

*. СРЕДСТВА И МЕТОДЫ
ИЗМЕРЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ*

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Приборы для измерения температуры делятся на две группы:

- **контактные** - имеет место надежный тепловой контакт чувствительного элемента прибора с объектом измерения;
- **бесконтактные** - чувствительный элемент термометра в процессе измерения не имеет непосредственного соприкосновения с измеряемой средой

Термометрическое свойство	Наименование устройства	Пределы длительного применения, °С	
		Нижний	Верхний
Тепловое расширение	Жидкостные стеклянные термометры	-190	600
Изменение давления	Манометрические термометры	-160	60
Изменение Электрического сопротивления	Электрические термометры сопротивления	-200	500
	Полупроводниковые термометры сопротивления	-90	180
Термоэлектрические эффекты	Термоэлектрические термометры (термопары) стандартизованные	-50	1600
	Термоэлектрические термометры (термопары)	1300	2500
Тепловое излучение	Оптические пирометры	70	6000
	Радиационные пирометры	20	3000
	Фотоэлектрические пирометры	600	4000
	Цветовые пирометры	1400	2800

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТАКТНЫМ СПОСОБОМ

Классификация по принципу действия:

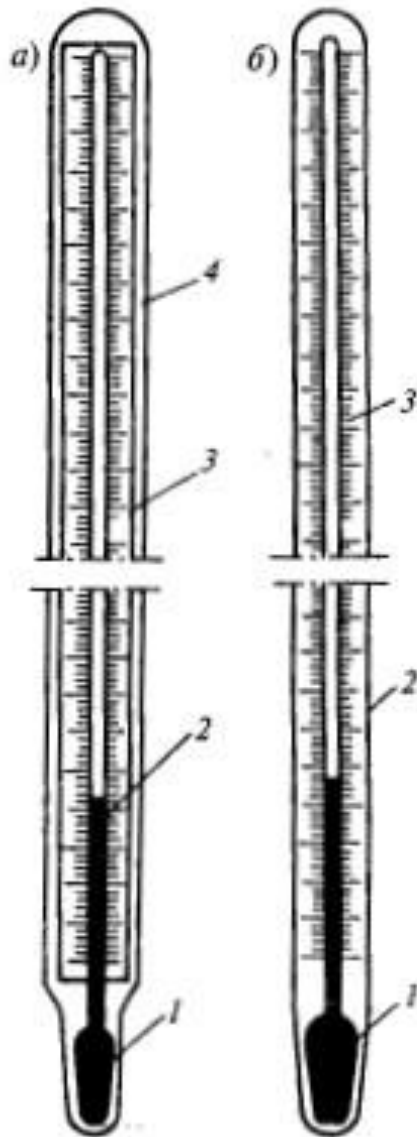
1. **Термометры расширения** – принцип действия основан на изменении объема жидкости (жидкостные) или линейных размеров твердых тел (биметаллические) при изменении температуры. Предел измерения от минус 190°C до плюс 600°C .

ЖИДКОСТНЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ

действие основано на различных коэффициентах теплового расширения жидкости и оболочки, в которой она находится



Жидкостные термометры



Принцип действия основан на зависимости между температурой и объемом термометрической жидкости, заключенной в термометре.

Основная масса выпускаемых термометров по своей конструкции делится на две группы:

- термометры с вложенной шкалой, у которых шкальная пластина вставлена внутрь оболочки и жестко скреплена с капилляром (рис. 4.1, а);
- термометры палочного типа, у которых шкала нанесена непосредственно на внешнюю поверхность толстостенного капилляра (рис. 4.1, б).

Лабораторные ртутные термометры:

а — с вложенной шкалой: 1 — стеклянный резервуар; 2 — капилляр; 3 — шкальная пластина; 4 — стеклянная оболочка;

б — палочный: 1 — резервуар; 2 — толстостенный капилляр; 3 — шкала на наружной поверхности капилляра

Жидкостные термометры

По способу применения термометры рассчитаны либо на частичное погружение в контролируемую среду (**неполное погружение**), либо на погружение до считываемой температуры (**полное погружение**). Точные термометры полного погружения снабжаются графиком поправок, которые следует алгебраически суммировать с показаниями термометра. Если термометр полного погружения погружен неполностью, то необходимо вводить поправку на выступающий столбик термометрической жидкости.

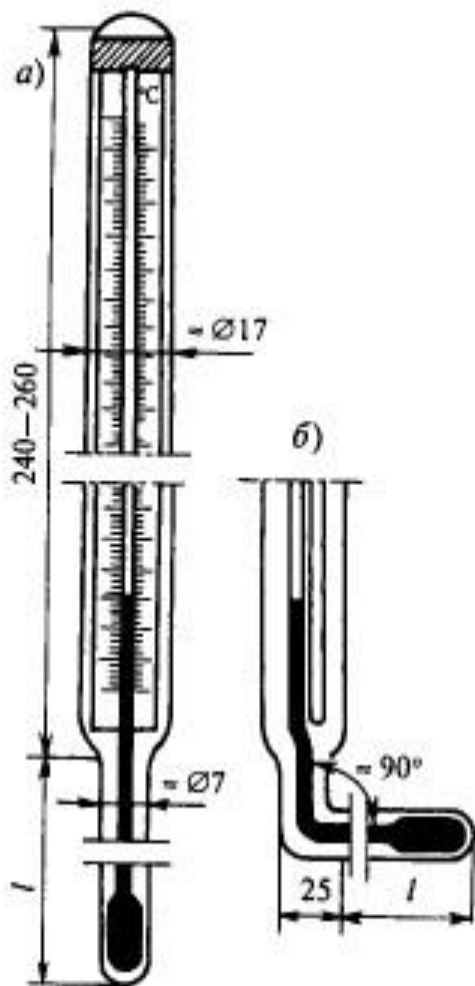
Жидкостные термометры

По назначению жидкостные термометры подразделяются на:

- лабораторные;
- технические (производственные);
- рабочие эталоны (образцовые).

Лабораторные используются при научных исследованиях и градуируются при полном погружении. Их нижний предел измерения лежит внутри диапазона от -30 до 300 °С, верхний — внутри диапазона от 20 до 600 °С. Цена деления находится в пределах от $0,1$ до 2 °С. Предельная погрешность зависит от цены деления и диапазона измерения и находится в пределах от $0,3$ до 4 °С (она может превышать цену деления).

Жидкостные термометры



Технические термометры градуируются при погружении только суженной хвостовой части, которая может быть прямой и угловой (под углом 90 или 120).

Они могут **иметь специальное назначение** (медицинские, метеорологические и т.д.) или **особые технические характеристики** (вибростойкие, электроконтактные).

Цена деления от 1 до 5 °С.

Погрешность от $\pm 1^\circ\text{C}$ до $\pm 5^\circ\text{C}$

Образцовые термометры (для точных измерений типа ТР) имеют небольшой диапазон измерения, но независимо от пределов измерения имеют отметку 0°C . При работе термометр погружается в контролируемую среду на всю длину контролируемого столбика.

Цена деления $0,01^\circ\text{C}$. Погрешность $\pm 0,05^\circ\text{C}$

Термометрические жидкости

Наименование жидкости	Температурный диапазон	Коэффициент видимого теплового расширения жидкости в стекле марки 360
Ртуть	От - 35 до + 650	0,00016
Ртуть-таллий	» - 60 » + 100	0,00016
Толуол	» - 80 » + 100	0,00120
Спирт этиловый	» - 80 » + 80	0,00103
Керосин	» 0 » + 200	0,00093
Петролейный эфир	» - 100 » + 20	0,00140
Изопентан	» - 200 » + 20	0,00170
Метилкарбитол	» - 50 » + 100	0,00093
Галлий-индий-олово	» + 10 » + 1200	0,00198

Жидкостные термометры.

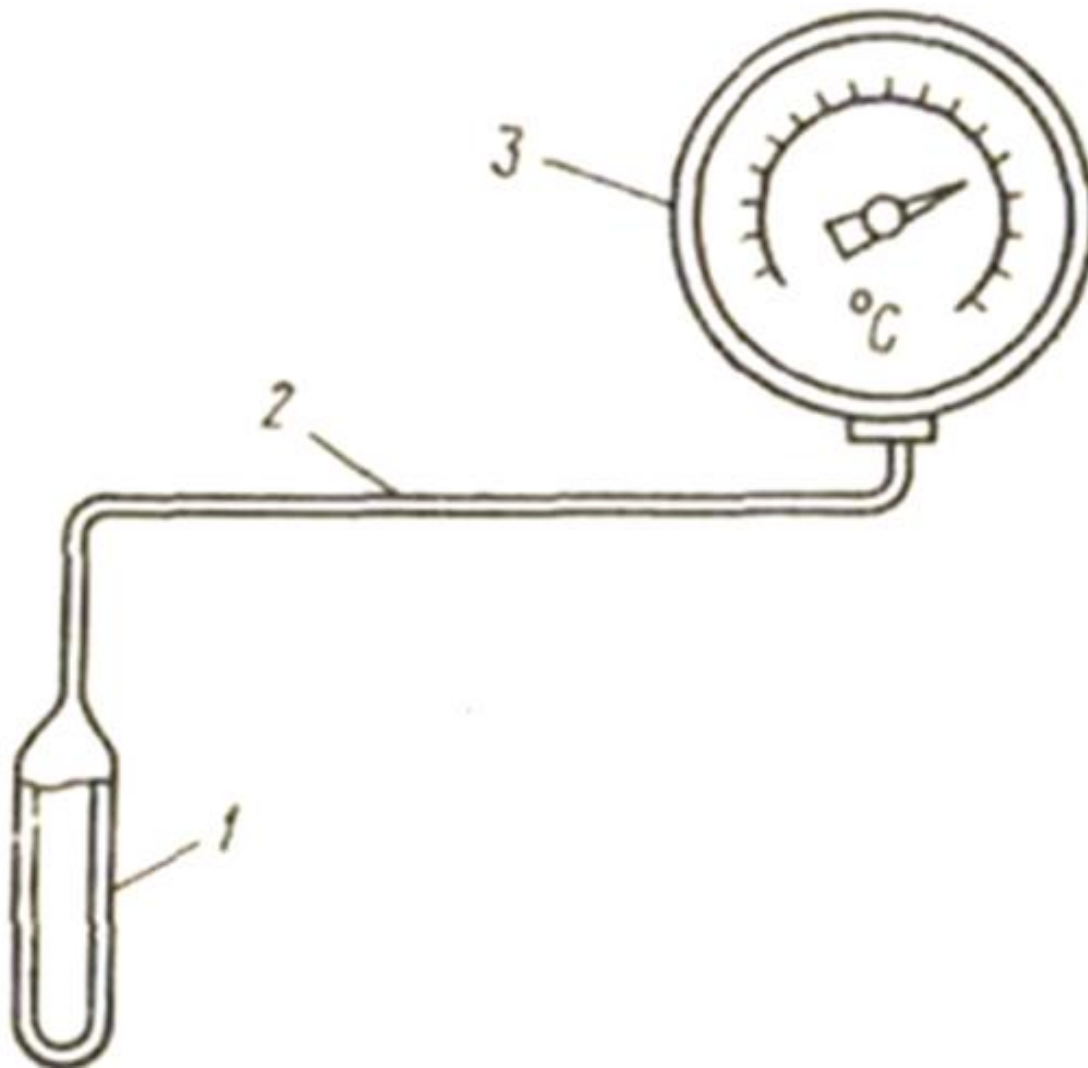
Основные источники погрешности

- погрешности показаний термометров при нормальных условиях их работы (например, градуировка шкалы, неравномерность сечения канала капилляра);
- погрешности, являющиеся следствием отклонения условий измерения от нормальных (например, разность внешнего и внутреннего давлений, воздействующих на стенки капилляра);
- погрешности, обусловленные дефектами термометра (например, разрывы столбика жидкости, наличие пузырьков газа);
- погрешности измерения, вносимые наблюдателем (например, погрешность отсчета показаний, погрешность определения поправок).

2. Манометрические термометры –
принцип действия основан на изменении
давления жидкостей, парожидкостной
смеси или газа в замкнутом объеме при
изменении температуры.

Пределы измерения от минус 150 °С до
плюс 600 °С.

Манометрический термометр:



1 – термобаллон, 2 – капиллярная трубка,
3 – манометрическая часть

Газовые манометрические термометры – ТГП

Рабочее вещество – азот

Начальное давление: 10-50 атм

Длина капиллярной трубки: 1,6- 40 м

Размеры термобаллона:

Диаметр: 12 – 20 мм;

Длина: 25 -250 мм.

Пределы измерения:

минус 200 – плюс 600 °С

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ГАЗОВЫМИ МАНОМЕТРИЧЕСКИМИ ТЕРМОМЕТРАМИ

- Изменение атмосферного давления
- Изменение температуры окружающего воздуха

- Влияние колебаний атмосферного давления минимизировано высоким начальным давлением газа в системе.
- Температурные погрешности минимизируются соотношением объема баллона, капилляра и манометрической части

Расчет погрешностей при изменении температуры

- манометрической части:

$$\Delta t_M = \frac{V_M}{V_B} (t_M - t_0)$$

- капиллярной трубки

$$\Delta t_K = \frac{V_K}{V_B} (t_K - t_0)$$

Недостатки газовых манометрических термометров

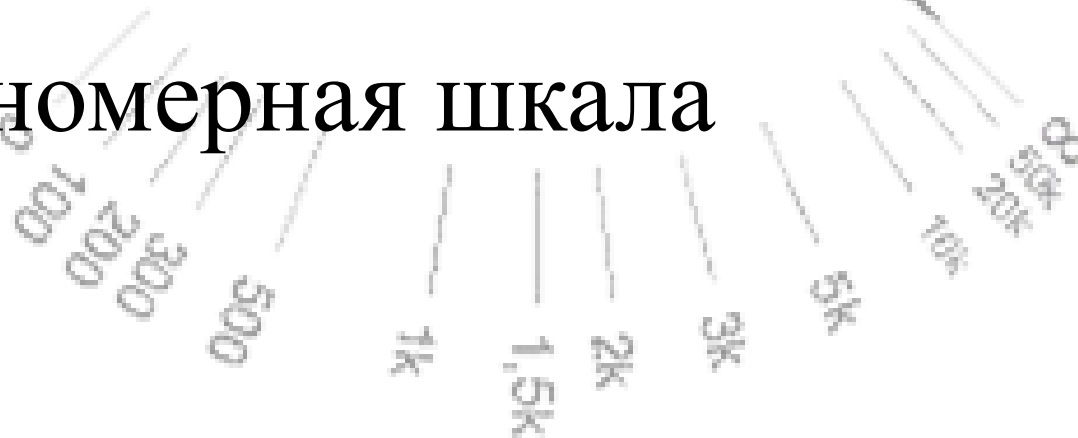
- большая тепловая инерция, обусловленная низким коэффициентом теплообмена между стенками термобаллона и наполняющим его газом и малой теплопроводностью газа;
- большие размеры термобаллона, затрудняющие его установку на трубопроводах малого диаметра.

