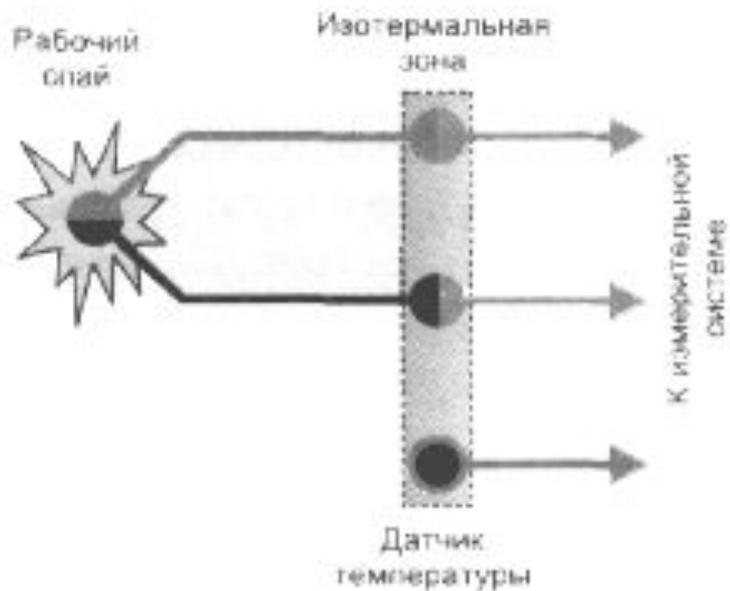
## Термокомпенсация с использованием термодатчика

- вместо ванночки с тающим льдом используется другой термодатчик (например, термопреобразователь сопротивления), который измеряет температуру холодного спая, и его сигнал используется для введения напряжения ( $U_{\text{комп}}$ ) в измерительную цепь термопары. Этот сигнал компенсирует разность между действительной температурой холодного спая и ее идеальной величиной  $0^{\circ}\text{C}$ .

## Классическая компенсация напряжения холодного спая с использованием тающего льда



## Использование термодатчиков для компенсации напряжения холодного спая



$$U_{\text{комп}} = f(T_2)$$

$$U_{\text{вых}} = V(T_1) - V(T_2) + U_{\text{комп}}$$

$$\text{если } U_{\text{комп}} = V(T_2) - V(0^\circ\text{C}), \text{ то}$$

$$U_{\text{вых}} = V(T_1) - V(0^\circ\text{C})$$

## Типы и характеристики термопар

В зависимости от материала проводников ТП подразделяют на:

- вольфрамрений-вольфрамрениевые (ТВР) - термопара типов А-1, А-2, А-3;
- платинородий-платинородиевые (ТПР) - термопара типа В;
- платинородий-платиновые (ТПП) - термопара типов R, S;
- хромель-алюмелевые (ТХА) - термопара типа К;
- хромель-копелевые (ТХК) - термопара типа L;
- хромель-константановые (ТХК) - термопара типа Т;
- никросил-нисиловые (ТНН) - термопара типа N;
- медь-константановые (ТМК) - термопара типа Т;
- железо-константановые (ТЖК) - термопара типа J.

.

Пределы диапазона измеряемых температур: -270... 2500 °C

**Номинальная статическая характеристика** термопары – зависимость термоЭДС от температуры рабочего конца при постоянной заданной температуре свободных концов.

НСХ ТП определяется типом применяемой термопары.

**Допускаемое отклонение от НСХ** - это максимальное отклонение от зависимости термоэлектродвижущей силы от температуры, выраженное в градусах Цельсия.

