

# *Лекция № 6*

## *ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ*

# ПЛАН

1. Методы измерения температуры
2. Классификация приборов для измерения температуры
3. Термометры расширения
4. Манометрические термометры
5. Термометры сопротивления
6. Термоэлектрические термометры
7. Пирометры излучения

# 1. Методы измерения температуры

Температурой называется степень нагретости вещества.

Для ее измерения выбираются те физические свойства объекта, которые однозначно меняются с изменением температуры, не подвержены влиянию других факторов и сравнительно легко поддаются измерению. Это: *объемное расширение, изменение давления в замкнутом объеме, изменение электрического сопротивления, возникновение термоэлектродвижущей силы и интенсивность излучения.*

В зависимости от принципа действия приборы согласно ГОСТ 13417-76 подразделяются на:

***Манометрические термометры*** - они основаны на измерении давления рабочего вещества при постоянном объеме с изменением температуры.

***Термоэлектрические термометры*** - основа - термоэлектрический преобразователь (термопара), действие которого основано на зависимости термоЭДС от температуры.

***Термометры сопротивления*** - содержат термопреобразователь, действие которого основано на зависимости электрического сопротивления от температуры. Их делят на проводниковые и полупроводниковые.

***Пирометры излучения*** - квазимонохроматические, пирометры спектрального отношения, пирометры полного излучения. Действие основано на законах Планка и Вина

Приборы для измерения температуры разделяются в зависимости от физических свойств, положенных в основу их построения, на следующие группы:

Термометры расширения от  $-190$  до  $+500^{\circ}\text{C}$

Манометрические термометры от  $-160$  до  $+600^{\circ}\text{C}$

Термометры сопротивления от  $-200$  до  $+650^{\circ}\text{C}$

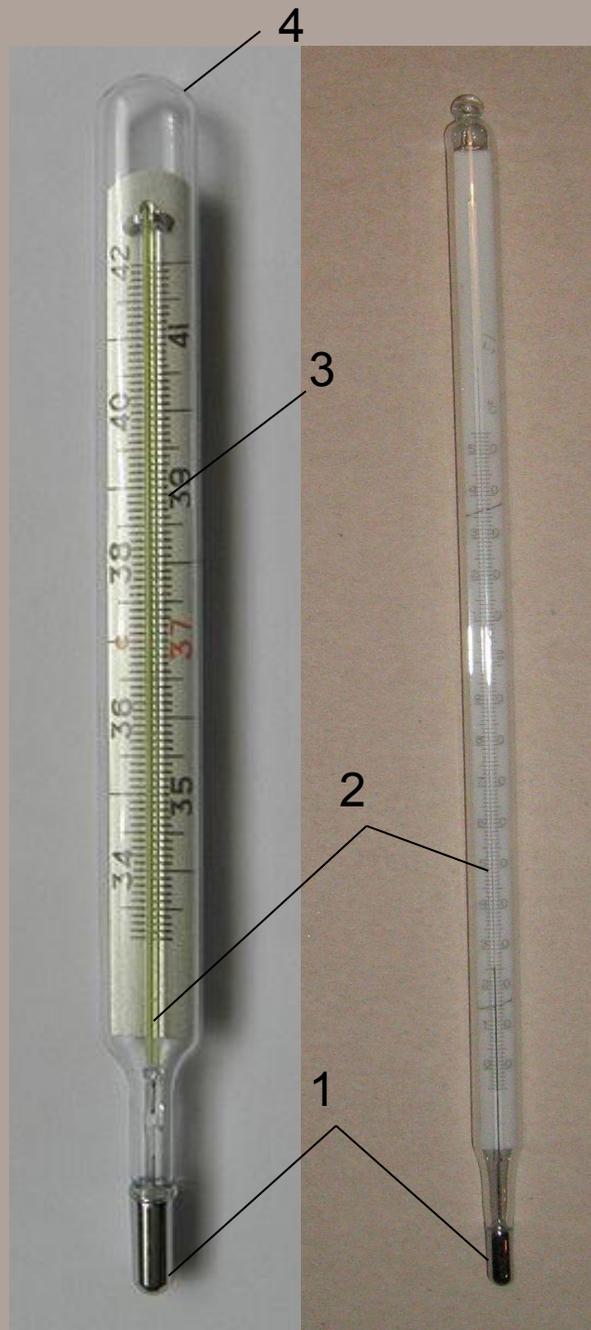
Термоэлектрические термометры от  $0$  до  $+1800^{\circ}\text{C}$

Пирометры от  $+1000$  до  $+2500^{\circ}\text{C}$

### 3. ТЕРМОМЕТРЫ РАСШИРЕНИЯ

Принцип действия термометров расширения основан на свойстве тел под действием температуры изменять объем, а следовательно, и линейные размеры. Термометры расширения разделяются на жидкостные стеклянные и механические (дилатометрические и биметаллические)

Термометр с вложенной шкалой имеет заполненный ртутью резервуар 1, капиллярную трубку 2, циферблат 3 из молочного стекла со шкалой и наружную цилиндрическую оболочку 4, в которой укреплены капилляр и циферблат. Наружная оболочка с одного конца плотно закрыта, а с другого - припаяна к резервуару.