Качество измерения

- Изменения атмосферного давления не влияют на показания прибора, т.к. жидкость практически несжимаема.
- Изменение температуры окружающей среды оказывает большее влияние на показания жидкостных термометров, чем газовых.

Качество измерения

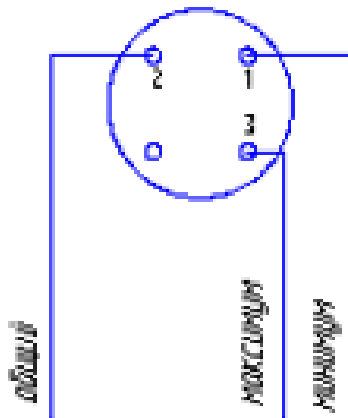
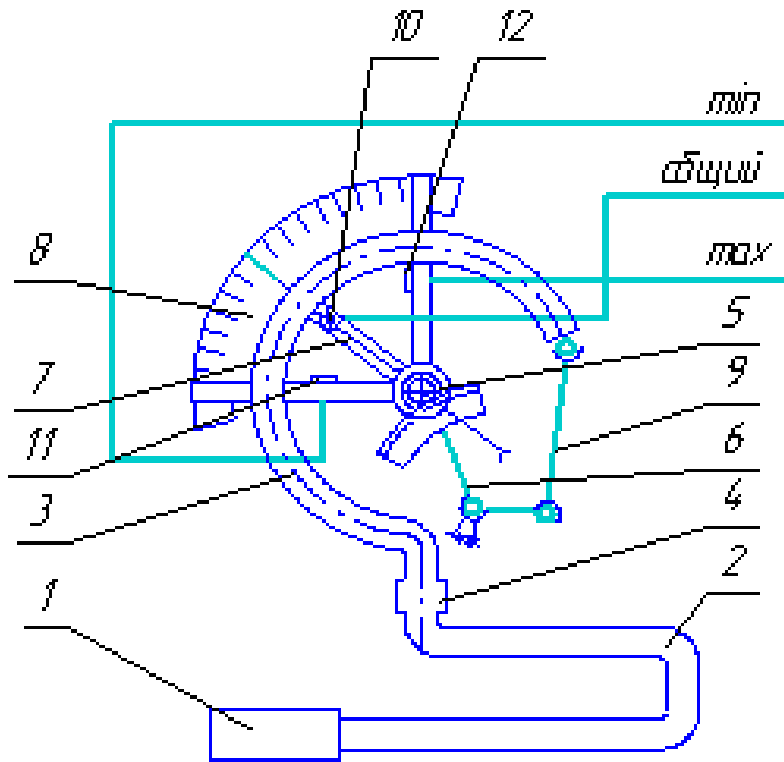
- Высокая чувствительность.
- Отсутствует погрешность от колебания температуры окружающей среды.
- Неравномерная шкала





Внешний вид манометрических термометров

Газовые термометры



Принцип действия основан на использовании зависимости между температурой и давлением рабочего вещества, заключенного в герметически замкнутый объем

- 1 – термобаллон;
- 2 – соединительный капилляр;
- 3 – манометрическая пружина;
- 4 – держатель;
- 5 – ось;
- 6 – сектор;
- 7 – стрелка;
- 8 – циферблат;
- 9 – тяга;
- 10 – ведущий поводок;
- 11 – контакт «минимум»;
- 12 – контакт «максимум».



Газовые термометры

В зависимости от заполняющего вещества манометрические термометры делятся на:

- газовые (термометр ТПГ, термометр ТДГ и др.);
- парожидкостные (термометр ТПП);
- жидкостные (термометр ТПЖ, термометр ТДЖ и др.).

Заполнитель термосистемы	Область измерений, °С
Газ	От -200 до +800
Жидкость	От -150 до +400
Конденсат	От -50 до +300

Капилляр обычно представляет собой латунную трубку с внутренним диаметром в доли миллиметра. Это позволяет удалить манометр от места установки термобаллона на расстояние до 40 м. Капилляр по всей длине защищен оболочкой из стальной ленты.

Газовые термометры.

Основные источники погрешности

- погрешности показаний термометров при нормальных условиях их работы (например, градуировка шкалы);
- погрешности, являющиеся следствием отклонения условий измерения от нормальных (например, изменение температуры капилляра и пружины манометрического термометра, изменение давления);
- погрешности отсчета показаний;
- условия теплообмена, нарушающие равенство температур между термобаллоном и измеряемой средой;
- тепловая инерционность термометров.

**3. Электрические термометры
сопротивления - основаны на изменении
электрического сопротивления
проводников или полупроводников при
изменении температуры.**

Пределы измерения от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При увеличении температуры сопротивление проводников увеличивается.

Зависимость сопротивления металла от температуры:

$$R_{t,2} = R_{t,1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

где $R_{t,2}$ – сопротивление металла при температуре t_2 ;
 $R_{t,1}$ – сопротивление металла при температуре t_1 ;
 $t_2 - t_1$ – интервал изменения температуры;
 α – коэффициент температурного сопротивления.

ПЛАТИН

Удельное электрическое сопротивление

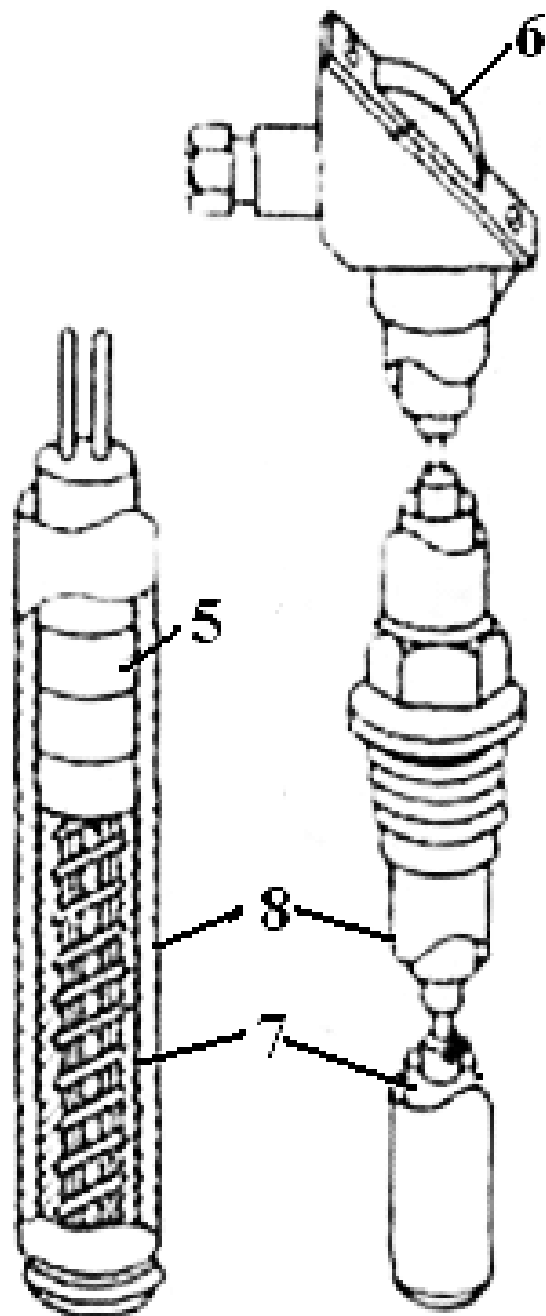
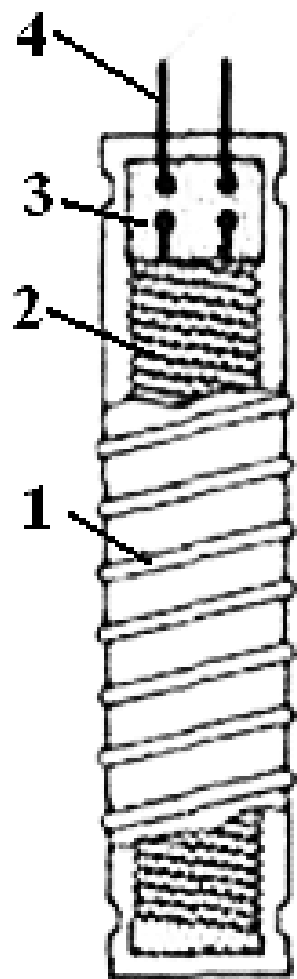
$$\rho = 0,107 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$$

Температурный коэффициент сопротивления

$$\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ 1/град}$$

ПЛАТИНОВЫЙ ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

ТСП



- 1 – серебряная лента,
- 2 – платиновая проволока,
- 3 – слюдяная пластика,
- 4 – подводящая серебряная проволока,
- 5 – фарфоровые бусы,
- 6 – пластмассовая головка,
- 7 – тонкостенная защитная трубка,
- 8 – защитный чехол

МЕДЬ

Удельное электрическое сопротивление

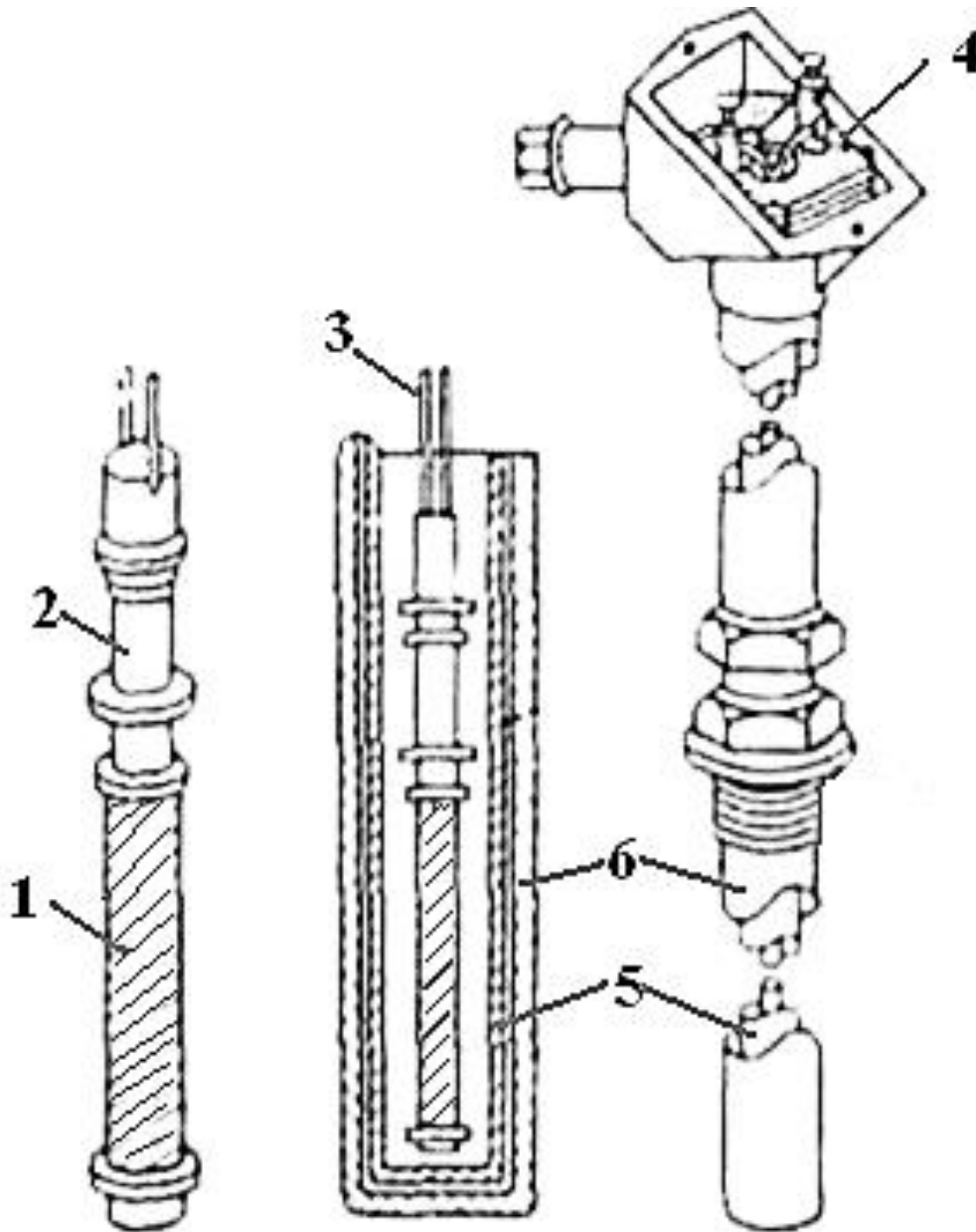
$$\rho = 0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$$

Температурный коэффициент сопротивления

$$\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/град}$$

МЕДНЫЙ ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

ТСМ



- 1 – медная проволока,
- 2 – пластмассовый стержень,
- 3 – медные подводящие провода,
- 4 – пластмассовая головка,
- 5 – тонкостенная защитная трубка,
- 6 – защитный чехол

Взаимозаменяемость термометров сопротивления достигается :

- Одинаковым сопротивлением при 0°C;**
- Одинаковыми статическими характеристиками;**
- Одинаковой чистотой металлов и одинаковыми коэффициентами температурного сопротивления**

ПЛАТИНОВЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ ТСП

Предел измерения минус 200 - плюс 600 °С.

Серийно выпускаются:

ТСП 50П и ТСП 100П, т.е. при 0° С

сопротивление термометров 50 и 100 ом.