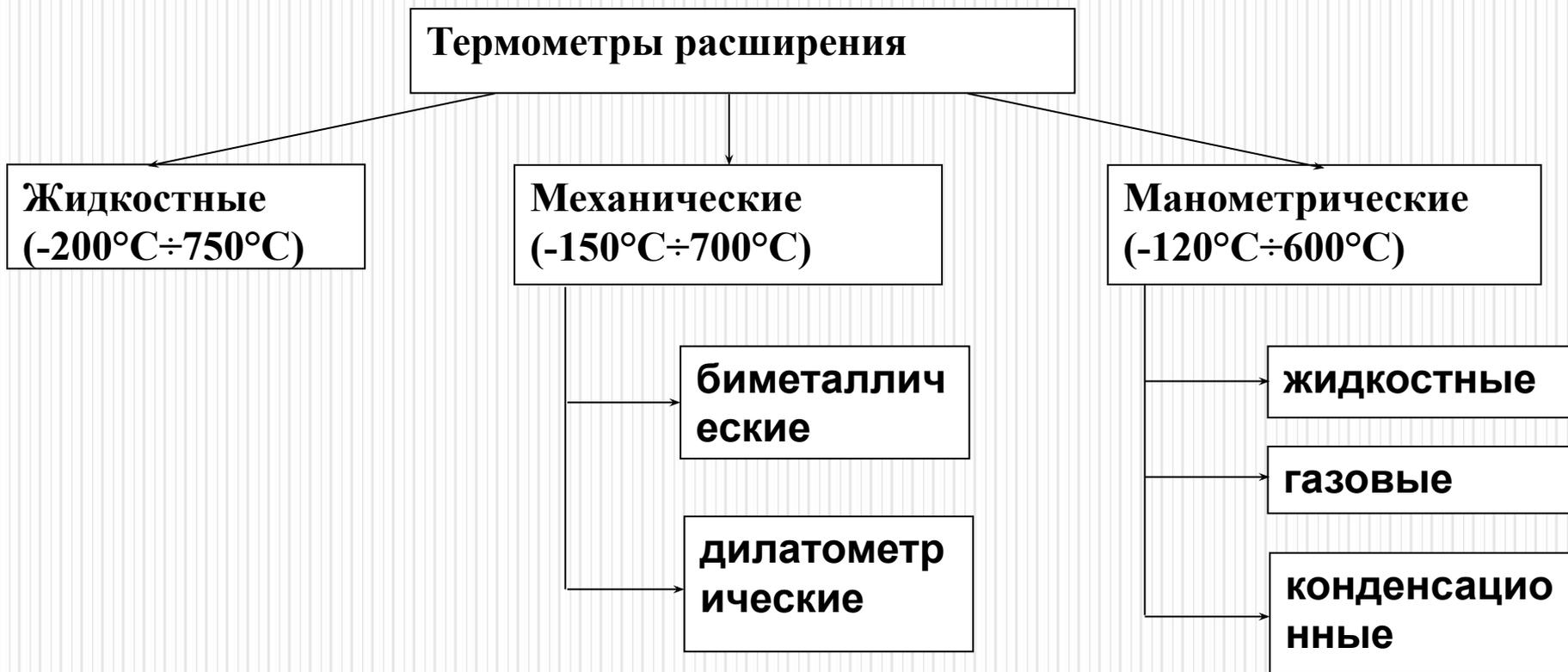
Тип термопары	Пределы допускаемых отклонений от НСХ (в диапазоне температур), °С		
	Класс 1	Класс 2	Класс 3
T	±0,5 От -40 до +125 °С $\pm 0,004 \cdot  t $ От 125 до 350 °С	±1 От -40 до +135 °С $\pm 0,0075 \cdot  t $ От 133 до 350 °С	±1 От -67 до +40 °С $\pm 0,015 \cdot  t $ От -200 до -67 °С
E	±1,5 От -40 до +375 °С $\pm 0,004 \cdot  t $ От 375 до 800 °С	±2,5 От -40 до +333 °С $\pm 0,0075 \cdot  t $ От 333 до 900 °С	±2,5 От -167 до +40 °С $\pm 0,015 \cdot  t $ От -200 до -167 °С
J	±1,5 От -40 до +375 °С $\pm 0,004 \cdot  t $ От 375 до 750 °С	±2,5 От -40 до +333 °С $\pm 0,0075 \cdot  t $ От 333 до 750 °С	-
K, N	±1,5 От -40 до +375 °С $\pm 0,004 \cdot  t $ От 375 до 1000 °С	±2,5 От -40 до +333 °С $\pm 0,0075 \cdot  t $ От 333 до 1200 °С	±2,5 От -167 до +40 °С $\pm 0,015 \cdot  t $ От -200 до -167 °С
R, S	±1 От 0 до 1100 °С $\pm (1 + 0,003 t - 1100 )$ °С От 1100 до 1600 °С	±1,5 От 0 до 600 °С $\pm 0,025 \cdot  t $ От 600 до 1600 °С	-
B		$\pm 0,025 \cdot  t $ От 600 до 1700 °С	±4 От 600 до 800 °С $\pm 0,005 \cdot  t $ От 800 до 1700 °С

# ТЕРМОМЕТРЫ РАСШИРЕНИЯ

---

**Действие основано на использовании зависимости удельного объема вещества от температуры измеряемой среды, в которую он помещено**