Палочный термометр состоит из резервуара 1, соединенного с толстостенным капилляром 2 наружным диаметром 6-8 мм. Шкала термометра нанесена непосредственно на поверхности капилляра в виде насечки по стеклу. Палочные термометры являются более точными по сравнению с термометрами с вложенной шкалой.

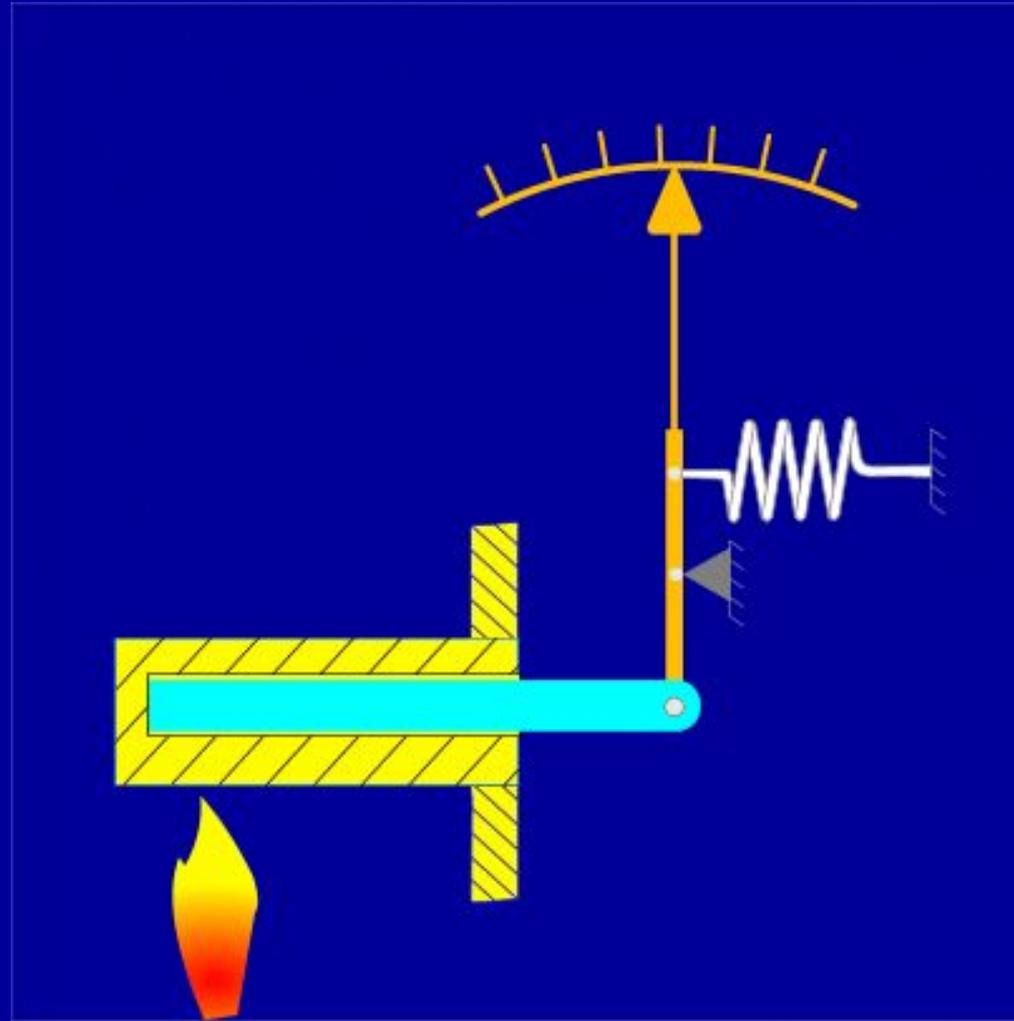
К дилатометрическим термометрам относятся **стержневой** и **пластинчатый** (биметаллический) термометры, действие которых основано на относительном удлинении под влиянием температуры двух твердых тел, имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения.

Зависимость длины  $l$  твердого тела от его температуры  $t$  выражается равенством

$$l = l_0 (1 + \alpha t)$$

где  $l_0$  - длина тела при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\alpha$  - средний температурный коэффициент линейного расширения тела,  $\text{K}^{-1}$ .