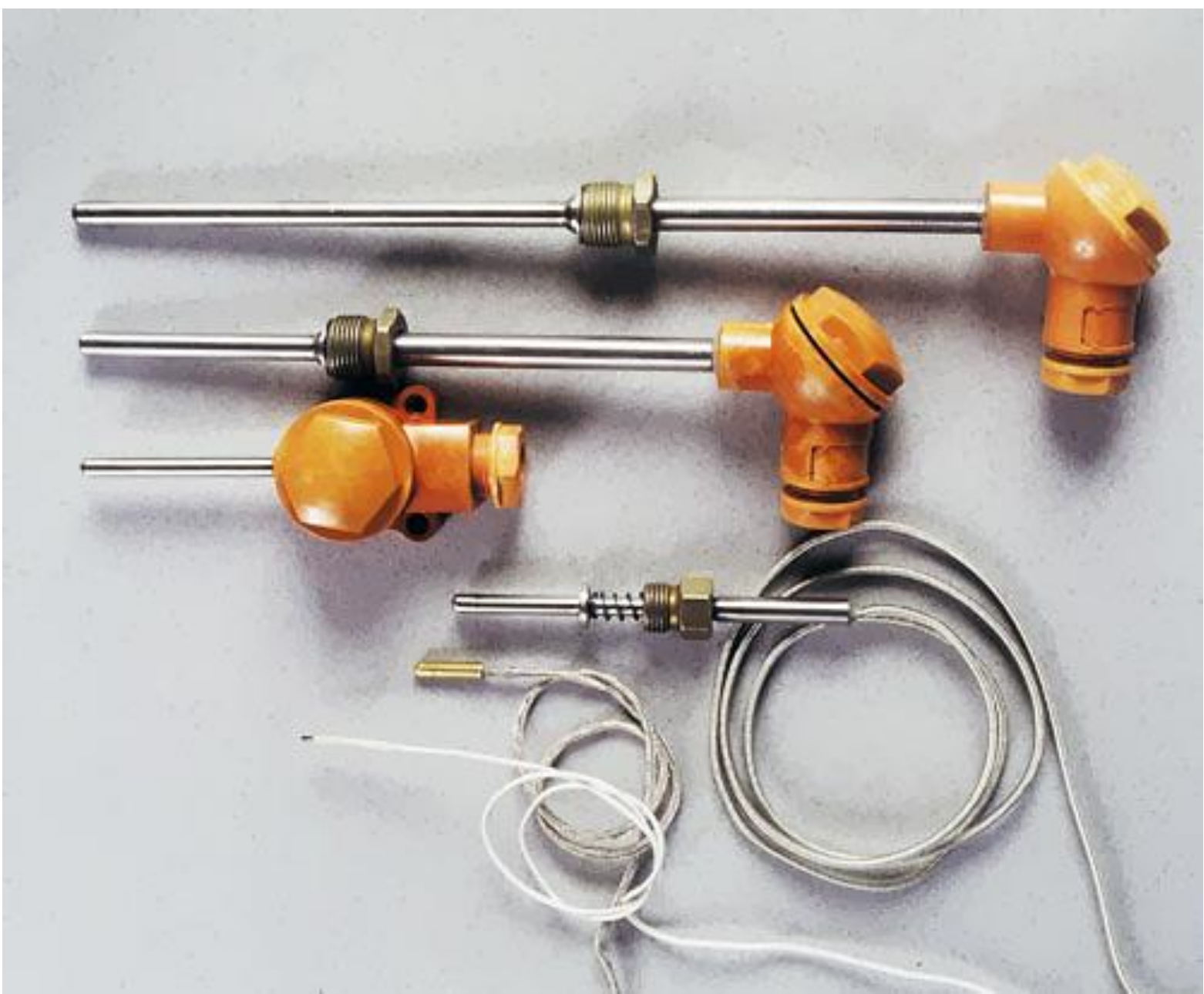
МЕДНЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ ТСМ

Предел измерения минус 50 - плюс 180 °С.

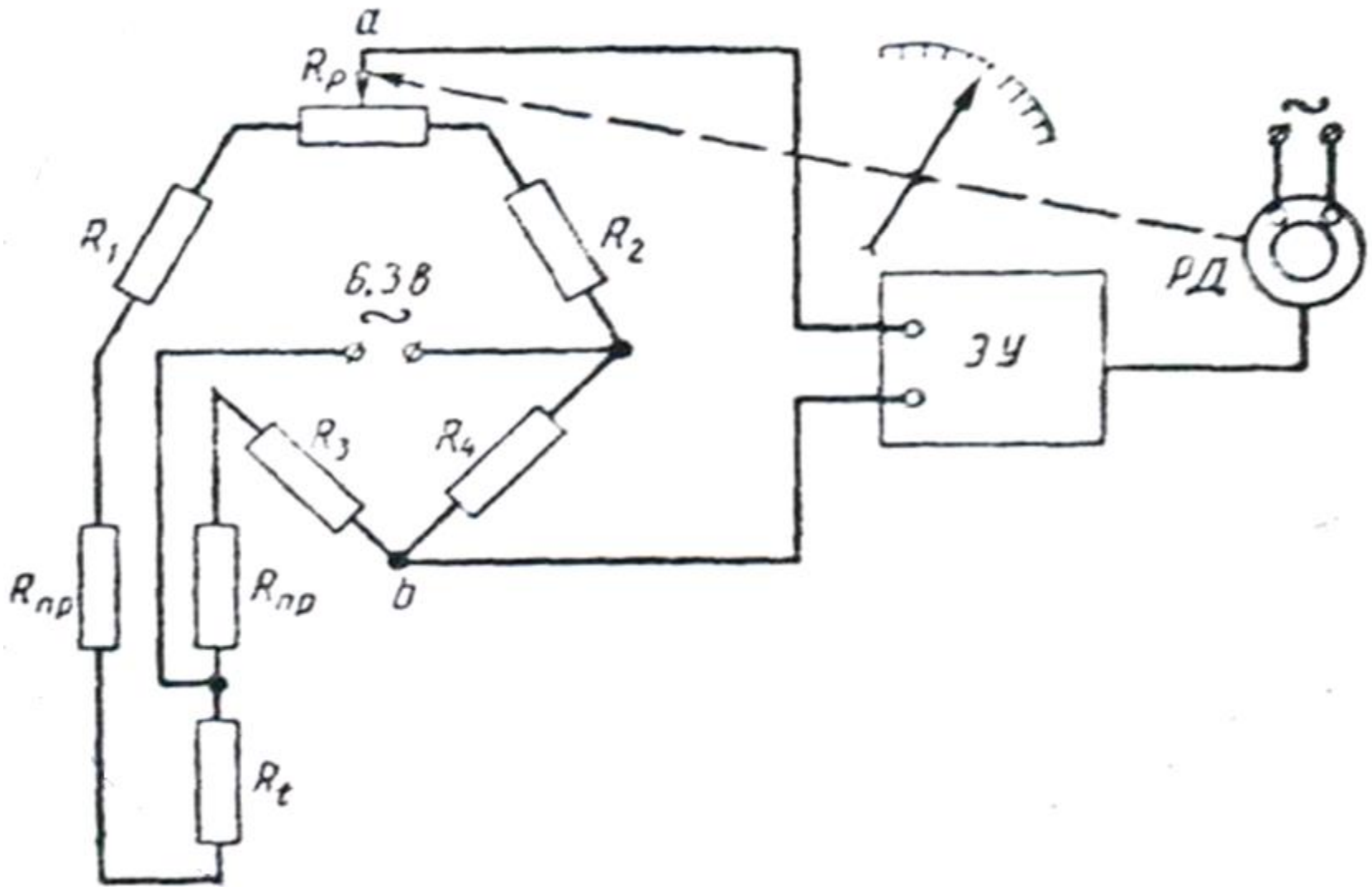
Серийно выпускаются:

ТСМ 50М и ТСМ 100М, т.е. при 0° С

сопротивление термометров 50 и 100 ом.

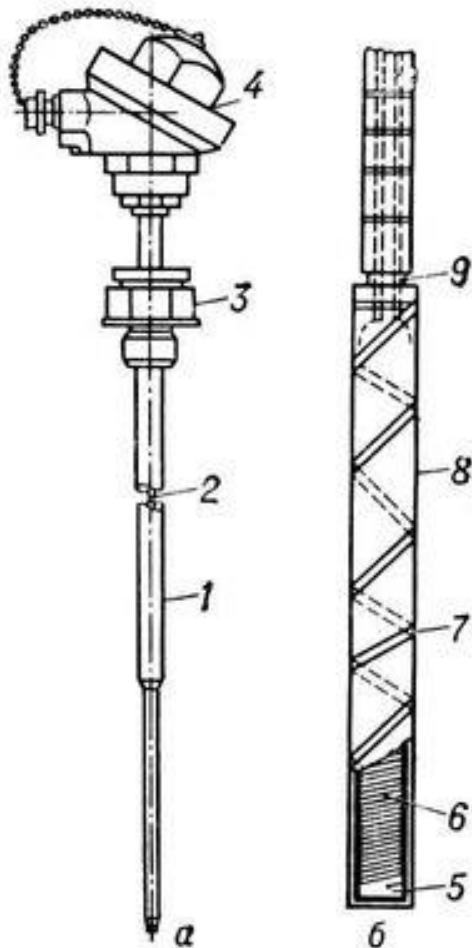


Внешний вид термометра сопротивления



Принципиальная схема автоматического электронного уравновешенного моста

Термометры сопротивления



Действие термометров сопротивления основано на свойстве тел изменять электрическое сопротивление при изменении температуры.

Общий вид платинового термометра сопротивления (а) и его чувствительный элемент (б): 1 - стальной чехол; 2 - чувствительный элемент; 3 - штуцер для установки термометра; 4 - головка для присоединения термометра к электроизмерительному прибору; 5 - слюдяной каркас; 6 - бифилярная обмотка платиновой проволоки; 7 - серебряная лента; 8 - слюдяная накладка; 9 - серебряные выводы.

Термометры сопротивления

В металлических термометрах сопротивление с возрастанием температуры увеличивается практически линейно. В полупроводниковых термометрах сопротивления оно наоборот, уменьшается.

Полупроводниковые термометры сопротивления (термисторы) для измерений в промышленности применяют редко, хотя их чувствительность гораздо выше, чем проволочных термометров сопротивления. Это объясняется тем, что градуированные характеристики термисторов значительно отличаются друг от друга, что затрудняет их взаимозаменяемость.

Термометры сопротивления

Металлические термометры сопротивления изготавливают из тонкой медной или платиновой проволоки, помещенной в электроизоляционный корпус. Зависимость электрического сопротивления от температуры (для медных термометров диапазон от -50 до +180 С, для платиновых диапазон от -200 до +750 С) весьма стабильна и воспроизводима. Это обеспечивает взаимозаменяемость термометров сопротивления. Для защиты термометров сопротивления от воздействия измеряемой среды применяют защитные чехлы. Приборостроительная промышленность выпускает много модификаций защитных чехлов, рассчитанных на эксплуатацию термометров при различном давлении (от атмосферного до $500 \cdot 10^5$ Па), различной агрессивности измеряемой среды, обладающих разной инерционностью (от 40 с до 4 мин) и глубиной погружения (от 70 до 2000 мм).

Термометры сопротивления платиновые эталонные

Тип ТС	Разряд ТС	Нестабильность t , °C, не более	
		при 0,01 °C	при 259,35 °C
ТСПН	1	$\pm 0,002$	$\pm 0,003$
	2	$\pm 0,004$	$\pm 0,006$
ПТС	1	$\pm 0,001$	—
	2	$\pm 0,002$	—
ВТС	1	$\pm 0,002$	—
	2	$\pm 0,005$	—

Термометры сопротивления платиновые эталонные

Термометры сопротивления платиновые эталонные подразделяются на:

- ТСПН — термометр сопротивления платиновый эталонный низкотемпературный;
- ПТС — термометр сопротивления платиновый эталонный для области средних температур;
- ВТС — термометр сопротивления платиновый эталонный высокотемпературный.

Тип ТС	Диапазон температур, °С
ТСПН	От – 259,35 до + 100
ПТС	От – 196 до 0
	От 0 до 660,32
ВТС	От 419,58 до 1084,62

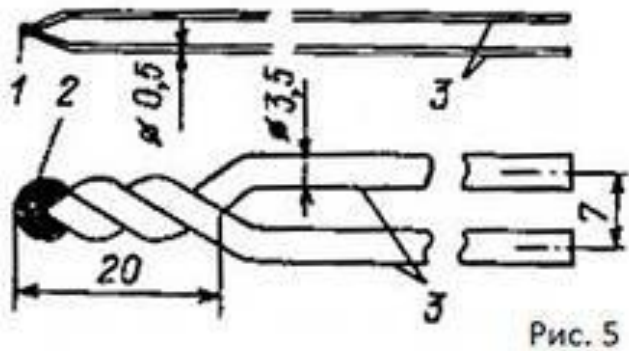
Термометры сопротивления.

Основные источники погрешности

- погрешности, зависящие от термометра и соединительной линии (отклонение градуировки от стандартной – у технических термометров, погрешность индивидуальной градуировки – у образцовых, неточность подгонки сопротивления линии, изменение сопротивления линии при колебании температуры окружающей среды);
- погрешности, зависящие от вторичного прибора (основная и дополнительная погрешности, инерция прибора);
- погрешности, связанные с условиями применения термометра (неблагоприятные условия теплообмена между термометром и окружающей средой, перегрев чувствительного элемента измерительным током, тепловая инерционность термометра).

4. Термоэлектрические преобразователи (термопары) - основаны на возникновении термоэлектродвижущей силы при нагревании спая разнородных проводников или полупроводников.

Диапазон температур от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+2300\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Первичный преобразователь (ТЭП) - термопара.

Термопара — пара проводников из различных материалов, соединенных на одном конце и формирующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения температуры.
(Международный стандарт на термопары МЭК 60584)

В замкнутой цепи ТЭП возникает электрический ток, если места соединения (спая) проводников имеют разные температуры.