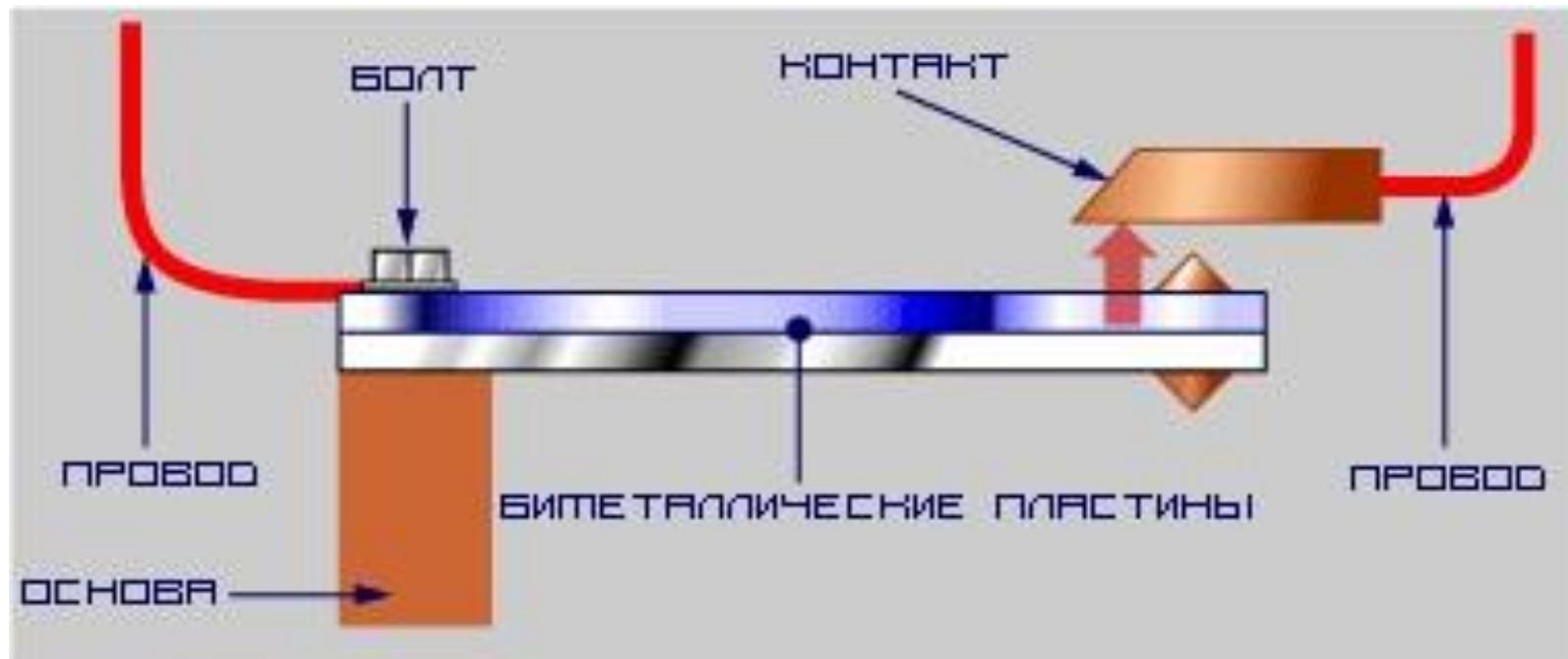
# Классификация термометров расширения



# Биметаллические термометры

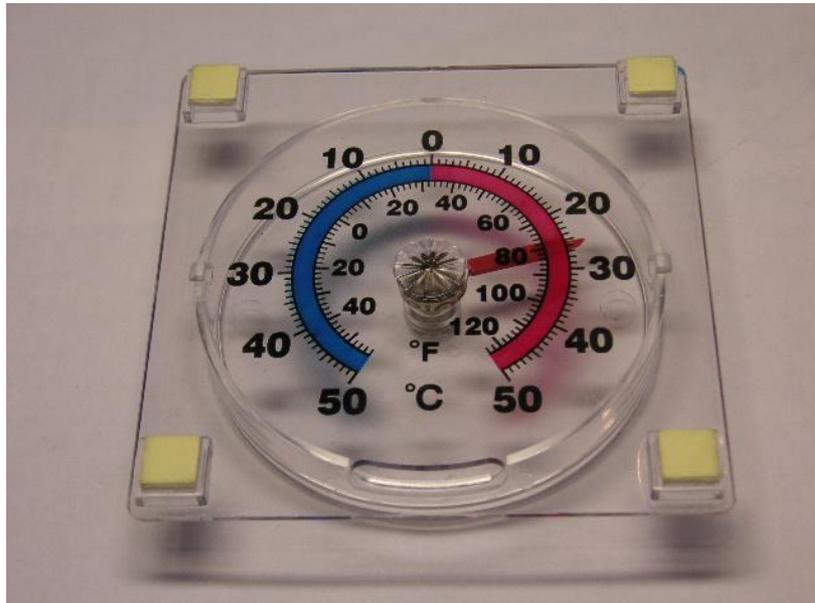
## Принцип действия биметаллического термометра

- основан на использовании в его чувствительном элементе двух металлов с различными температурными коэффициентами линейного расширения. Металлические пластины прочно соединяются между собой, в основном путем сварки, и образуют биметаллическую пружину, которая при нагревании расширяется и замыкает контакт или вращает стрелку термометра.



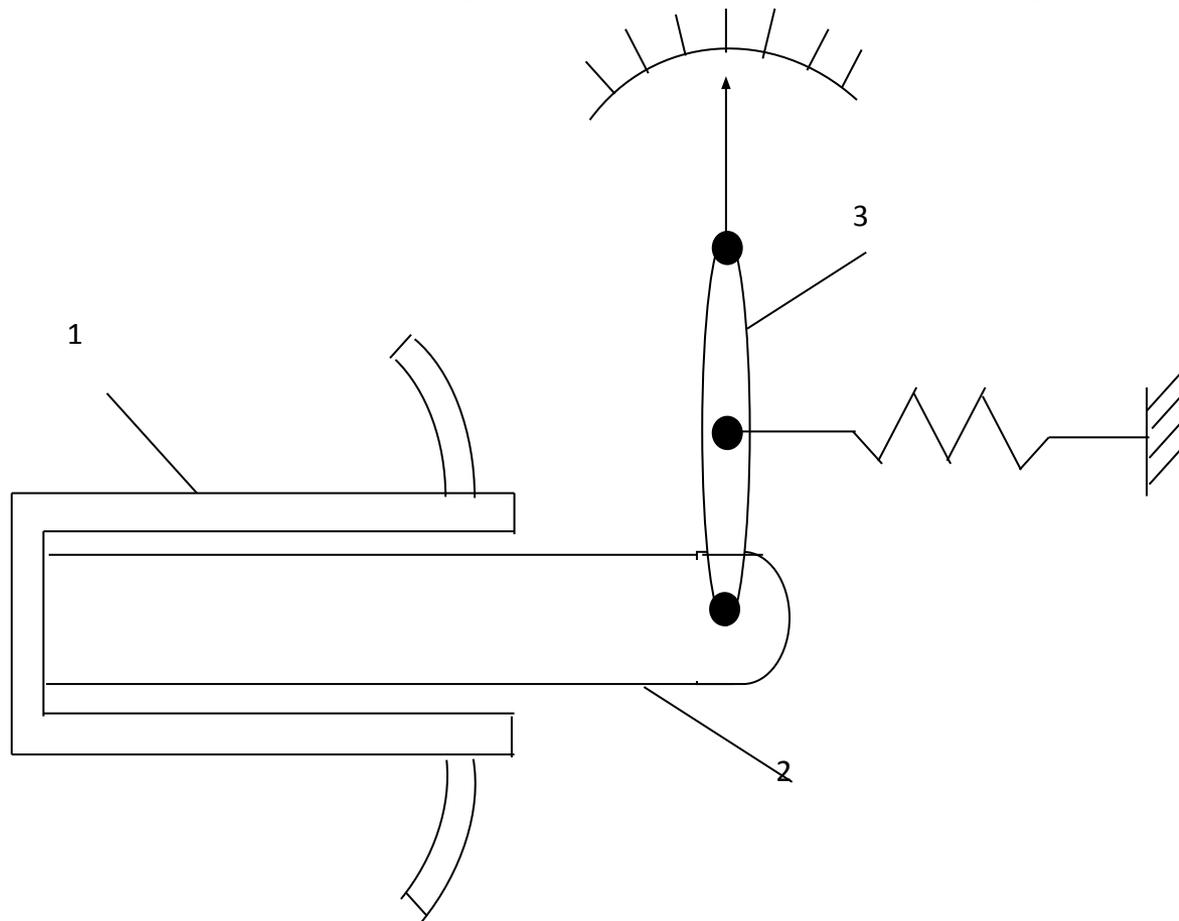
## Конструкции биметаллических термометров

- В самой распространенной конструкции длинная свёрнутая спиралью лента из биметалла закрепляется в центре. Другой (внешний) конец спирали кинематически связан со стрелкой и перемещается вдоль шкалы. Такой термометр совершенно нечувствителен к изменениям внешнего давления и механически прочен.
- Диапазон показания термометра от  $-70^{\circ}\text{C}$  до и  $+600^{\circ}\text{C}$ .