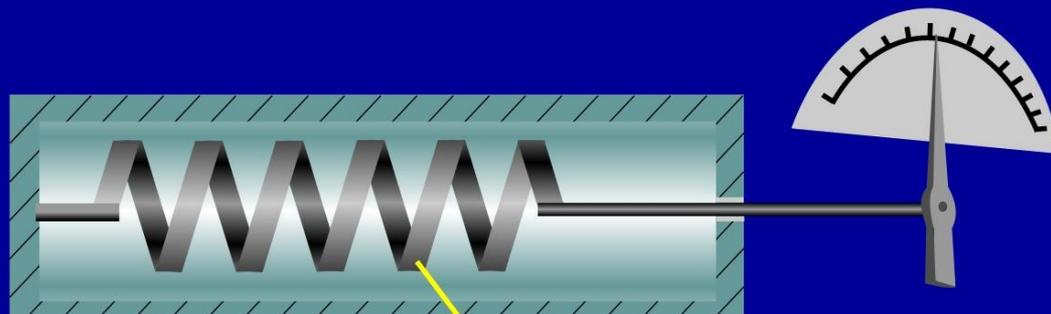
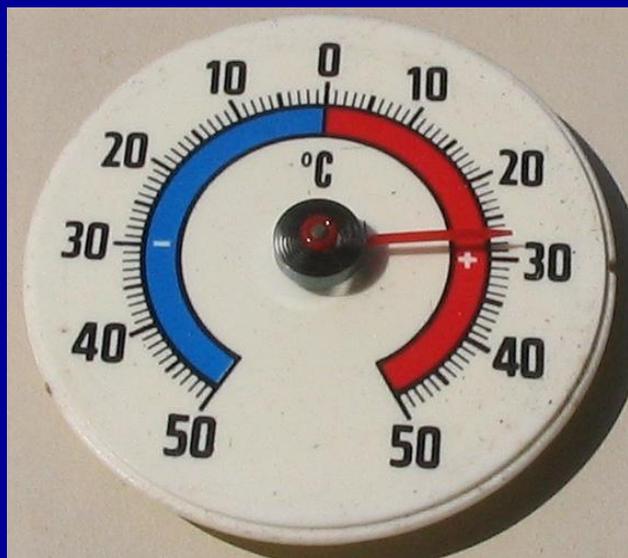
**Стержневой** термометр имеет закрытую с одного конца трубку, помещаемую в измеряемую среду и изготовленную из материала с большим коэффициентом линейного расширения. В трубку вставлен стержень, прижимаемый к ее дну рычагом, скрепленным с пружиной. Стержень изготовлен из материала с малым коэффициентом расширения. При изменении температуры трубка изменяет свою длину, что приводит к перемещению в ней стержня, сохраняющего почти постоянные размеры и связанного посредством рычага с указательной стрелкой прибора.



Такие термометры часто называют **биметаллическими**.

Дилатометрические термометры не получили распространения как самостоятельные приборы, а используются главным образом в качестве чувствительных элементов в сигнализаторах температуры.

Дилатометрическими и биметаллическими термометрами измеряется температура в пределах от  $-150$  до  $+700$  °С (погрешность 1—2,5%).