Суммарную термоэлектродвижущую силу (ТЭДС) замкнутой цепи ТЭП, спая которой нагреты до температуры t и t_0 можно выразить уравнением

$$E_{AB}(tt_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (1)$$

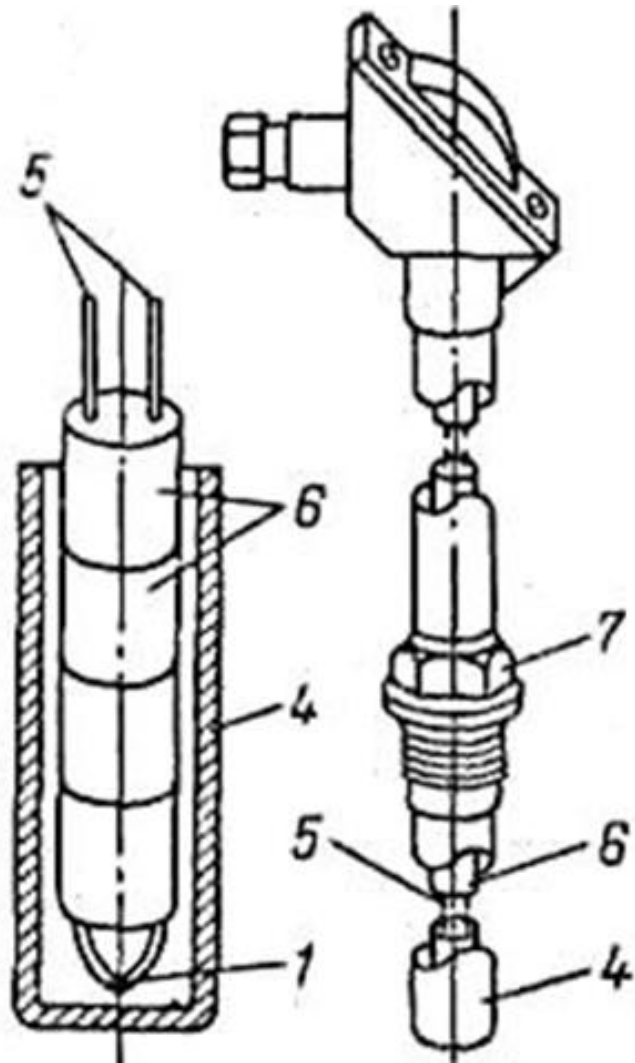
где $E_{AB}(tt_0)$ – суммарная ТДЭС; $e_{AB}(t)$ и $e_{AB}(t_0)$ – ТДЭС, обусловленные контактной разностью потенциал и разностью температур концов проводников А и В.

Так как потенциал спаев зависит от температуры, суммарная ТДЭС является разностью функций температуры

$$E_{AB}(tt_0) = f(t) - f(t_0) \quad (2)$$

Поддерживая температуру одного из спаев постоянной $t_0 = \text{const}$ и $f(t_0) = \text{const}$, получим

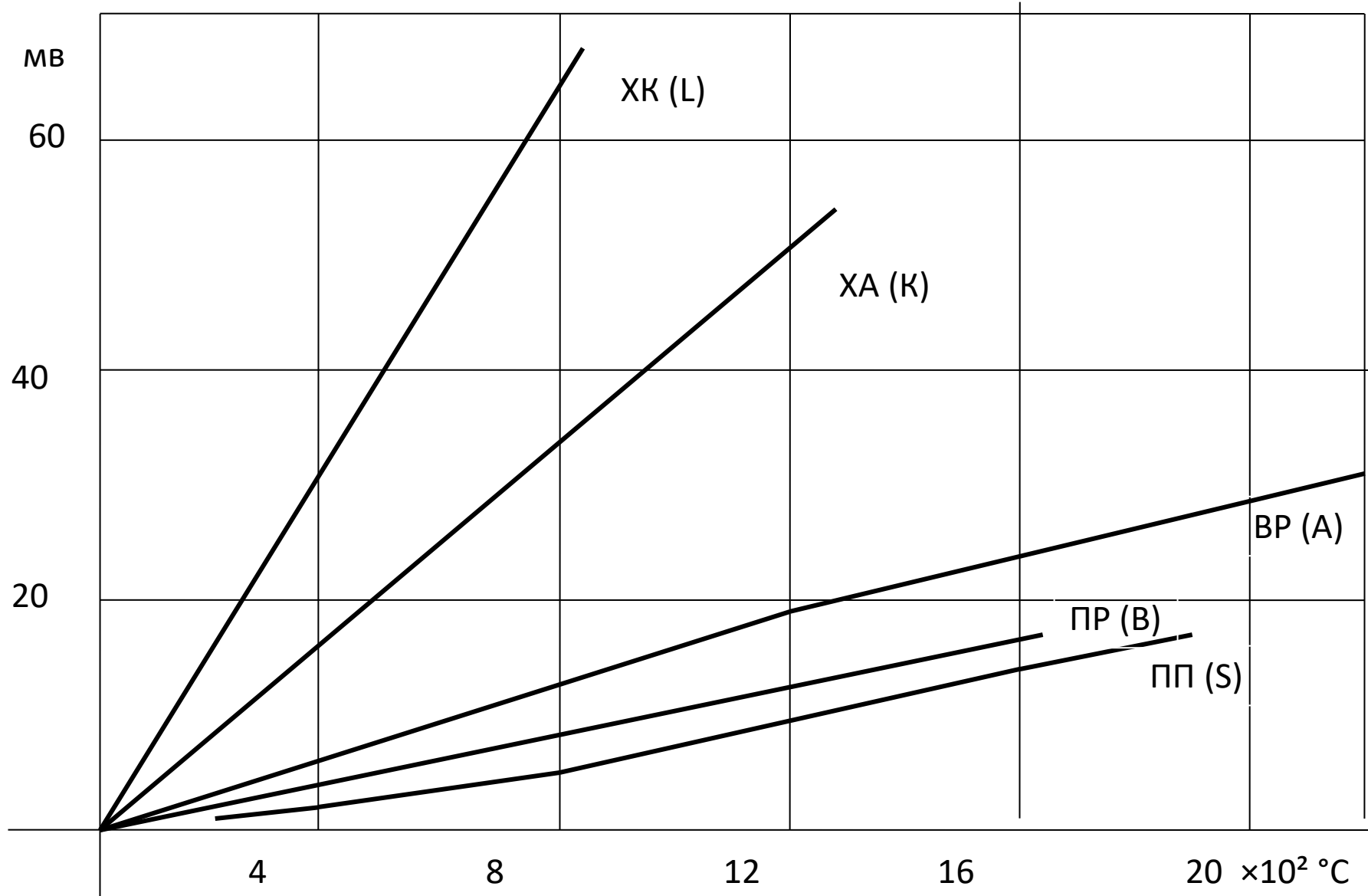
$$E_{AB}(tt_0) = f(t) - \text{const} = f(t) \quad (3)$$



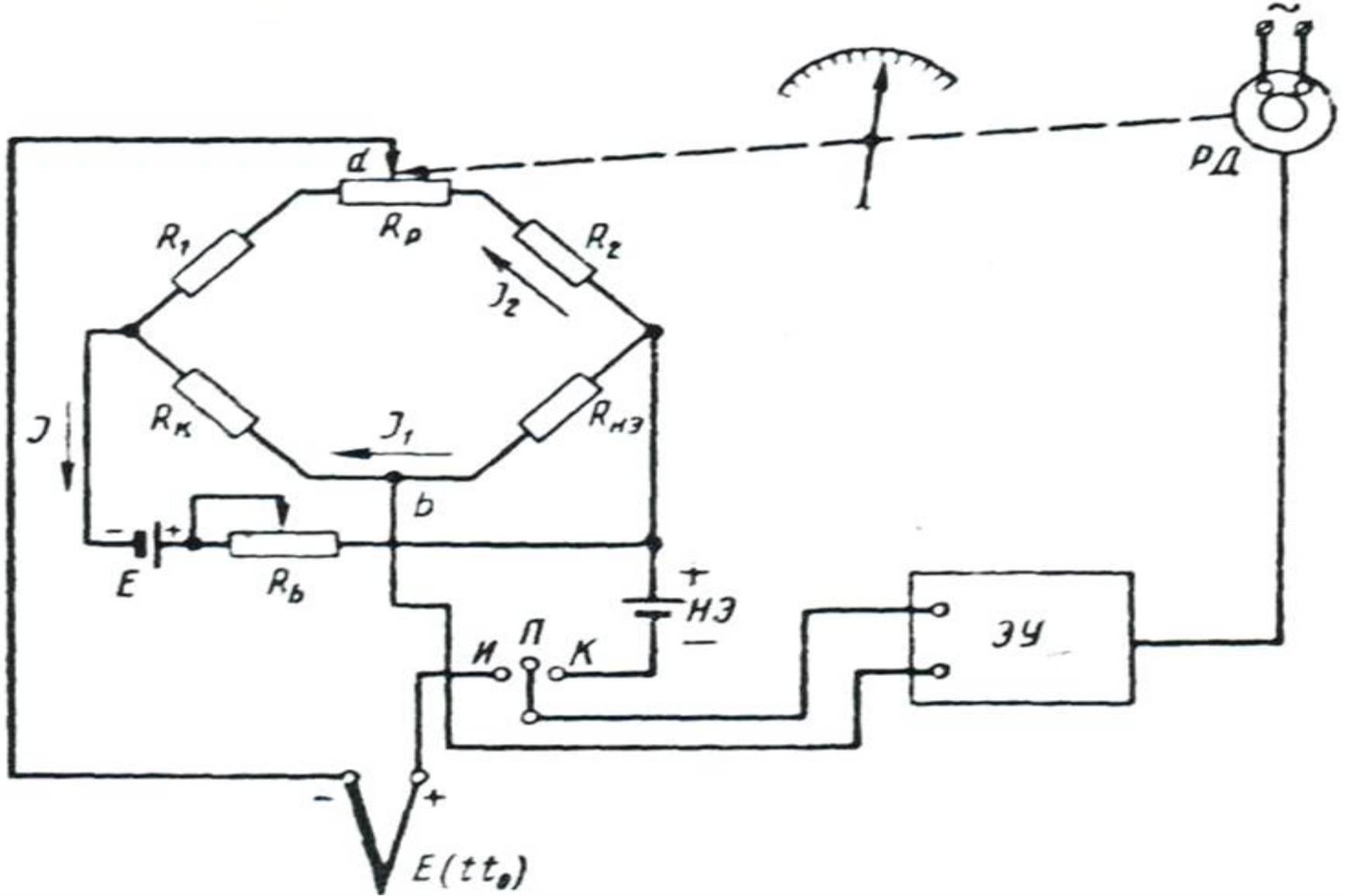
Технические термоэлектрические преобразователи (ТЭП):
1 – рабочий спай, 2 – фарфоровый защитный чехол, 3 – фарфоровая трубка, 4 – металлическая трубка, 5 – термоэлектроды, 6 – фарфоровые бусы, 7 – неподвижный штуцер.

Типы термоэлектрических преобразователей

ТХК	ХК(L)	От минус 50 до 600° С	Хромель-копелевый
ТХА	ХА(K)	От минус 50 до 1000° С	Хромель-алюмелевый
ТПШ	ПП(S)	От 0 до 1300° С	Платинородий-платиновый
ТПР	ПР(B)	От 300 до 1800° С	Платинородий-платинородиевый
ТВР	ВР(Ф)	От 100 до 1800° С	Вальфрам-рениевый



Номинальные статические характеристики термоэлектрических преобразователей



Принципиальная схема автоматического
потенциометра



Внешний вид ТЭП

Термоэлектрические термометры (термопары)

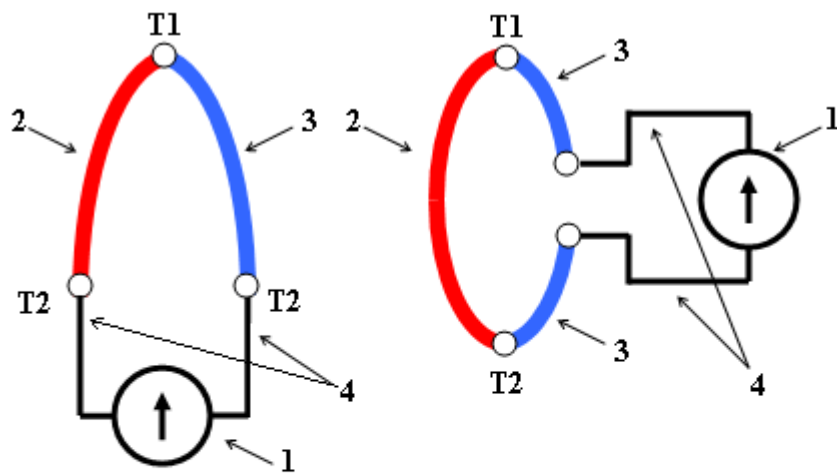


рис. а

рис. б

- 1 – измерительный прибор
- 2, 3 – термоэлектроды
- 4 – соединительные провода
- T1, T2 – температура «горячего» и «холодного» спаев термопары

Принцип действия термоэлектрических термометров основан на свойстве двух разнородных проводников создавать термоэлектродвижущую силу при нагревании места их соединения - спая. Проводники в этом случае называются термоэлектродами, а все устройство - термопарой. Величина термоэлектродвижущей силы термопары зависит от материала термоэлектродов и разности температур горячего спая и холодных спаев.

Кабельные термопары



Визуально кабельная термопара представляет собой гибкую металлическую трубку с контактами с одной стороны для подключения к вольтметру. Конструктивно, в этой трубке расположены термоэлектроды, сваренные на одном конце и изолированные между собой по всей длине мелкодисперсной уплотненной минеральной изоляцией. Термоэлектродов может быть одна пара, а может быть две или три пары.

Сама конструкция кабельной термопары определяет ее основное преимущество: гибкость и герметичность корпуса. Кроме того, возможно изготовление кабельных термопар очень большой длины. Важно также, что благодаря тонкому корпусу и изоляции такие термопары отличаются на много меньшей тепловой инерционностью по сравнению с промышленными жесткими керамическими термопарами. Самыми высокотемпературными из кабельных термопар из неблагородных металлов являются нихросил-нисилловые термопары в оболочке из высоконикелевого сплава. Они могут длительное время выдерживать температуру 1150 °С (для диаметра свыше 4,5 мм). Тонкие термопары этого же типа, диаметром 0,5 - 4,5 мм, имеют предел рабочих температур 700 °С.