Для низких температурных пределов (от  $-70$  до  $100^{\circ}\text{C}$ ) погрешность находится обычно в пределах  $1^{\circ}\text{C}$ .  
При высоких температурах до  $600^{\circ}\text{C}$  погрешность может достигать  $10^{\circ}\text{C}$ .

# Дилатометрические термометры



- Действие основано на использовании разности удлинений трубки **1** и стержня **2** при нагреве вследствие различия их коэффициентов линейного расширения

- Трубка изготавливается из материала с малым коэффициентом линейного расширения (кварц, инвар), а стержень - с большим (латунь, медь, алюминий, сталь), поэтому при нагреве стержень удлиняется больше трубки. Движение стержня передается стрелке З.
- *Дилатометрические термометры* как указатели температуры обычно не применяют. Они служат чувствительными элементами (датчиками) в системах автоматического регулирования и сигнализации температуры



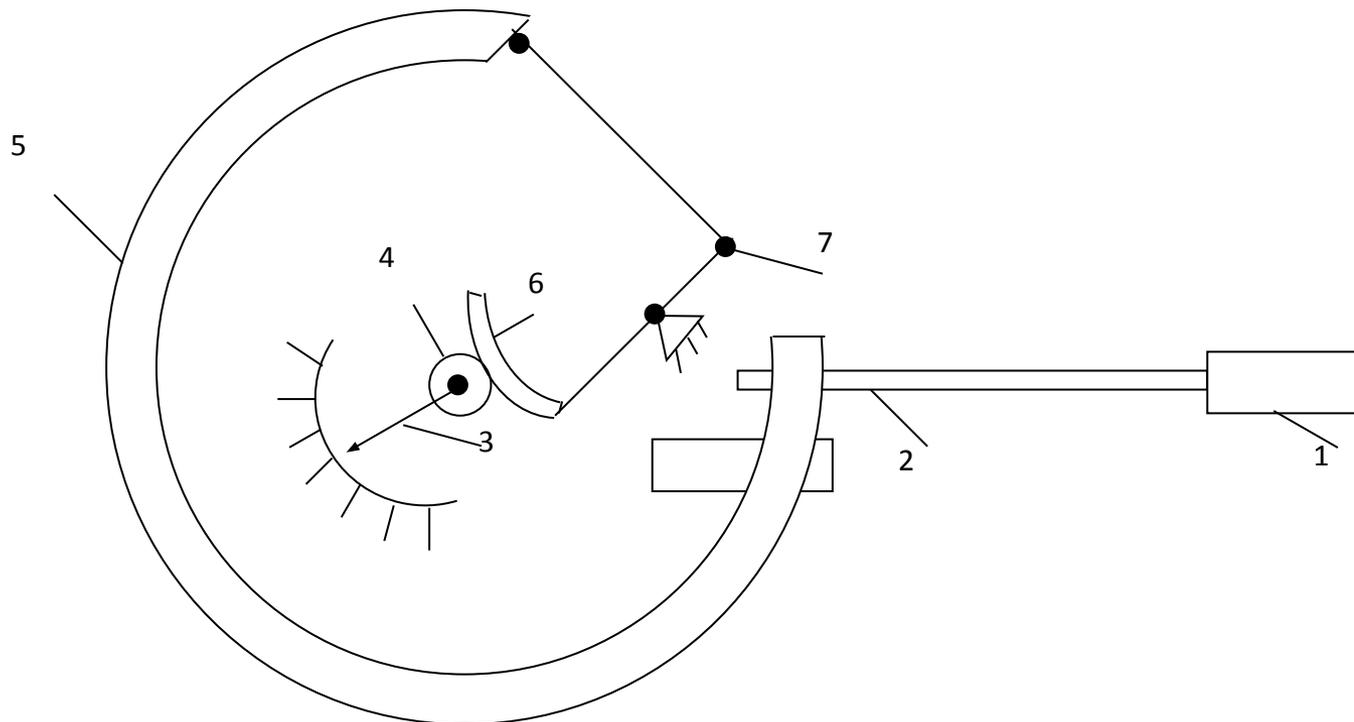
ТУДЭ-М1 терморегулятор дилатометрический,  
(внешний вид)

# Манометрические термометры



- Действие основано на зависимости давления рабочего вещества в замкнутом объеме от температуры.

# Конструкция МТ



- 1 – термобаллон, 2 – капилляр, 3 – стрелка, 4 – зубчатое колесо, 5 – манометрическая трубка, 6 – сектор, 7 – тяга.

- Конструктивно **манометрические термометры** представляют собой герметичную систему, состоящую из баллона, соединённого капилляром с манометром. Термобаллон погружается в измеряемую среду. При изменении температуры рабочего вещества в термобаллоне происходит изменение давления во всей замкнутой системе, которое через капиллярную трубку передается на манометр.
- Капилляр манометрического термометра обычно представляет собой латунную трубку с внутренним диаметром в доли миллиметра. Это позволяет удалить манометр от места установки термобаллона на расстояние до 60 м.
- При необходимости передачи результатов измерений на большое расстояние манометрические термометры снабжают промежуточными преобразователями с унифицированными выходными пневматическими или электрическими сигналами

# Виды манометрических термометров

В зависимости от рабочего вещества различают газовые, жидкостные и конденсационные термометры.

- **Газовые манометрические термометры** заполняются азотом или гелием. Диапазон измерения температур от  $-200$  до  $+800^{\circ}\text{C}$  (ГОСТ 16920-93)
- **Жидкостные манометрические термометры** заполняются ртутью, толуолом, ксилолом, метиловым или пропиловым спиртом. Диапазон измерения температур от  $-150$  до  $400^{\circ}\text{C}$ .
- В **конденсационных манометрических термометрах** применяются легкокипящие жидкости пропан, хлористый этил, этиловый эфир, ацетон, бензол и т.д. Конденсационные манометрические термометры обладают высокой чувствительностью. Диапазон измерения температур  $-50$  до  $+300^{\circ}\text{C}$

## достоинства

- легкость в использовании и обслуживании;
- устойчивость к вибрациям;
- возможность регистрировать показания;
- взрывобезопасность;
- невысокая стоимость.