*Биметаллическая  
плоская пружина*

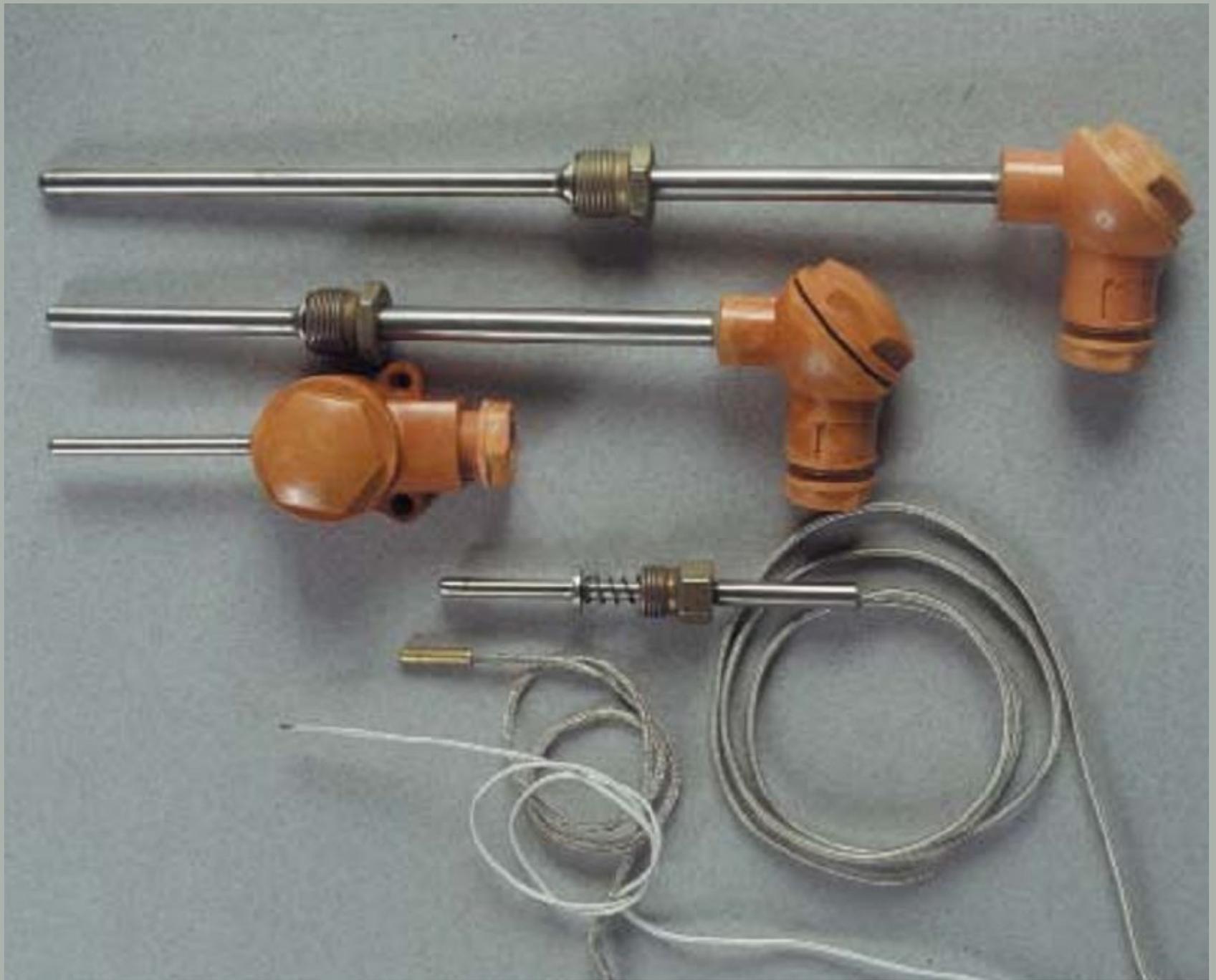
## 4. МАНОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

*Действие манометрических термометров основано на зависимости давления жидкости, газа или пара с жидкостью в замкнутом объеме (термосистеме) от температуры.* Указанные термометры являются промышленными показывающими и самопишущими приборами, предназначенными для измерения температуры в диапазоне до 600° С. Класс точности их 1 - 2,5.

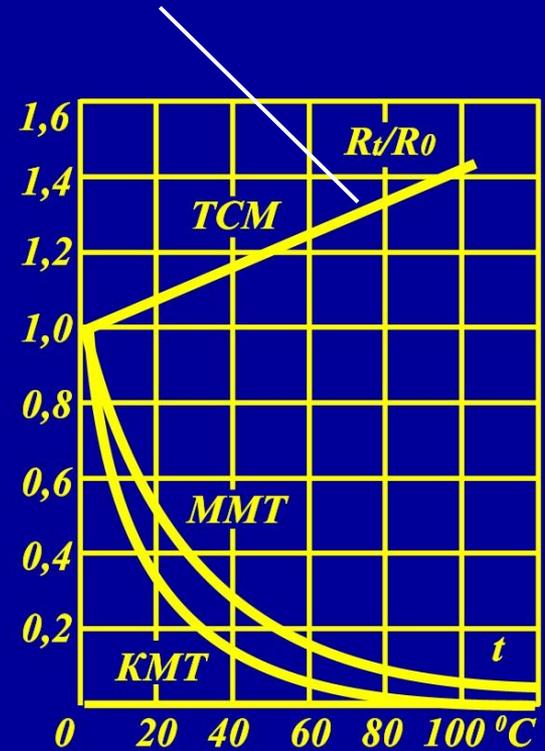
В зависимости от заключенного в термосистеме рабочего вещества манометрические термометры разделяются на *газовые, жидкостные* и *конденсационные*. Выбор рабочего вещества производится исходя из заданного диапазона показаний и условий измерения.

## 5. ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Для измерения температуры широкое применение получили термометры сопротивления, *действие которых основано на изменении электрического сопротивления металлических проводников в зависимости от температуры*. Из числа чистых металлов наиболее пригодными для изготовления термометров сопротивления являются платина (Pt) и медь (Cu). Применяются *технические* (промышленные), *образцовые* и *эталонные* платиновые термометры сопротивления.