Термоэлектрические термометры

Обозначение промышленного термопреобразователя	Обозначение типа термопары	Класс допуска	Диапазон измерений		Пределы доп. отклонений ТЭДС от НСХ
			от	до	
ТПП платнородий-платиновая	S, R	2	0	600	1,5
			600	1600	0,0025t
		1	0	1100	1.0
			1100	1600	1,0+0,003(t-1100)
ТПР платнородий-платинородиевая	B	3	600	800	4,0
			800	1800	0,005t
		2	600	800	0,0025t
ТХК хромель-копелевая	L	3	-200	-100	1,5+0.01 t
			-100	100	2,5
		2	-40	360	2,5
			360	800	0,7+0,005t
ТХКн хромель-константановая	E	3	-200	-167	0,015 t
			-167	40	2,5
		2	-40	333	2,5
			333	990	0,0075t
		1	-40	375	1,5
			375	800	0,004t
ТХА хромель-алюмелевая	K	3	-250	-167	0,015 t
			-167	40	2,5
		2	-40	333	2,5
			333	1300	0,0075
		1	-40	375	1,5
			375	1000	0,004t

Термоэлектрические термометры (термопары)

Обозначение промышленного термопреобразователя	Обозначение типа термопары	Класс допуска	Диапазон измерений		Пределы доп. отклонений ТЭДС от НСХ
			от	до	
ТНН нихросил-нисловая	N	3	-250	-167	0,015 t
			-167	40	2,5
		2	-40	333	2,5
			333	1300	0,0075
		1	-40	375	1,5
375	1000	0,004t			
ТМК медь-константановая	T	3	-200	-166	0,015 t
			-66	40	1,0
		2	-40	135	1,0
			135	350	0,0075
		1	-40	125	0,5
125	350	0,004t			
ТЖК железо-константановая	J	2	0	333	2,5
			333	900	0,0075t
		1	-40	375	1,5
			375	750	0,004t
ТМК медь-копелевая	M		-200	0	1,3+0,001 t
			0	100	1,0
ТВР вольфрам-рениевая	A-1	3	1000	2500	0,007t
	A-2	2	100	2500	0,005t
	A-3				

Термоэлектрические термометры (термопары)



Главные преимущества термопар:

- широкий диапазон рабочих температур, это самый высокотемпературный из контактных датчиков.
- спай термопары может быть непосредственно заземлен или приведен в прямой контакт с измеряемым объектом.
- простота изготовления, надежность и прочность конструкции.

Термоэлектрические термометры (термопары)

Недостатки термопар:

- необходимость контроля температуры холодных спаев. В современных конструкциях измерителей на основе термопар используется измерение температуры блока холодных спаев с помощью встроенного термистора или полупроводникового сенсора и автоматическое введение поправки к измеренной ТЭДС.
- возникновение термоэлектрической неоднородности в проводниках и, как следствие, изменение градуировочной характеристики из-за изменения состава сплава в результате коррозии и других химических процессов.
- материал электродов не является химически инертным и, при недостаточной герметичности корпуса термопары, может подвергаться влиянию агрессивных сред, атмосферы и т.д.
- на большой длине термопарных и удлинительных проводов может возникать эффект «антенны» для существующих электромагнитных полей.
- зависимость ТЭДС от температуры существенно не линейна. Это создает трудности при разработке вторичных преобразователей сигнала.
- когда жесткие требования выдвигаются к времени термической инерции термопары, и необходимо заземлять рабочий спай, следует обеспечить электрическую изоляцию преобразователя сигнала для устранения опасности возникновения утечек через землю.

Сравнение датчиков

Тип датчика	Термистор	Термометр сопротивления	Термопара
ПАРАМЕТР	Эл. сопротивление	Эл. сопротивление	Эл. напряжение
ПРЕИМУЩЕСТВА	<p>Высокая чувствительность сопротивление-температура</p> <p>Малая инерционность</p> <p>Высокое сопротивление, что устраняет необходимость четырех-проводного включения</p> <p>Малый размер</p> <p>Низкая стоимость</p> <p>Высокая стабильность</p> <p>Хорошая взаимозаменяемость</p>	<p>Хорошая линейность характеристики</p> <p>Высокая стабильность</p> <p>Высокая взаимозаменяемость в широком диапазоне температур</p>	<p>Широкий температурный диапазон</p> <p>Простота производства</p> <p>Низкая стоимость</p> <p>Износоустойчивость</p> <p>Не требует дополнительных источников энергии</p>
НЕДОСТАТКИ	<p>Нелинейная характеристика</p> <p>Рабочий диапазон температур примерно от -60 до +300 °С</p> <p>Взаимозаменяемость только в узком диапазоне температур</p> <p>Необходим источник тока</p>	<p>Низкая чувствительность</p> <p>Относительно большая инерционность</p> <p>Необходимость трех- или четырех-проводной схемы включения</p> <p>Чувствительность к ударам и вибрациям</p> <p>Необходим источник тока</p> <p>Высокая стоимость</p>	<p>Нелинейная характеристика</p> <p>Относительно низкая стабильность</p> <p>Низкая чувствительность</p> <p>Измерение низких ЭДС может осложниться электро-магнитными шумами и наводками</p> <p>Необходима компенсация холодных спаев</p>

Биметаллические термометры

Принцип действия таких датчиков основан на измерении изменений размеров элементов, вызванных воздействием теплоты.

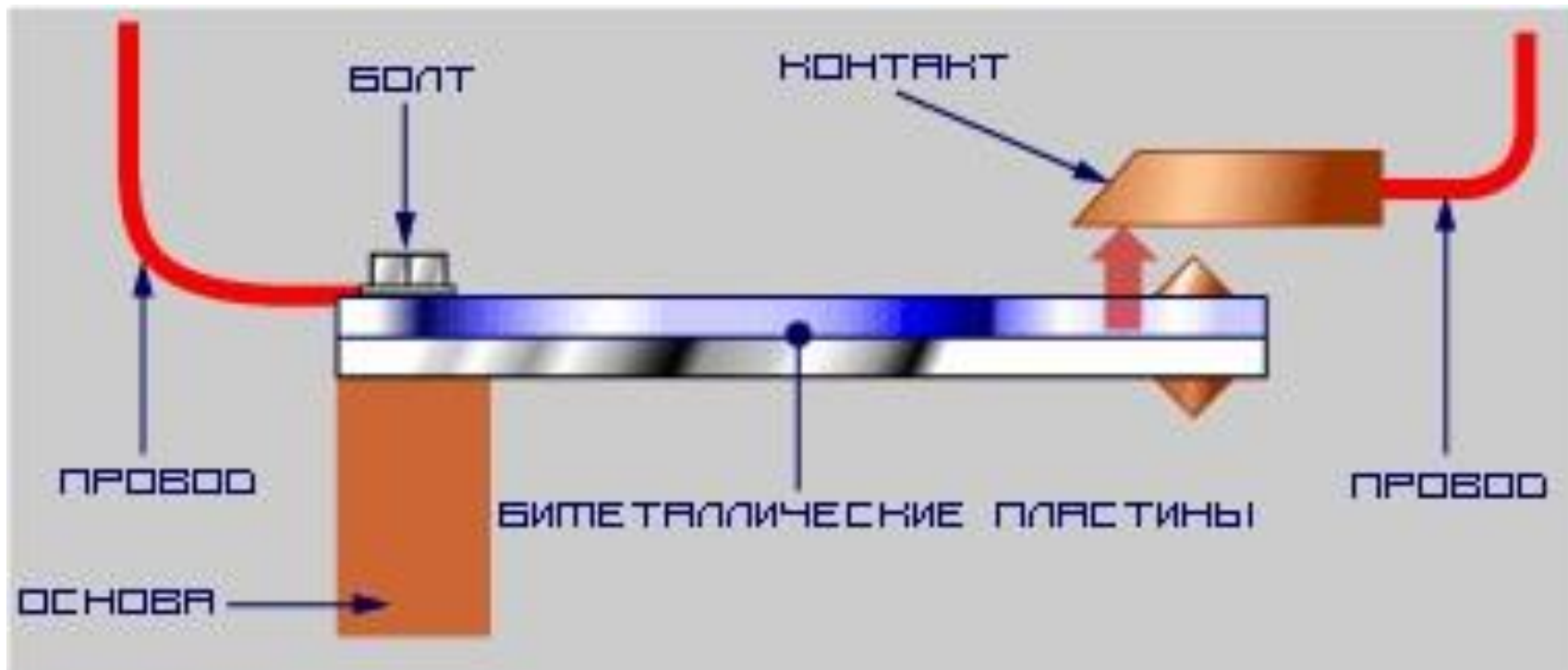
В биметаллических датчиках используется свойство материала, состоящего из двух прочно соединенных слоев разнородных металлов или сплавов, изменять свою длину под воздействием температуры. В датчиках этого типа элементы изготовлены в виде пластинок, стержней и трубок. Один элемент выполнен из материала с высоким коэффициентом линейного расширения α , второй — из материала с очень малым коэффициентом $\ll \alpha$.

Биметаллические термометры

В качестве материала с большим коэффициентом линейного расширения применяют медь, латунь и сталь. Для изготовления другого элемента используется инвар (ферромагнитный сплав железа с 36 % никеля с очень малым коэффициентом линейного расширения) или суперинвар. Коэффициент линейного расширения инвара в 5 раз меньше к меди и в 2 раза меньше стали.

Погрешность биметаллических промышленных термометров зависит от типа термометра, класса точности и от диапазона температур. Для низких температурных пределов (от -70 до 100 °C) погрешность находится обычно в пределах 1 °C для класса 1. При высоких температурах до 600 °C погрешность может достигать 10 °C.

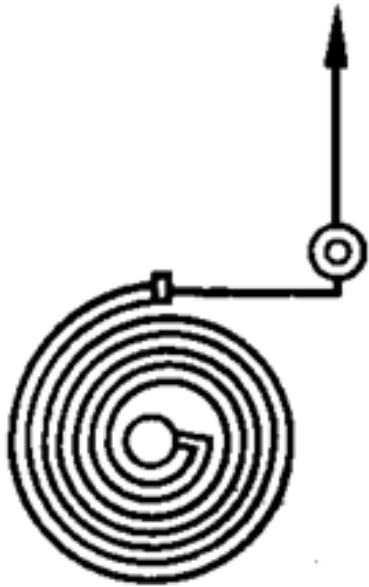
Биметаллические термометры



Примерная схема биметаллического электрического контроллера, который применяется в холодильных камерах выглядит следующим образом:

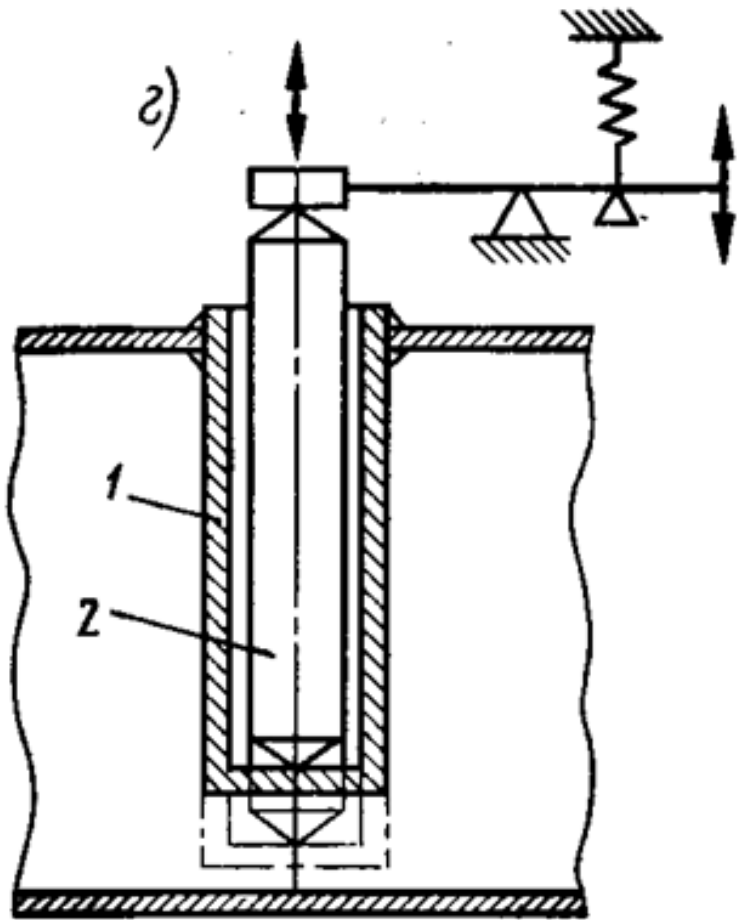
На этом рисунке серый металл расширяется сильнее, чем синий. При повышении температуры это расширение заставляет пластину сгибаться вверх, соприкоснуться с контактом, для того, чтобы потек ток по пластине и включился компрессор. Регулируя размер промежутка между пластиной и контактом, можно управлять температурой внутри камеры.

Биметаллические термометры



Биметаллические термометры могут быть различных типов. В самой распространенной конструкции длинная свёрнутая спиралью лента из биметалла закрепляется в центре. Другой (внешний) конец спирали перемещается вдоль шкалы, размеченной в градусах. Такой термометр, в отличие от жидкостного (например, ртутного) совершенно нечувствителен к изменениям внешнего давления и механически более прочен.

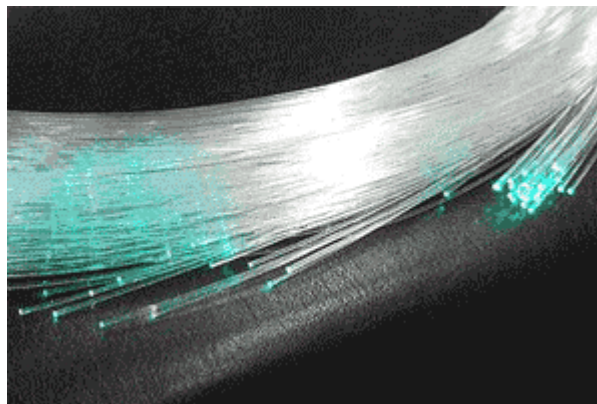
Механический контактный термометр (дилатометр)



Стержневой термометр - дилатометр представляет собой трубку, в которой расположен стержень.

Стержень и трубка изготавливаются из различных материалов. Один конец стержня прочно зафиксирован на дне трубки. Трубка и стержень расширяются на различную длину при нагревании. Изменение отношения их длины и показывает температуру нагрева.

Волоконно-оптические датчики температуры



Физические воздействия на оптоволокно, такие как: температура, давление, сила натяжения - локально изменяют характеристики пропускания света и как следствие, приводят к изменению характеристик сигнала обратного отражения. В основе измерительных систем на основе оптоволоконных датчиков используется сравнение спектров и интенсивностей исходного лазерного излучения и излучения, рассеянного в обратном направлении, после прохождения по оптоволокну.

Термическая стойкость стекловолоконного покрытия ограничивает максимальный диапазон температуры световодного кабеля. Стандартные волокна для передачи данных располагают акриловым покрытием или покрытием, затвердевшим в результате УФ (ультрафиолетового) излучения, и пригодны для диапазона температур до 80 °С. Стекловолокно с полиамидным покрытием может использоваться до максимальной температуры 400 °С. Расстояние, на которое может работать единичная система – 40 – 50 км при пространственном разрешении 1 – 2 метра.