## недостатки

- большая инерционность,
- относительно невысокая точность измерений,
- трудность ремонта при разгерметизации термосистемы, необходимость частых проверок

# Измерение уровня

---

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ:**

**Уровень** – высота заполнения технологического аппарата рабочей средой (жидкостью или сыпучим телом).

**Уровнемер** – прибор для непрерывного измерения уровня.

**Сигнализатор уровня** – прибор для сигнализации одного или нескольких фиксированных (дискретных) значений уровня.

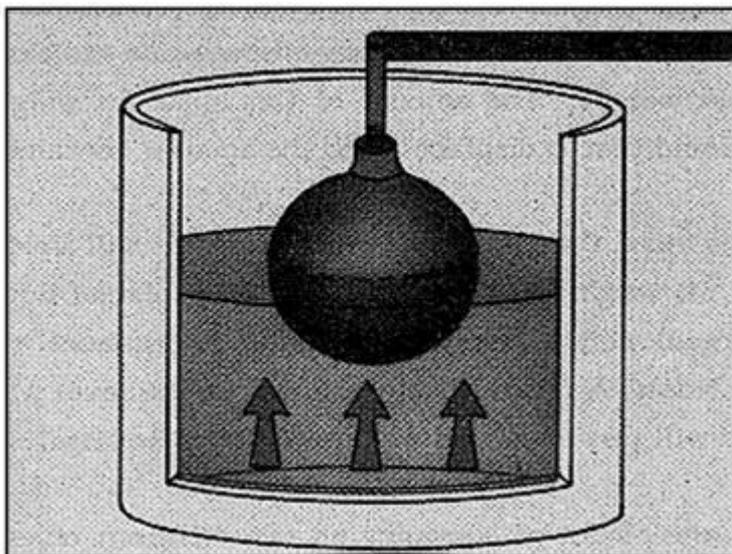
# Типы уровнемеров в зависимости от физического метода измерения.

Наибольшее распространение в промышленном использовании получили следующие виды уровнемеров:

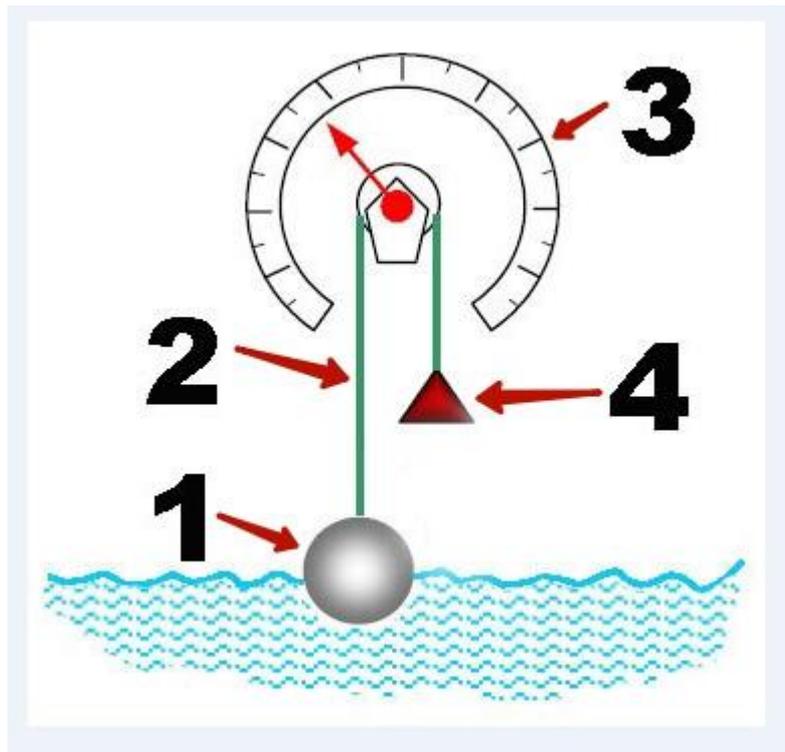
- поплавковые,
- буйковые,
- пьезометрические,
- гидростатические,
- электрические
- ультразвуковые

## Поплавковые уровнемеры

- Действие основано на *принципе плавучести* - свойстве погружённого в жидкость тела оставаться в равновесии, не выходя из воды и не погружаясь дальше, то есть плавать.
- Измеряется перемещение чувствительного элемента - *поплавка*, плавающего на поверхности жидкости за счет действия подъемной силы, равной по величине весу вытесненной жидкости.



Обычно поплавков связан с указателем уровня гибкой механической связью. В качестве поплавков применяют преимущественно полые шаровидные или сферо-цилиндрические тела, выполненные из полипропилена, устойчивого к воздействию неконцентрированных кислот и щелочей, большинства растворителей, спирта, бензина, воды, консистентных смазок и масел.



Поплавковый уровнемер  
широкого диапазона.

- 1 – поплавок;
- 2 – трос;
- 3 – шкала;
- 4 – противовес

# Типы поплавковых уровнемеров

- Чтобы измерять уровень жидкостей, имеющих невысокую температуру и которые находятся под низким давлением, чаще всего применяют **уровнемеры типа УДУ**. Они имеют довольно высокий показатель точности, их погрешность составляет порядка четырех миллиметров, при этом глубина сосуда может достигать двадцати метров. Измерения можно производить при температуре от  $-50$  градусов по Цельсию до  $+50$  градусов по Цельсию, а избыточное давление может составлять от 1,5 до 3 кПа.
- В случаях, когда жидкость находится под большим давлением, или если ее температура находится вне допустимого диапазона измерения ее уровня при помощи уровнемера типа УДУ, используют **поплавковый уровнемер типа ПМП**, в конструкции которого используется **магнитный преобразователь**. Точность измерения достигает пяти миллиметров, а глубина сосуда может достигать шести метров.