Степень чистоты платины характеризуется отношением  $R_{100}/R_0$ , где  $R_0$  и  $R_{100}$  - сопротивления термометра при 0 и 100° С. Для спектрально чистой платины это отношение равно 1,3925, а для платины, применяемой при изготовлении образцовых термометров 2-го разряда и технических термометров, 1,391.

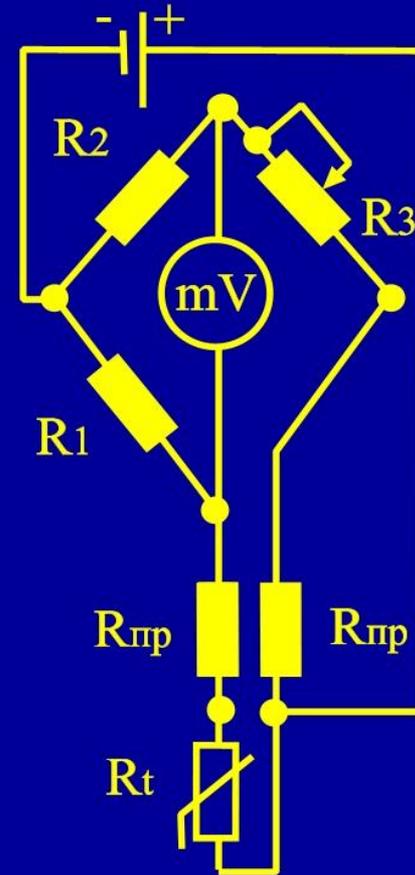
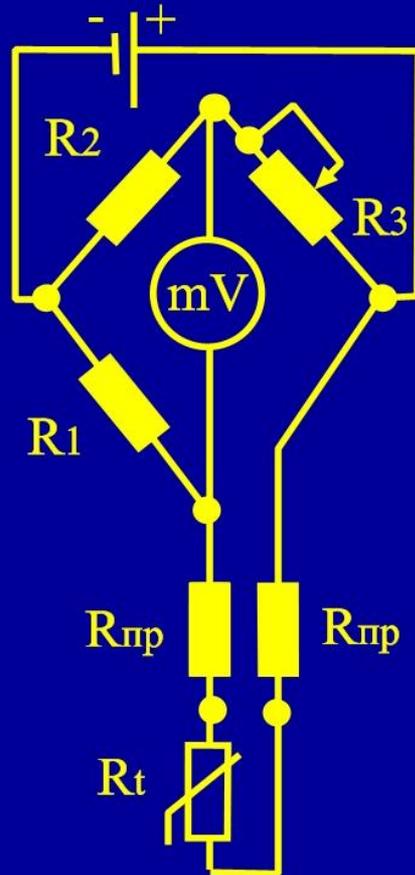


К достоинствам меди относятся ее дешевизна, легкость получения в чистом виде и сравнительно высокий температурный коэффициент электрического сопротивления. Недостатками ее являются небольшое удельное сопротивление и легкая окисляемость при высоких температурах, конечный предел применения медных термометров сопротивления ограничивается температурой  $180^{\circ}\text{C}$ . Для меди, применяемой при изготовлении термометров сопротивления, отношение  $R_{100}/R_0$  равно 1,426. Стандартные технические термометры сопротивления изготавливаются из платины и меди. Платиновые термометры сопротивления имеют обозначение **ТСП**, а медные - **ТСМ**. При температуре  $0^{\circ}\text{C}$  сопротивление  $R_0$  термометров равно: платиновых 10, 50 или 100 Ом и медных 50 или 100 Ом.