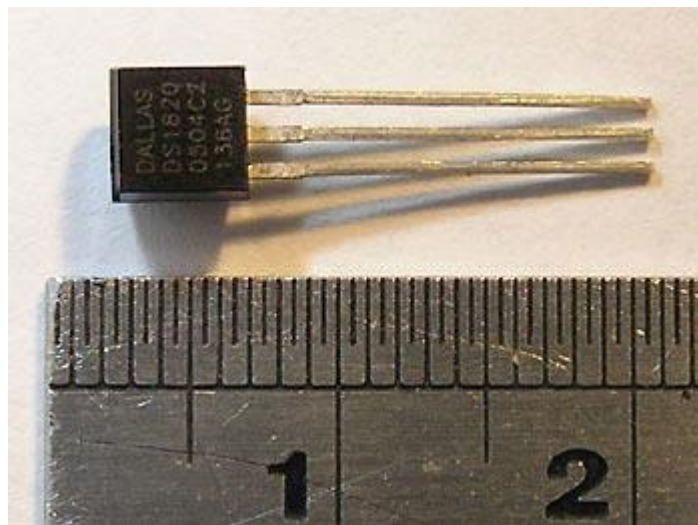
Кварцевые датчики температуры



Кварцевые термометры – это автогенераторные преобразователи с частотным выходом, использующие в качестве чувствительного элемента пьезоэлектрический резонатор с сильной зависимостью частоты от температуры. Преимущество использования термочувствительных кварцевых резонаторов, прежде всего, заключается в их высокой чувствительности, высокой стабильности и простоте использования.

Диапазон измеряемых температур ограничен снизу азотными температурами, а сверху - примерно величиной $+(150...200) \text{ }^\circ\text{C}$. Ограничение определяется наличием провалов добротности резонаторов при использовании искусственного кварцевого сырья, а также уменьшением крутизны преобразования при понижении температуры. Для достижения высокой точности измерения температуры необходима индивидуальная градуировка. Существуют термометры позволяющие измерять температуру в диапазоне $-30...+100 \text{ }^\circ\text{C}$ с точностью $0,06 \text{ }^\circ\text{C}$.

Интегральные датчики температуры

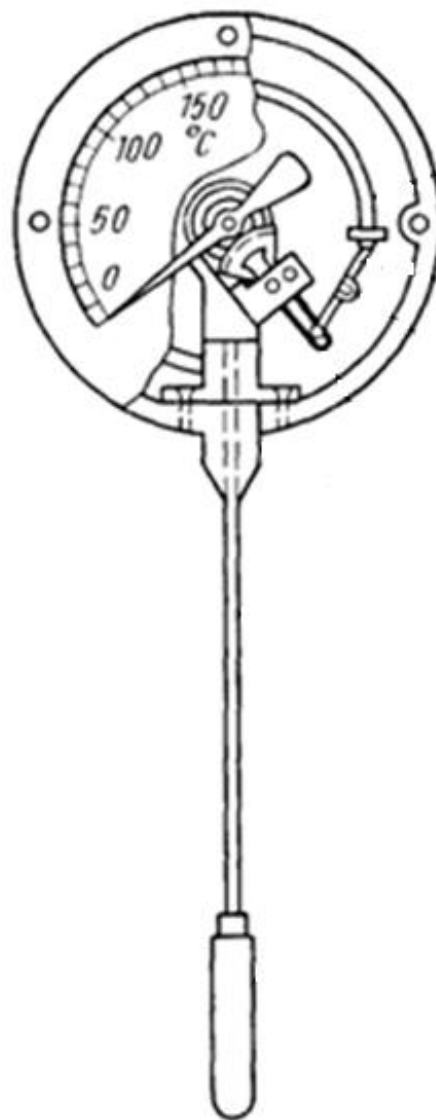


Интегральные диодные датчики температуры – самые современные и быстро развивающиеся температурные датчики, которые встраиваются в микросхемы и широко используются в электронике. Международная аббревиатура – IC (Integrated Circuit temperature sensors). Принцип работы датчиков основан на зависимости вольт-амперной характеристики полупроводникового диода от температуры.

Температурный диапазон диодных термометров довольно ограниченный – они работают только до 150 °С. Однако датчики имеют ряд преимуществ перед термометрами сопротивления. Они очень компактны, относительно дешевы, и могут легко встраиваться в усилители, регуляторы, микроконтроллеры и др. электронные приборы. При этом диодные термометры обладают высокой чувствительностью и достаточно высокой точностью (0,5 °С).

МАНОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

Манометрический
термометр с трубчатой
пружиной



МАНОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

Зависимость давления от температуры имеет вид

$$P_t = P_0(1 + \beta(t - t_0))$$

где $\beta = 1/273,15$ – температурный коэффициент расширения газа;

t_0 и t – начальная и конечная температуры;

P_0 – давление рабочего вещества при температуре t_0 .

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

- Изготавливают платиновые термометры сопротивления (ТСП) для температур от -200 до $+650$ °С и медные термометры сопротивления (ТСМ) для температур от -50 до $+180$ °С.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

- Полупроводниковые термометры сопротивления, которые называются термисторами или терморезисторами, применяются для измерения температуры в интервале от -90 до $+180$ °С.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Приборы, работающие в комплекте с термометрами сопротивления:

- уравновешенные мосты,
- неуравновешенные мосты,
- логометры.

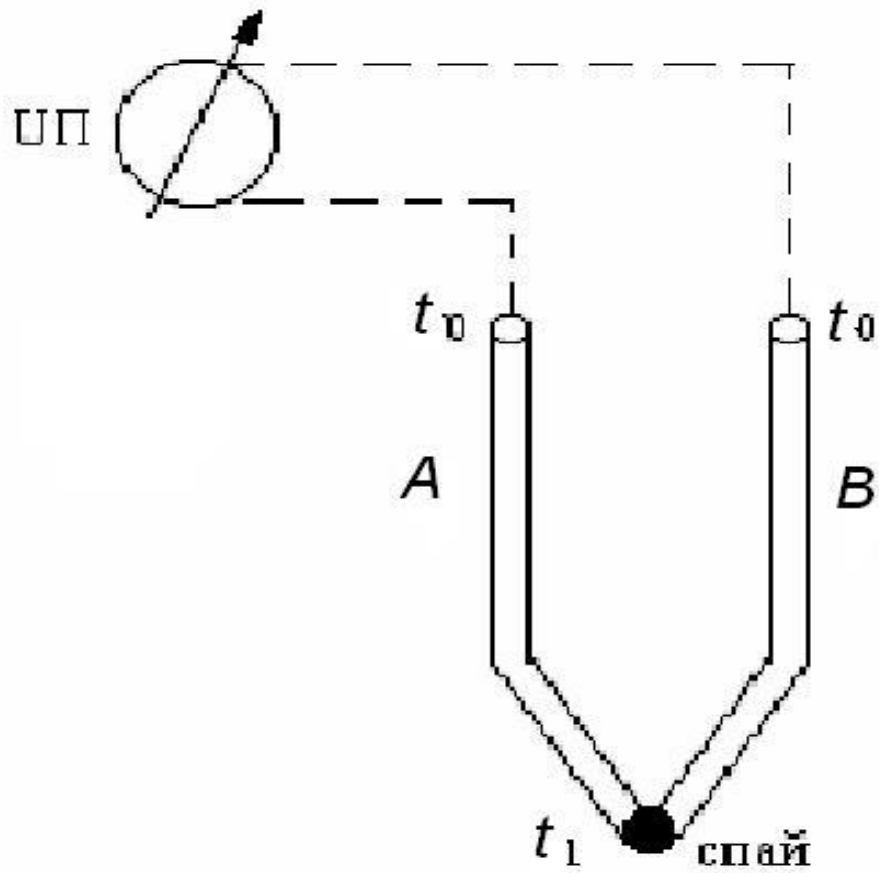
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ (ТЕРМОПАРЫ)

Спай термопары с температурой t_1 называется горячим или рабочим, а спай с t_0 – холодным или свободным.

ТермоЭДС термопары есть функция двух температур:

$$E_{AB} = f(t_1, t_0).$$

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ (ТЕРМОПАРЫ)



Электрическая схема
термоэлектрического
преобразователя
(термопара)

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ (ТЕРМОПАРЫ)

Приборы, работающие в комплекте с термопарами:

- магнитоэлектрические милливольтметры;
- автоматические потенциометры.

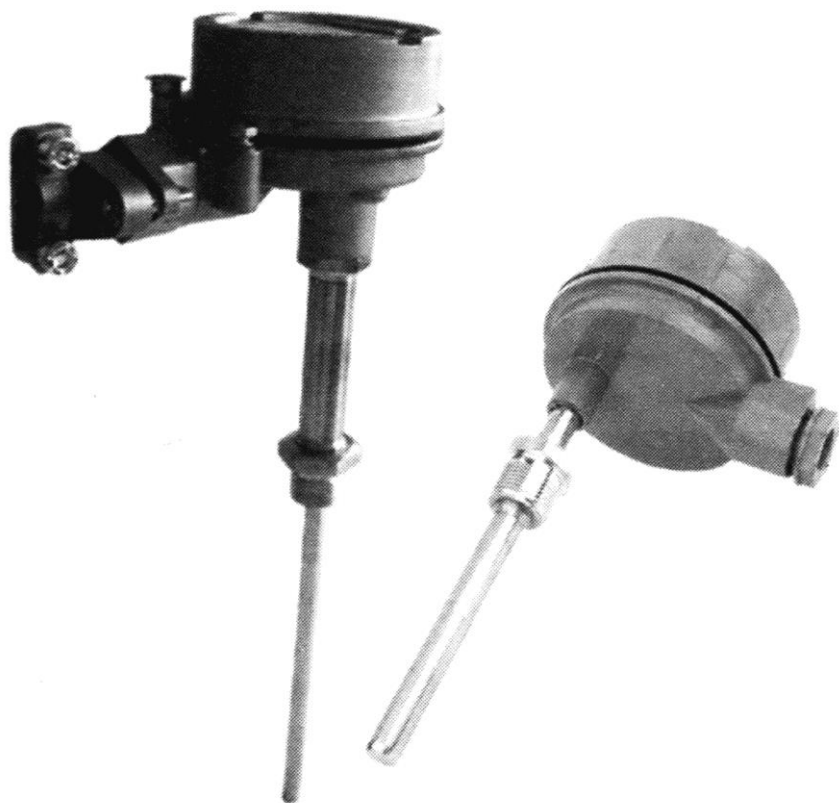
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ (ТЕРМОПАРЫ)

Стандартные градуировки термопар

Термоэлектрический преобразователь	Химический состав термоэлектрода		Диапазон измеряемых температур при длительном измерении, °C	Предельная температура при кратковременном измерении, °C	Допустимые погрешности, °C
	Положительный	Отрицательный			
Хромель-копель (ТХК)	Хромель (89 % Ni, 9,8 % Cr, 1 % Fe, 0,2 % Mn)	Копель (55 % Cu, 45 % Ni)	-50 ÷ 600	800	± 5,8
Хромель-алюмель (ТХА)	Хромель (89 % Ni, 9,8 % Cr, 1 % Fe, 0,2 % Mn)	Алюмель (94 % Ni, 2 % Al, 2,5 % Mn, 1 % Si, 0,5 % Fe)	-50 ÷ 1000	1300	± 9,7
Платинородий-платина (ТПП)	Платинородий (90 % Pt, 10 % Rh)	Платина (100 % Pt)	0 ÷ 1300	1600	± 3,6
Платинородий-платинородий (ТПР)	Платинородий (70 % Pt, 30 % Rh)	Платинородий (94 % Pt, 6 % Rh)	300 ÷ 1600	1800	± 5,2
Вольфрамрений-вольфрамрений (ТВР)	Сплав вольфрама с рением		0 ÷ 2200	2500	± 9,7
	(95 % W, 5 % Re)	(80 % W, 20 % Re)			

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ (ТЕРМОПАРЫ)

- Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом



ТХАУ Метран-271,
ТСМУ Метран-74

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ (ТЕРМОПАРЫ)

- ТХАУ Метран-271, ТСМУ Метран-74

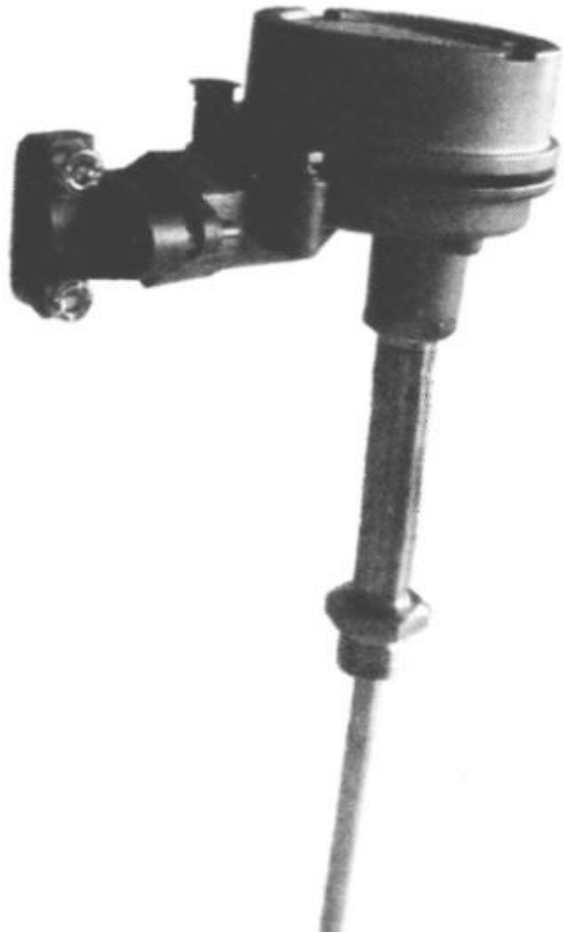
Чувствительный элемент первичного преобразователя и встроенный в головку датчика измерительный преобразователь преобразуют измеряемую температуру в унифицированный токовый выходной сигнал, что дает возможность построения АСУ ТП без применения дополнительных нормирующих преобразователей

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ (ТЕРМОПАРЫ)

ТХАУ Метран-271, ТСМУ Метран-74

- Использование термопреобразователей допускается в нейтральных и агрессивных средах, по отношению к которым материал защитной арматуры является коррозионностойким

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ



Метран-281

Метран-286

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ

- **Интеллектуальные преобразователи температуры (ИПТ) Метран-280:**

Метран-281, Метран-286 предназначены для точных измерений температуры нейтральных, а также агрессивных сред по отношению к которым материал защитной арматуры является коррозионностойким.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Управление ИПТ осуществляется дистанционно, при этом обеспечивается настройка датчика:

- выбор его основных параметров;
- перенастройка диапазонов измерений;
- запрос информации о самом ИПТ (типе, модели, серийном номере, максимальном и минимальном диапазонах измерений, фактическом диапазоне измерений).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ

В Метран-280 реализовано три единицы измерения температуры:

- градусы Цельсия, °С;
- градусы Кельвина, К;
- градусы Фаренгейта, F.