# Внешний вид поплавкового уровнемера



- Наиболее часто поплавковые уровнемеры используют для измерения уровней однородных жидкостей в больших открытых резервуарах, а также в закрытых резервуарах с низким давлением.
- Основные достоинства: простота, прочность невысокая стоимость.
- Недостатки: поплавковые уровнемеры непригодны для вязких жидкостей из-за залипания поплавка, обволакивания его вязкой средой. Погрешность измерения зависит от изменений (колебаний) плотности жидкости. Плавучесть зависит от размеров поплавка

# Гидростатические уровнемеры

Предназначены для измерения гидростатического давления  $P$  столба жидкости, зависящего от его высоты  $h$ :

$$P = \rho \cdot g \cdot h,$$

$\rho$  – плотность жидкости;

$g$  – ускорение свободного падения.

Измерение давления осуществляется *манометром* (прибором для измерения избыточного давления).

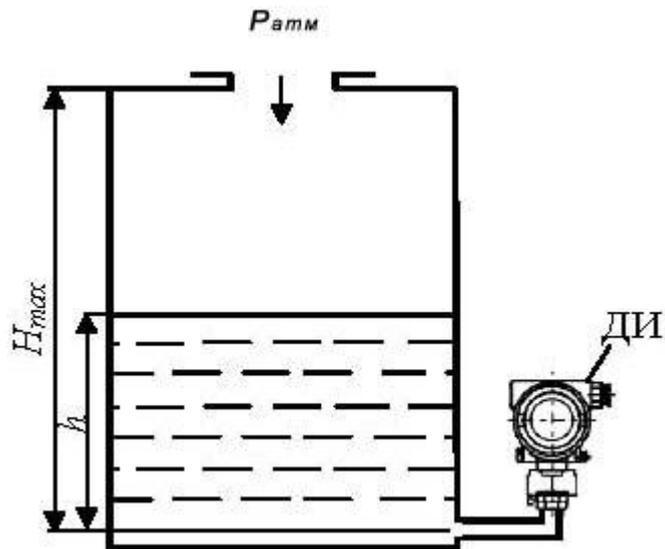
Гидростатические уровнемеры по способу монтажа разделяют на фланцевые, врезные и погружные.

# Врезные и фланцевые гидростатические уровнемеры

Уровень измеряется:

- манометром или датчиком давления, которые подключаются к резервуару на высоте, равной нижнему предельному значению уровня.
- Дифференциальным манометром, который подключается к резервуару на высоте, равной нижнему предельному значению уровня, и к газовому пространству над жидкостью.

**Измерение уровня в резервуаре при помощи датчика избыточного давления ДИ:**



При измерении уровня гидростатическим способом погрешности измерения определяются классом точности измерительного прибора, изменениями плотности жидкости и колебаниями атмосферного давления.

## Погружные гидростатические уровнемеры

- имеют в своем составе измерительный элемент, расположенный на кабеле и погружаемый в жидкость. В отличие от врезных и фланцевых датчиков уровня, данные устройства не требуют доступ в нижней части емкости, что позволяет применять их в труднодоступных местах



- **Достоинства гидростатических уровнемеров :** имеют простую конструкцию, большой диапазон измерения, высокую точность, отличаются невысокой стоимостью и надежностью работы, работают с вязкими жидкостями и при большом избыточном давлении.
- **Ограничения:** гидростатические уровнемеры врезного и фланцевого типа подходят только в условиях возможности непосредственного контакта устройств с нижней частью емкости или резервуара.
- **Недостатки:** на точность измерения влияют колебания плотности жидкости; движение жидкости вызывает изменение давления и также приводит к ошибкам измерения; чувствительный элемент не находится в непосредственном контакте с измеряемой средой.

# Внешний вид гидростатического уровнемера



# Внешний вид гидростатического уровнемера



# Электрические уровнемеры

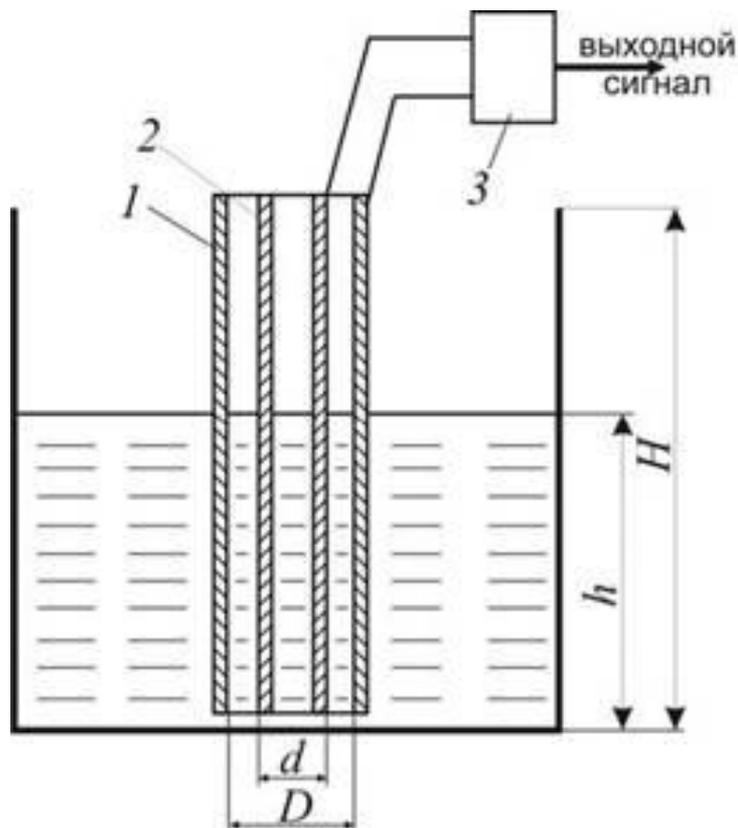
Принцип действия электрических уровнемеров основан на различии электрических свойств жидкостей и газов. При этом жидкости, уровень которых измеряется, могут быть как проводниками, так и диэлектриками; газы, находящиеся в жидкостном пространстве, всегда диэлектрики.