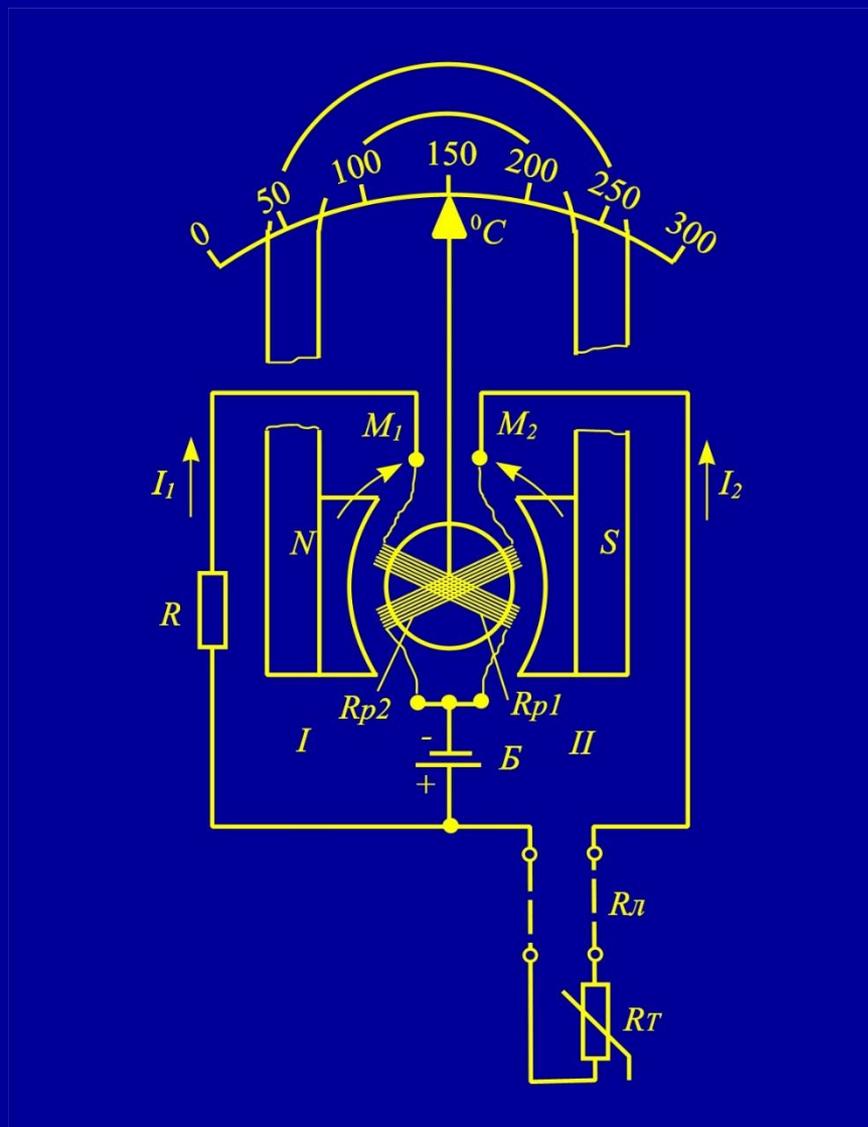
# ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Тип	Назначение	Диапазон измеряемых температур	Номинальная статическая характерис- тика (НСХ)	Класс допуска по ГОСТ 6651-94	Длина монтажной части, м	
					мин.	макс.
TSM-0595 Ex	Измерение температуры газообразных и жидких сред во взрывоопасных зонах или помещениях	-50...150 <sup>0</sup> C	Cu50, Cu100	B	120	200
TСП-0595 Ex		-200...500 <sup>0</sup> C	Pt50, Pt100,	B	80	200
TSM-0193 TSM-1293 TSM-1393 TSM-0196	Измерение температуры газообразных, жидких и твердых тел	50...180 <sup>0</sup> C (кратковре- менно до 200 <sup>0</sup> C)	Cu50, Cu100	B, C	80	3150
TСП-0193 TСП-1293 TСП-1393 TСП-0196 TСП-0196-05		-200...500 <sup>0</sup> C	Pt50, Pt100, Pt500, Pt1000	A, B	80	3150
TСП-0395 TSM-0395 TСП-0395-05 TСП-0397	Измерение температуры пищевых продуктов	-50...150 <sup>0</sup> C	Pt50, Pt100, Cu50, Cu100	B, C	80	120

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

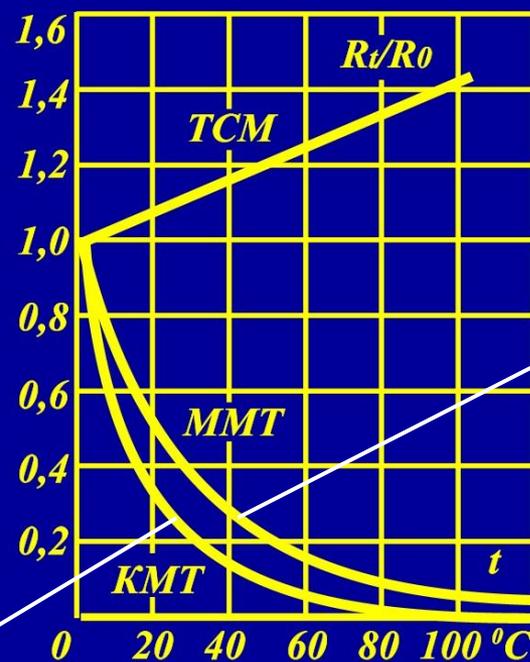


# МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛОГОМЕТРЫ



# Полупроводниковые термометры сопротивления

Полупроводниковые термометры сопротивления - *терморезисторы*, изготавливаемые из порошкообразной смеси окислов некоторых металлов: меди ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), марганца ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ), кобальта ( $\text{CoO}$ ), никеля ( $\text{NiO}$ ) и др., спрессованной и спеченной при высокой температуре. Наиболее распространены для измерения и регулирования температуры терморезисторы типов КМТ (смесь окислов кобальта и марганца) и ММТ (смесь окислов меди и марганца).