Диапазон измеряемых температур от 0 до 1000 °С.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Конструктивно Метран-280 состоит из термозонда и электронного модуля, встроенного в корпус соединительной головки. В качестве первичного термопреобразователя используются чувствительные элементы из термопарного кабеля КТМС (ХА) или резистивные чувствительные элементы из платиновой проволоки.

ТЕРМОМЕТРЫ ЦИФРОВЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ



Термометры ТЦМ 9210 предлагаются для замены жидкостных стеклянных термометров (ртутных и др.). ТЦМ 9210 обеспечивают четкую индикацию температуры в условиях слабой освещенности.

ТЦМ 9210

ТЕРМОМЕТРЫ ЦИФРОВЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ

Термометры цифровые малогабаритные ТЦМ–9210 предназначены для измерений температуры сыпучих, жидких и газообразных сред посредством погружения термопреобразователей в среду (погружные измерения) или для контактных измерений температуры поверхностей (поверхностные измерения) с представлением измеряемой температуры на цифровом табло электронного блока.

ТЕРМОМЕТРЫ ЦИФРОВЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ

Термометры применяются при научных исследованиях, в технологических процессах в горнодобывающей, нефтяной, деревоперерабатывающей, пищевой и других отраслях промышленности.

Диапазон измеряемых температур от -50 до $+1800$ °С.

2. БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

- К бесконтактным приборам относятся пирометры излучения:

1. Пирометры частичного излучения (яркостные, оптические), основанные на изменении интенсивности монохроматического излучения тел в зависимости от температуры.

Предел измерений от 800 до 6000 °С.

Пирометры излучения



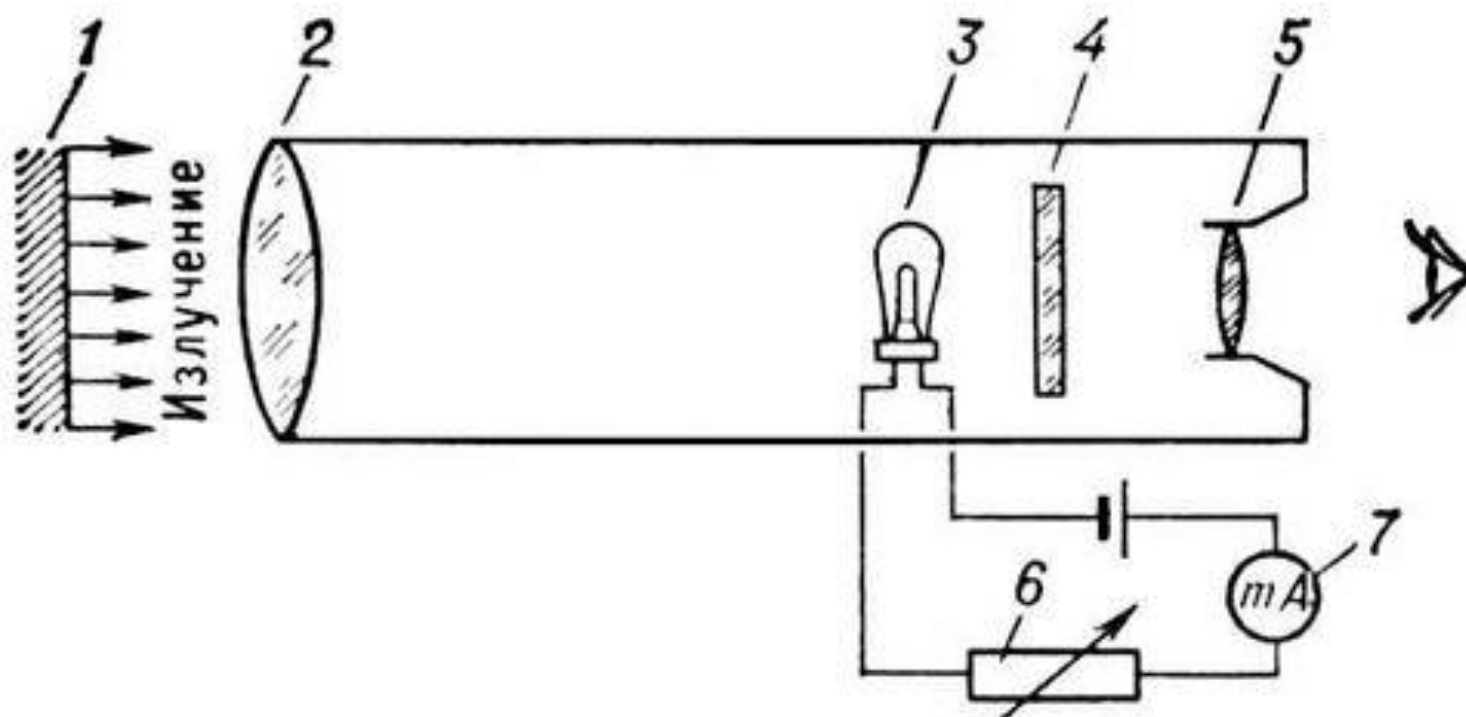
2. Радиационные пирометры -
основаны на зависимости мощности
излучения нагретого тела от его
температуры.

Предел от 20 до 2000 °С.

- **3. Цветовые пирометры** - основаны на зависимости отношения интенсивностей излучения на двух длинах волн от температуры тела.

Пределы измерения от 200 до 3800 °С.

Цветовой пирометр

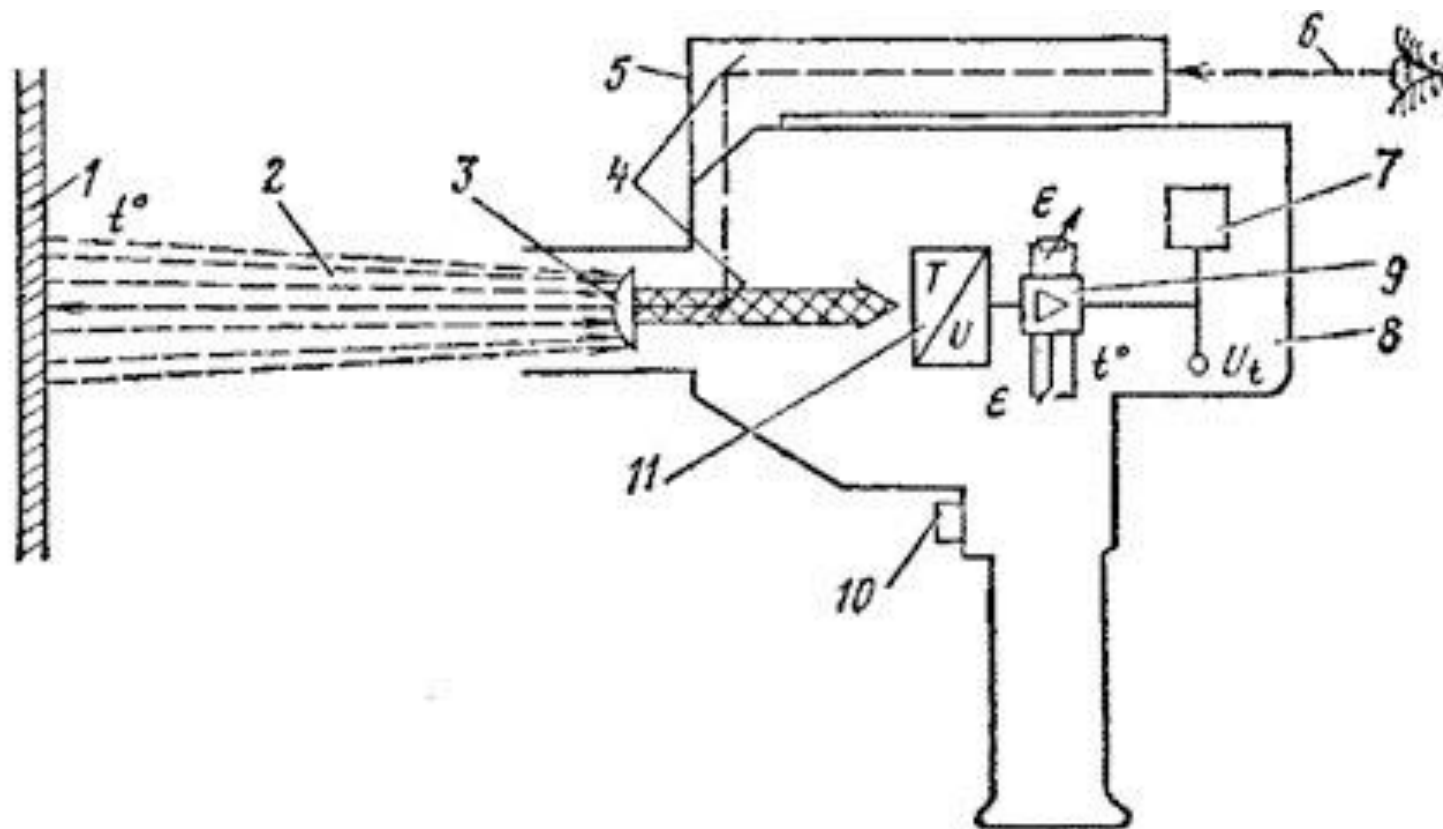


1 — источник излучения; 2 — оптическая система (телескоп пирометра); 3 — эталонная лампа накаливания; 4 — фильтр с узкой полосой пропускания; 5 — объектив; 6 — реостат, которым регулируют ток накала; 7 — измерительный прибор (миллиамперметр).

Сфера применения пирометров

1. Измерения температур опасных для человеческого организма, поверхностей и сред, в том числе, горячих.
2. Измерение температурных показателей недоступных и труднодоступных объектов.
3. Сканирование для поиска холодных или горячих точек.
4. Диагностические работы с электро- и теплооборудованием.
5. Быстрое (мгновенное) определение температуры объектов, которые пребывают в движении.
6. Профилактика и диагностика ж/д и автотранспорта.
7. Поддержание противопожарной безопасности.
8. Контроль и проверка систем кондиционирования, вентиляции и отопления и т.д.

Принцип работы пирометров



Устройство пирометра: 1 — объект измерения; 2 — тепловое излучение; 3 — оптическая система; 4 — зеркало; 5 — видоискатель; 6 — ось видоискателя; 7 — измерительно-счетное устройство; 8 — корпус; 9 — электронный преобразователь; 10 — кнопка; 11 — датчик

Основные параметры пирометров

- оптическое разрешение (встречаются модели с разрешением от 2 до 600 : 1);
- диапазон измеряемых температур (max от -50 до 4000° С или меньше);
- измеряемое разрешение — 1 или 0,1° С;
- точность измерения (оптимальная $\pm 1,5\%$);
- быстродействие (у современных очень высокое — менее 1 секунды);
- коэффициент излучения — переменный либо фиксированный;
- способ нацеливания — оптический либо лазерный прицел.

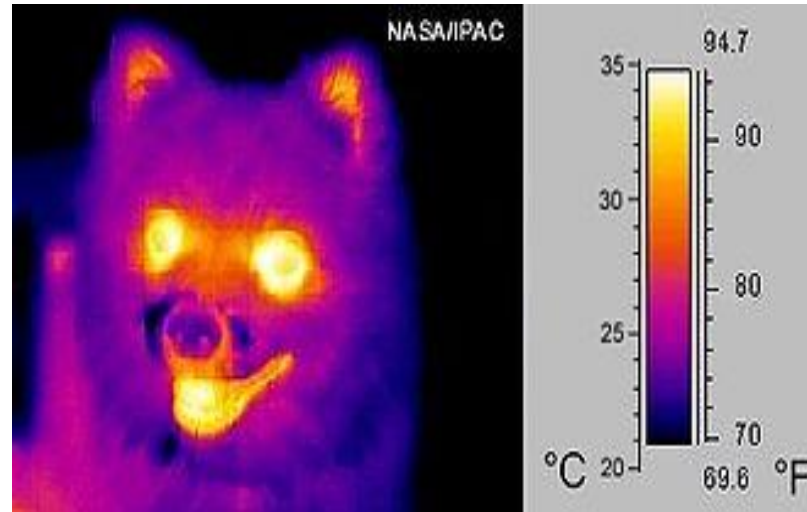
Инфракрасные пирометры

Пирометр - это прибор, который измеряет температуру по тепловому электромагнитному излучению и предоставляет информацию в форме, удобной для пользователя.

По области применения инфракрасные термометры классифицируют на 2 типа:

- стационарные
- переносные (портативные).





Тепловизор - устройство для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности. Распределение температуры отображается на дисплее (или в памяти) тепловизора как цветное поле, где определённой температуре соответствует определённый цвет.

ВОПРОСЫ

- Назовите средства измерения температуры контактным способом?
- Назовите средства измерения температуры бесконтактным способом?
- На чем основан принцип работы манометрического термометра?
- На чем основан принцип работы термоэлектрического термометра?
- Принцип работы пирометра?

ПИРОМЕТРЫ



Переносные пирометры
ST20/30Pro, ST60/80ProPlus

ПИРОМЕТРЫ

- Переносные пирометры ST20/30Pro, ST60/80ProPlus

Быстродействующие, компактные и легкие пирометры пистолетного типа обеспечивают бесконтактные точные измерения температуры малых, вредных, опасных и труднодоступных объектов, просты и удобны в эксплуатации.

ПИРОМЕТРЫ

Переносные пирометры ST20/30Pro, ST60/80ProPlus

Диапазон измеряемых температур от -32 до $+760$ °C.

Погрешность в диапазоне от -32 до $+26$ °C.

Прицел: лазерный.