В зависимости от вида электрического сигнала, в который преобразуется уровень, электрические уровнемеры делят на:

- кондуктометрические,
- емкостные,
- индуктивные
- вибрационные

# Ёмкостные уровнемеры

- **Принцип действия** основан на различии диэлектрической проницаемости жидкости и воздуха. В связи с этим по мере погружения электродов датчика уровнемера в жидкость изменяется ёмкость между ними пропорционально уровню жидкости в резервуаре.



В сосуд с контролируемой жидкостью опущен преобразователь, который представляет собой электрический конденсатор, состоящий из двух обкладок (электродов) 1 и 2.

На схеме показан цилиндрический конденсатор, диаметры электродов которого  $D$  и  $d$ .

Ёмкость конденсатора зависит от уровня электропроводящей жидкости. Изменение ёмкости фиксируется электронным блоком 3, который вырабатывает выходной сигнал.

# Достоинства и недостатки

## Достоинства :

- простота, удобство монтажа и обслуживания, надежность, высокая точность (известны емкостные уровнемеры, основная погрешность которых не превосходит 0,1-0,2 %). Емкостные уровнемеры могут измерять уровень не только жидкостей, но и твердых сыпучих материалов: цемента, извести и т. п.

## Недостатки :

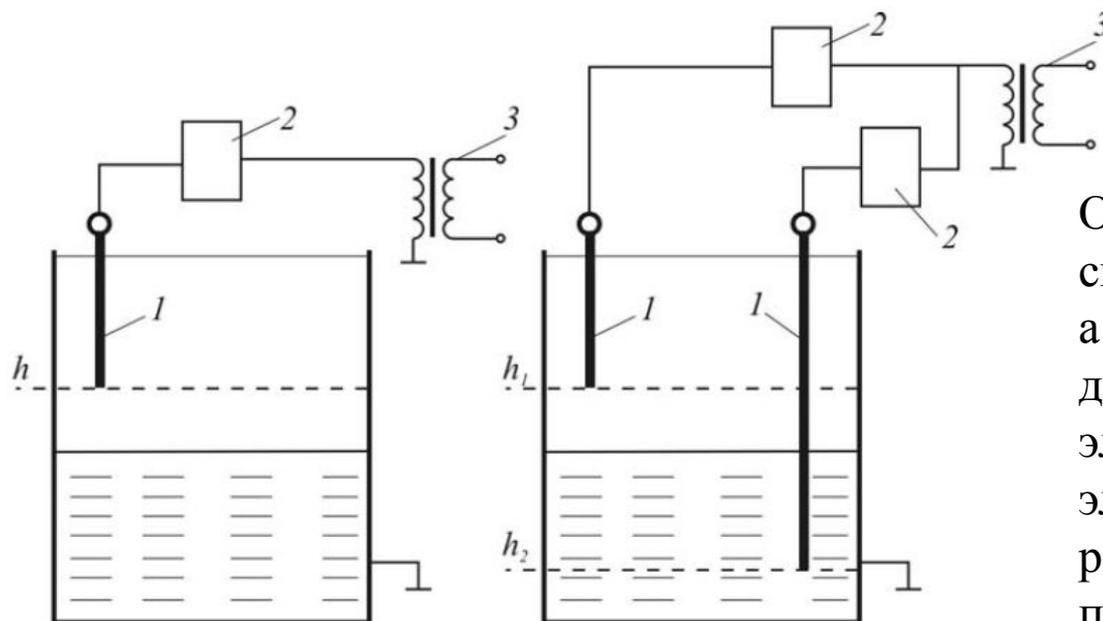
- высокая чувствительность к изменению электрических свойств жидкостей, обусловленных изменением их состава, температуры и т. п.;
- образование на элементах датчика электропроводящей или непроводящей пленки вследствие химической активности жидкости, конденсации ее паров, налипания самой жидкости на контактирующие в ней элементы и т. п.
- Оба указанных недостатка обуславливают появление существенных дополнительных погрешностей. С первым из них борются, применяя различные компенсационные схемы; второй устраняют, используя адгезионные покрытия элементов датчика, вводя специальные присадки в жидкость, применяя „снос" образующейся пленки и т. д.

# Кондуктометрические (омические) уровнемеры

**Принцип действия** заключается в использовании разницы показателей электропроводимости воздуха и контролируемой жидкой среды.

В простейшем исполнении датчик состоит из корпуса с резьбовым штуцером, изоляции, герметизирующего колпачка и погружного элемента, подключаемого к реле вместе с общим электродом, функции которого выполняют стенки металлического бака или дополнительный контрольный стержень, погружаемый как можно ближе к дну или нижнему пределу измерения.

В качестве электродов применяют металлические стержни или трубки и угольные электроды (для агрессивных жидкостей).



Омические сигнализаторы уровня:  
а – одного уровня; б – двух уровней; 1 – электрод; 2 – электромагнитное реле; 3 – источник питания