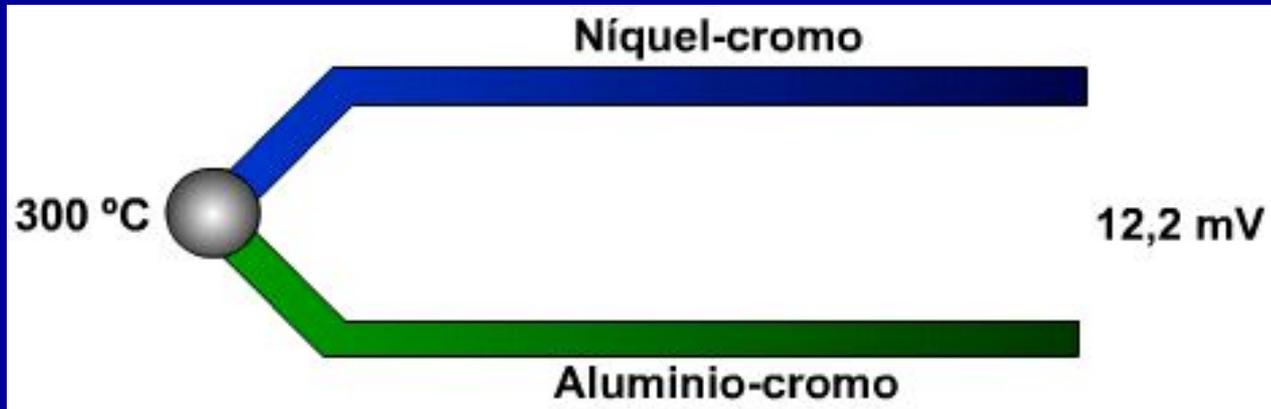
## 6. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

Действие термоэлектрических термометров основано на свойстве металлов и сплавов создавать термоэлектродвижущую силу (термо-э.д.с.), зависящую от температуры места соединения (спая) концов двух разнородных проводников (термоэлектродов), образующих чувствительный элемент термометра — термопару. Располагая законом изменения термо-э.д.с. термометра от температуры и определяя значение термо-э.д.с. электроизмерительным прибором, можно найти искомое значение температуры в месте измерения.

1. При соединении одинаково нагретых концов двух проводников из разнородных материалов, из которых в первом количество свободных электронов в единице объема больше, чем во втором, последние будут диффундировать из первого проводника во второй в большем числе, чем обратно. Таким образом, первый проводник станет заряжаться положительно, а второй — отрицательно.

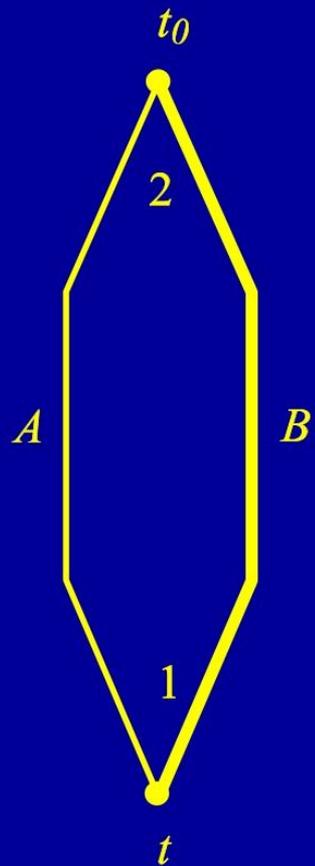
2. Кроме того, термо-э.д.с. возникает и между концами однородного проводника, имеющими разные температуры. В этом случае до наступления состояния подвижного равновесия положительно заряжается более нагретый конец проводника как обладающий большей концентрацией свободных электронов по сравнению с концом, менее нагретым