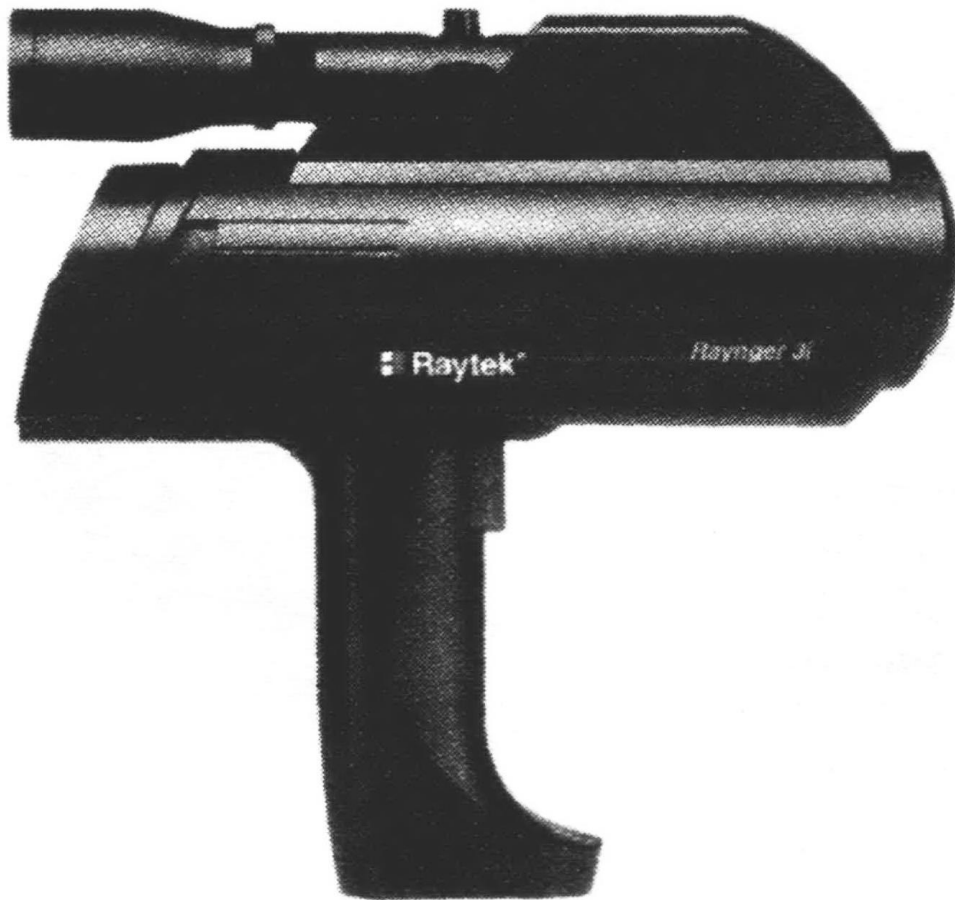
Спектральная чувствительность: 7–18 мкм.

Время отклика: 500 мс.

Индикатор: ЖК-дисплей с подсветкой и разрешением;
0,1 °C ST60Pro.

Температура окружающей среды: 0–50 °C.

ПИРОМЕТРЫ



Raynger 3i

ПИРОМЕТРЫ

- **Raynger 3i** – серия бесконтактных инфракрасных термометров пистолетного типа с точным визированием, имеющих широкие диапазоны измерений, различные оптические и спектральные характеристики, большое разнообразие функции, что позволяет выбрать пирометр в соответствии с его назначением

ПИРОМЕТРЫ

Raynger 3i

- 2M и 1M (высокотемпературные модели) – для литейного и металлургического производства: в процессах рафинирования, литья и обработки чугуна, стали и других металлов, для химического и нефтехимического производства;
- LT, LR (низкотемпературные модели) – для контроля температуры при производстве бумаги, резины, асфальта, кровельного материала.

ПИРОМЕТРЫ

В пирометрах серии **Raynger 3i** предусмотрено:

- память на 100 измерений;
- сигнализация верхнего и нижнего пределов измерений;
- микропроцессорная обработка сигналов;
- выход на компьютер, самописец, портативный принтер;
- компенсация отраженной энергии фона.

ПИРОМЕТРЫ

Raynger 3i

Для модели LT, LR диапазон измеряемых температур от -30 до $+1200$ °С, спектральная чувствительность 8–14 мкм.

Для модели 2M диапазон измеряемых температур от 200 до 1800 °С, спектральная чувствительность 1,53–1,74 мкм.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ



THERMALERT GP

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Thermalert GP – универсальная система для непрерывного измерения температуры, в состав которой входит компактный недорогой монитор и инфракрасный датчик GPR и GPM.

При необходимости монитор оснащается релейным модулем для сигнализации по двум точкам, а также обеспечивает питание датчика.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

- Инфракрасные датчики необходимы в таких областях, где контактное измерение температуры повредит поверхность, например, пластиковой пленки, или загрязнит продукт, а также для измерения температуры движущихся или труднодоступных объектов.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

В пирометрах серии **Thermalert GP**:

- параметры монитора и датчика устанавливаются с клавиатуры монитора;
- обеспечена обработка результатов измерений: фиксация пиковых значений, вычисление средней температуры, компенсация температуры окружающей среды;
- предусмотрена стандартная или фокусная оптика;

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

- диапазоны сигнализации устанавливаются оператором;
- имеется возможность работы монитора GP с другими инфракрасными пирометрами фирмы Raytek, например, Thermalert CI и Thermalert TX.

Диапазон измеряемых температур от -18 до $+538$ °C.

БЕСКОНТАКТНЫЕ ИНФРАКРАСНЫЕ ДАТЧИКИ



THERMALERT

БЕСКОНТАКТНЫЕ ИНФРАКРАСНЫЕ ДАТЧИКИ

- Стационарные бесконтактные инфракрасные датчики серии **Thermalert TX** предназначены для бесконтактного измерения температуры труднодоступных объектов и подключаются по двухпроводной линии связи к монитору, например, Thermalert GP

БЕСКОНТАКТНЫЕ ИНФРАКРАСНЫЕ ДАТЧИКИ

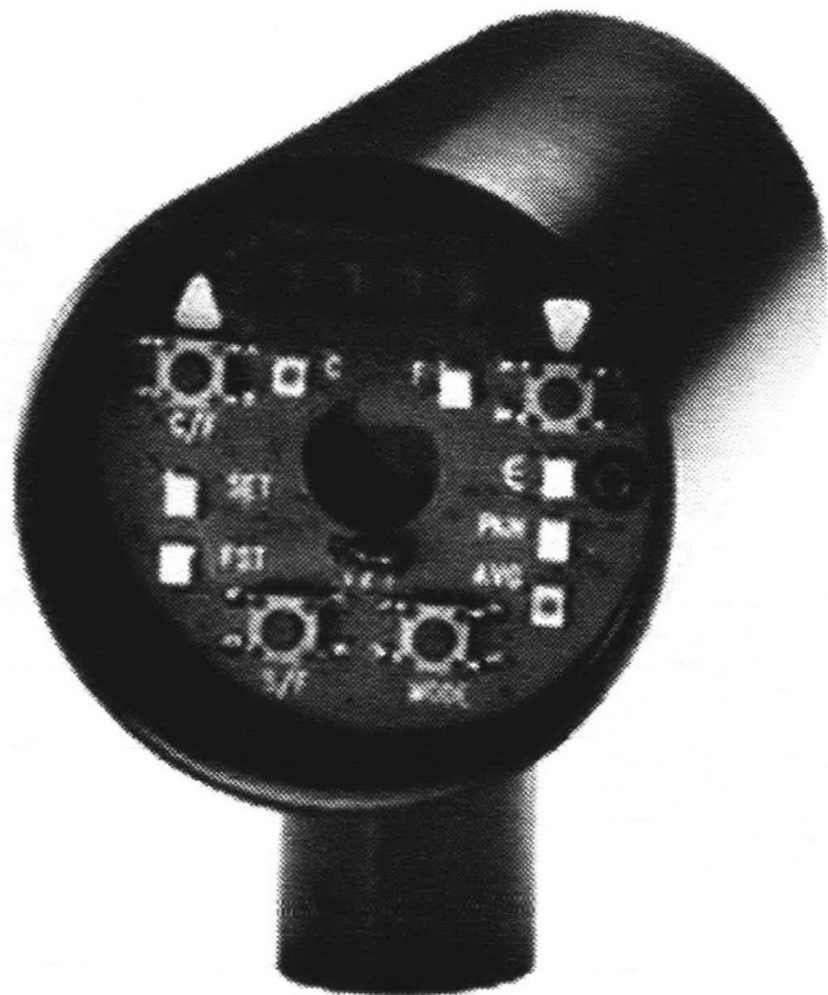
Thermalert TX

Для модели LT диапазон измеряемых температур от -18 до $+500$ °C,
спектральная чувствительность
8–14 мкм.

Для модели LTO диапазон измеряемых температур от 0 до 500 °C,
спектральная чувствительность
8–14 мкм.

Для модели MT диапазон измеряемых температур от 200 до 1000 °C,
спектральная чувствительность
3,9

ОДНОЦВЕТНЫЕ ПИРОМЕТРЫ



Marathon MA

ПИРОМЕТРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ



Marathon MR1S

ПИРОМЕТРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

- **Marathon MR1S**

- Стационарные инфракрасные пирометры спектрального отношения серии Marathon MR1S используют двухцветный метод измерения для получения высокой точности при работе с высокими температурами. Пирометры MR1S имеют улучшенную электронно-оптическую систему, "интеллектуальную" электронику, которые размещаются в прочном, компактном корпусе.

ПИРОМЕТРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

- **Marathon MR1S**
- Эти пирометры – идеальное решение при измерении температуры в загазованных, задымленных зонах, движущихся объектов или очень маленьких объектов, поэтому находят применение в различных отраслях промышленности: плавке руды, выплавке и обработке металлов, нагреве в печах различных типов, в том числе индукционных, выращивании кристаллов и др.

ПИРОМЕТРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

В пирометрах **MarathonMR1S** предусмотрено:

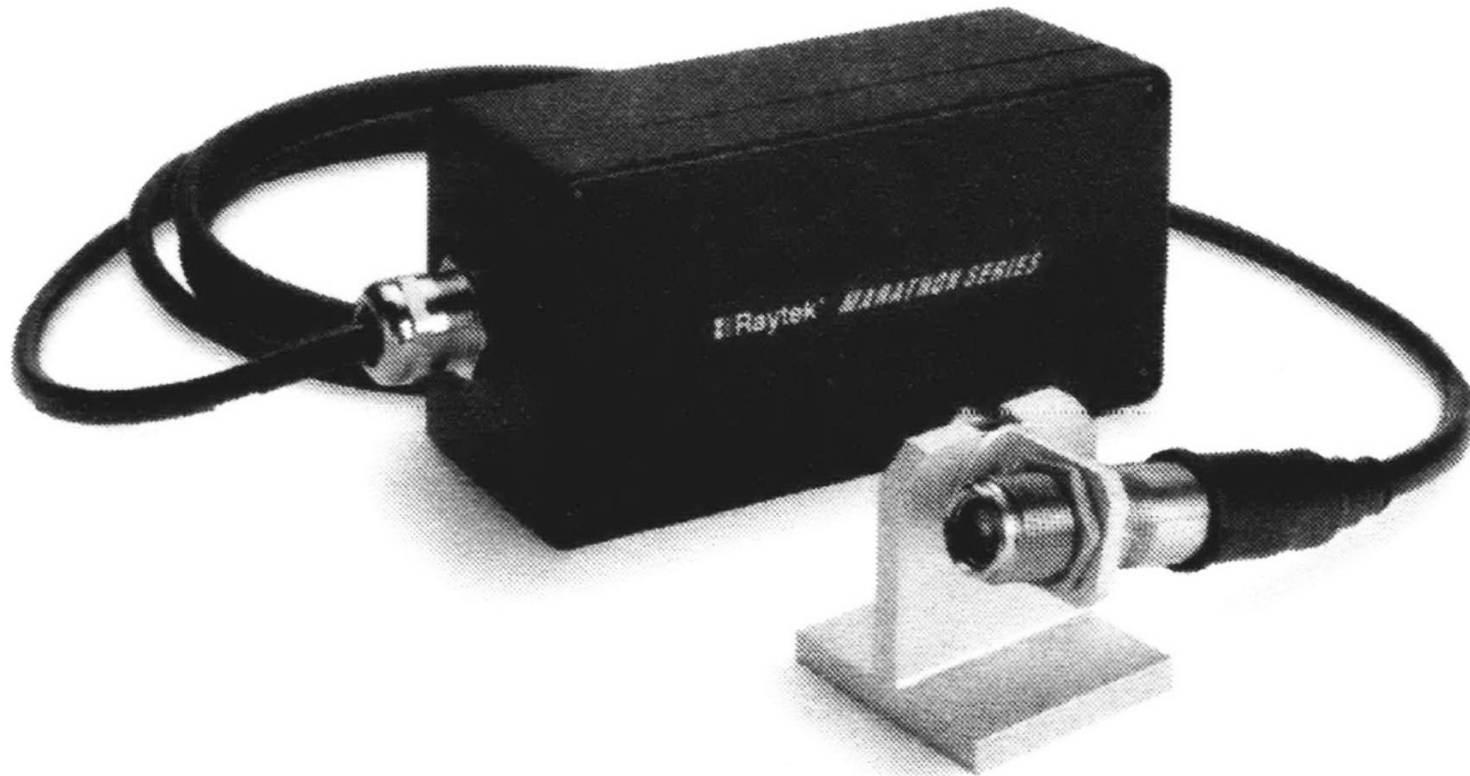
- одно - или двухцветный режим измерения;
- изменяемое фокусное расстояние;
- высокоскоростной процессор;
- программное обеспечение для "полевой " калибровки и диагностики;
- уникальное предупреждение о 'грязной' линзе;
- программное обеспечение Marathon DataTemp.

ПИРОМЕТРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

Для модели MRA1SA диапазон измеряемых температур от 600 до 1400 °С.

Для модели MRA1SC диапазон измеряемых температур от 1000 до 3000 °С.

ОПТОВОЛОКОННЫЕ ПИРОМЕТРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ



Marathon FibreOptic

ОПТОВОЛОКОННЫЕ ПИРОМЕТРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

Стационарные пирометры серии **Marathon FR1** используют технологию инфракрасного спектрального отношения, что обеспечивает высочайшую точность измерений в диапазоне от 500 до 2500 °С.

Пирометры позволяют измерять объекты, находящиеся в опасных и агрессивных зонах, и особенно применяются там, где невозможно использовать другие инфракрасные датчики.

ОПТОВОЛОКОННЫЕ ПИРОМЕТРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

- **Marathon FR1** способны точно измерять температуру труднодоступных объектов, находящихся при высокой температуре окружающей среды, загрязненной атмосфере или сильных электромагнитных полях.