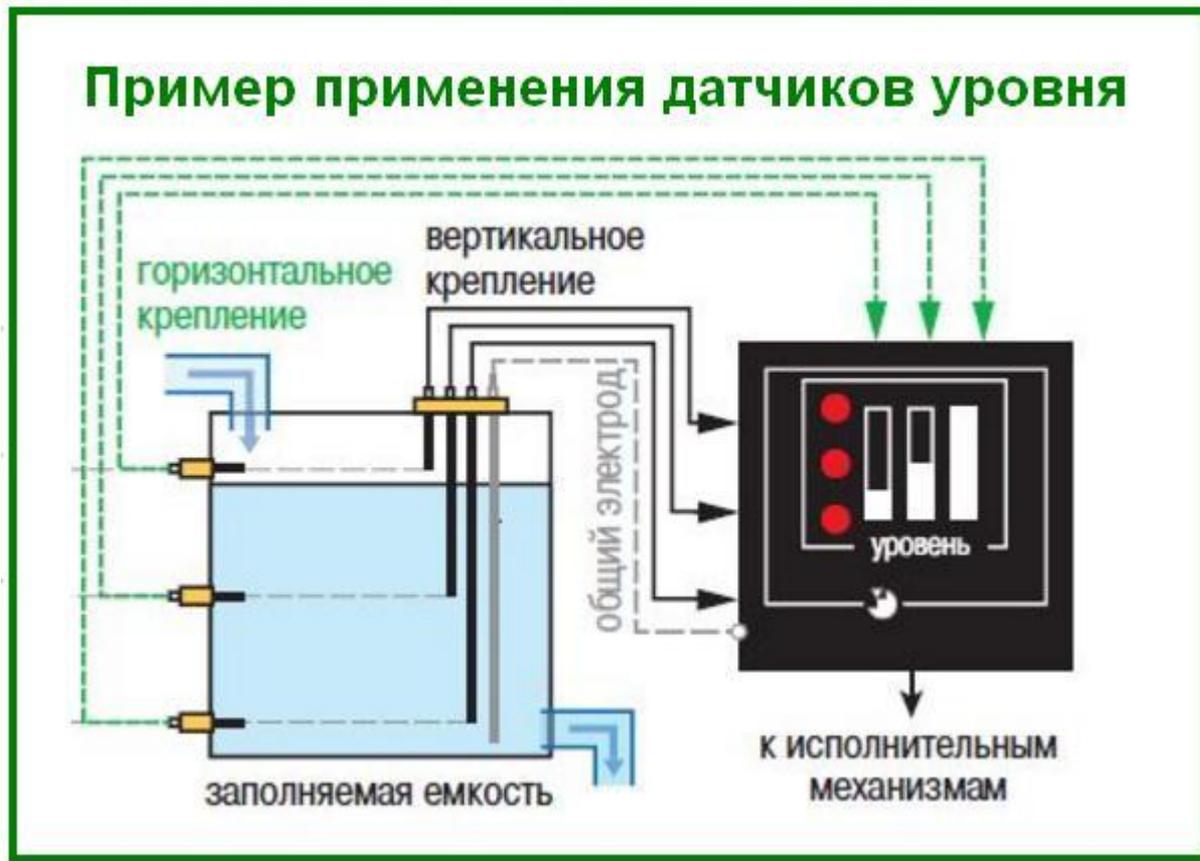
### Достоинства :

- устойчивость к турбулентности и напору контролируемой среды;
- наличие прочного и компактного корпуса, возможность наращивания длины погружных частей;
- отсутствие движущихся узлов
- Замыкаемая или размыкаемая цепь является слаботочной
- простота настройки и обслуживания, безопасность

### Недостатки :

- Основные факторы, ограничивающие точность кондуктометрических уровнемеров — непостоянство площадей поперечных сечений электродов (и вследствие этого непостоянство удельных сопротивлений по длине электродов),
- Кроме того, на точность кондуктометрических уровнемеров существенное влияние оказывает изменение электропроводности рабочей жидкости, поляризация среды вблизи электродов.
- Образование на электродах пленки (окисла, соли) с высоким удельным сопротивлением приводит к резкому неконтролируемому снижению чувствительности датчика.
- Вследствие этого погрешности кондуктометрических методов измерения уровня (даже при использовании различных компенсационных схем) достаточно высоки (5—10 %),

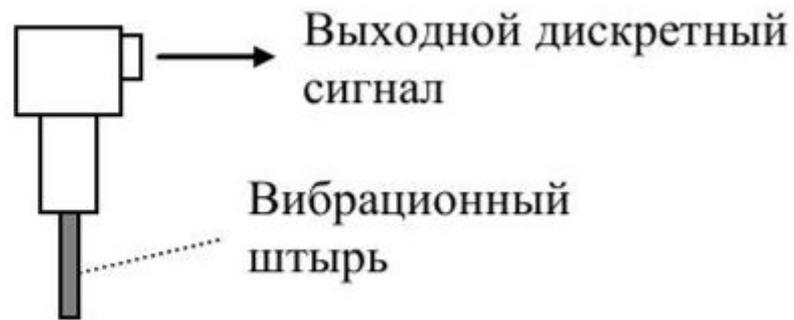
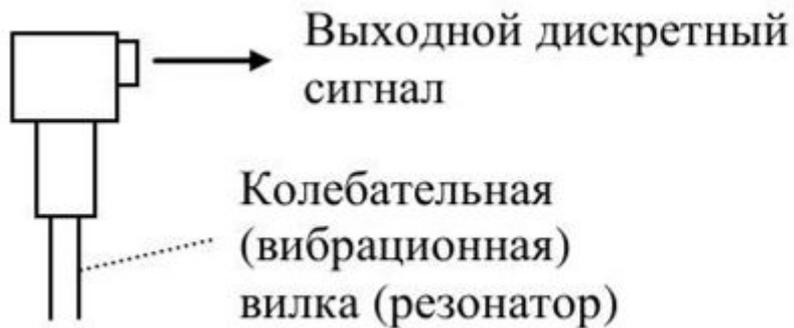
**Кондуктометрические уровнемеры** используют главным образом для сигнализации и поддержания в заданных пределах уровня электропроводных жидкостей.



# Вибрационные уровнемеры

Используются в качестве сигнализаторов уровня

- **Принцип действия** основан на различии резонансных колебаний вибрирующего чувствительного элемента – камертонного резонатора в газовой (воздушной) среде и в жидкости (сыпучем материале). Чувствительный элемент приводится в действие пьезоэлектрическим методом и вибрирует с механической резонансной частотой приблизительно 1200...1300 Гц. При погружении вибрирующего элемента в измеряемую среду частота изменяется.
- Для датчика, используемого для жидкостей, измеряется частота колебаний, а для датчиков сыпучих материалов - измеряется амплитуда колебаний. Эти параметры воспринимаются встроенным приемником, а затем подаются на усилитель. Изменения собственной частоты колебания резонатора отслеживаются прибором, и при каких-либо изменениях подаётся сигнал оповещения о достижении предельного нижнего или верхнего уровня.



Вибрационные уровнемеры отличаются надежностью и широкой областью применения. Конструкция и принцип действия данных устройств снижает до минимума их восприимчивость к химическим и физическим свойствам измеряемого вещества. Также вибрационные уровнемеры показывают точные результаты при турбулентности, наличии пузырьков воздуха в жидких средах, и прочих неблагоприятных условиях работы.