## Схема термопары.

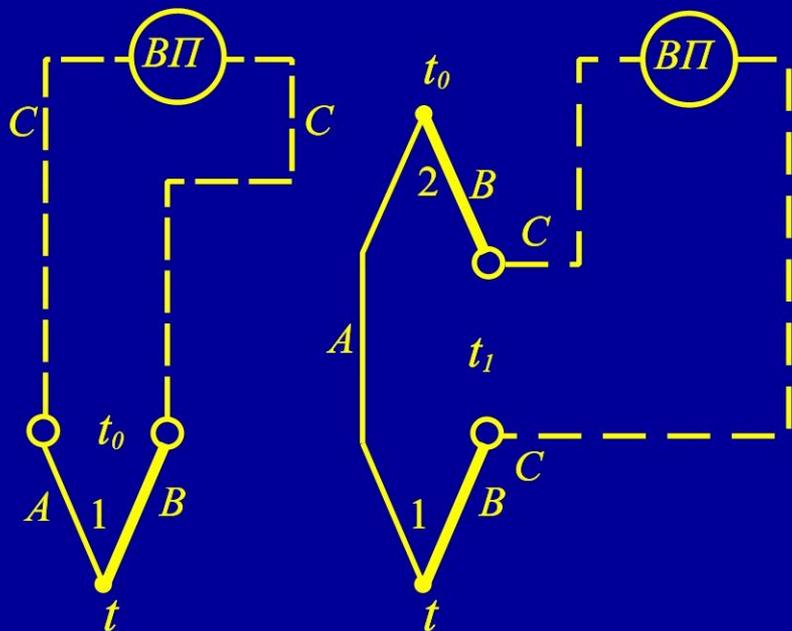


При температуре спая нихрома и алюминий-хрома равной 300 °C термоэдс составляет 12,2 мВ.

В качестве вторичных приборов, работающих с термоэлектрическими термометрами, применяются *магнитоэлектрические милливольтметры и потенциометры.*



В замкнутом контуре термоэлектрического термометра, состоящем из разнородных термоэлектродов  $A$  и  $B$ , одновременно действуют оба указанных выше фактора, вызывающие появление в спаях  $1$  и  $2$  (спай  $1$ , погружаемый в измеряемую среду, называется *рабочим концом* термоэлектрического термометра, а спай  $2$  - *свободным концом*) в зависимости от их температур  $t$  и  $t_0$  и материала термоэлектродов двух суммарных термо-э.д.с.  $e_{AB}(t)$  и  $e_{BA}(t_0)$ , взятых при обходе контура против часовой стрелки. Создаваемая термометрами термо-э.д.с. сравнительно невелика; она составляет не более  $8$  мВ на каждые  $100$  °С и при измерении высоких температур не превышает  $70$  мВ.



Применяются два способа включения вторичного прибора в контур термометра: в свободный конец или в один из его термоэлектродов. Наибольшее распространение имеет первый из них.

Применяют следующие основные виды  
типы технических термопар:

1. **Платинородий-платиновые** (ТПП13 — Тип R, ТПП10 — Тип S ).  
Диапазон измерений 0 - 1600°C. Развиваемая т.э.д.с. — 1 мВ на 100°C.
2. **Платинородий-платинородиевые** (ТПР — Тип В ).  
Диапазон измерений +200 -1700 °С. Развиваемая т.э.д.с. — 0,9 мВ на 100°C.
3. **Хромель-алюмелевые** (ТХА — Тип К ). Диапазон измерений - 0 -1100 °С. Развиваемая т.э.д.с. — 4 мВ на 100°C.
4. **Хромель-копелевые** (ТХК — Тип L ). Диапазон измерений - 200-600°C. Развиваемая т.э.д.с. — 8,3 мВ на 100°C.

Тип	Назначение	Диапазон измеряемых температур	Номинальная статическая характеристика (НСХ)	Класс допуска
ТХК 008-009,	Измерение температуры жидких и газообразных, химически неагрессивных сред	-40...600 <sup>0</sup> С	ХК (L)	2
ТХА 008-009		-40...800 <sup>0</sup> С	ХА (K)	
ТХК 008-000	Измерение температуры газообразных и жидких химически неагрессивных, а также агрессивных сред, не разрушающих защитную арматуру, и температуры поверхности твердых тел	-40...600 <sup>0</sup> С	ХК (L)	2 (1)
ТХА 008-000		-40...800 <sup>0</sup> С	ХА (K)	
ТХК 008-013	Измерение температуры батонов колбас и других пищевых изделий в паровых камерах обжарки	-40...200 <sup>0</sup> С	ХК (L)	2
ТХК 1087 Ex	Измерение температуры жидких и газообразных сред во взрывоопасных зонах категорий В-Ia. Имеют взрывобезопасный уровень взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» и маркировку взрывозащиты «IExdIICT6».	0...600 <sup>0</sup> С	ХК (L)	2(1)
ТХА 1087 Ex		0...800 <sup>0</sup> С	ХА (K)	2(1)

## 7. ПИРОМЕТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Пирометры излучения работают по принципу измерения излучаемой нагретыми телами энергии, изменяющейся в зависимости от температуры этих тел.

Пирометры могут выступать в роли средства безопасного дистанционного измерения температур раскаленных объектов, что делает их незаменимыми для обеспечения должного контроля в случаях, когда физическое взаимодействие с контролируемым объектом невозможно из-за высоких температур. Их можно применять в качестве теплолокаторов (усовершенствованные модели), для определения областей критических температур в различных производственных сферах.

