

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

#### ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

- чувствительный элемент
- номинальная статическая характеристика
- диапазон измерения, точность, обозначение, преимущества и недостатки
- схемы электрического подключения
- общий конструктив
- защитная оболочка
- приспособление для монтажа
- монтаж
- факторы, влияющие на погрешность измерения

#### ТЕРМИСТОР

- чувствительный элемент
- номинальная статическая характеристика
- диапазон измерения, точность, обозначение, преимущества и недостатки
- общий конструктив

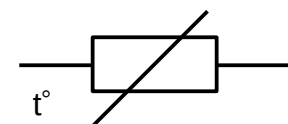
# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ВВЕДЕНИЕ

### *Resistance Temperature Detector, RDT*

- Электрический компонент:
  - пассивный (не требует электрического питания)
- Чувствительный элемент:
  - резистивный, термочувствительный
- Класс датчиков:
  - первичный (на выходе ненормированный электрический сигнал)
- Назначение:
  - измерение температуры

Принцип действия основан на зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента от приложенной к нему температуры (например, когда с увеличением температуры растет электрическое сопротивление чувствительного элемента).



*графическое  
изображение*

Материала чувствительного элемента:

- металл (платина, никель, медь)
- полупроводник

Наиболее точный и применимый материал чувствительного элемента — платина (Pt). Это обусловлено тем, что платина имеет стабильную и хорошо изученную зависимость сопротивления от температуры и не окисляется в воздушной среде, что обеспечивает их высокую точность и воспроизводимость.

Название по типу материала чувствительного элемента:

- термосопротивление
- терморезистор, термистор

**Номинальная статическая характеристика (НСХ)** — это функция, определяющая зависимость электрического сопротивления от температуры; для каждого типа чувствительного элемента характеристика своя.

Ключевые показатели:

- чувствительный элемент
  - тип, материал
  - номинальная статическая характеристика
  - диапазон измеряемых температур, класс точности
  - схема электрического подключения
- конструктив
  - тип корпуса, материал, способ монтажа

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

*Термосопротивление, Термопреобразователь сопротивления, ТС*

Технические требования к термосопротивлениям изложены в стандарте **ГОСТ-6651**.

Основные сферы применения

- как датчик измерения температуры в цепях обратной связи системы управления (*системы управления промышленными технологическими процессами*)

### Чувствительный элемент

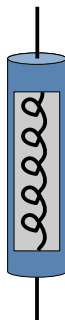
Конструктивно представляет собой резистор:

- намоточный
  - металлическая спираль снаружи диэлектрического изолятора
  - металлическая спираль внутри диэлектрического изолятора
- тонкопленочный
  - металлическая пленка, напыленная на диэлектрический изолятор

На концах резистора располагаются металлические выводы.



намоточный  
(снаружи диэлектрика)



намоточный  
(внутри диэлектрика)



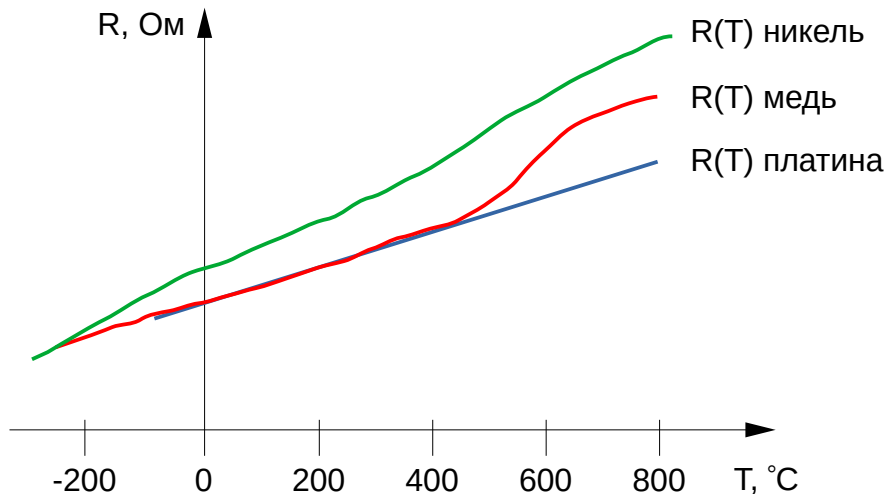
тонкопленочный  
(напыление на диэлектрике)

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

### Номинальная статическая характеристика

НСХ



Для платиновых чувствительных элементов характеристика описывается уравнением Каллендара-Ван Дьюзена:

- для диапазона  $0^{\circ}\text{C} \leq T < 850^{\circ}\text{C}$ :

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + A \cdot T + B \cdot T^2)$$

- для диапазона  $-200^{\circ}\text{C} < T < 0^{\circ}\text{C}$ :

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + A \cdot T + B \cdot T^2 + C \cdot T^3 \cdot (T - 100))$$

где,

$R(T)$  — значение сопротивления при температуре  $T$  (°C)

$T$  — значение температуры (°C)

$R_0$  — значение сопротивления при  $T = 0^{\circ}\text{C}$  (**номинальное сопротивление**)

$A, B, C$  — коэффициенты для определенного чувствительного элемента

Например, для промышленных платиновых термометров сопротивления:

$$A = 3.9083 \times 10^{-3}, \quad B = -5.775 \times 10^{-7}, \quad C = -4.183 \times 10^{-12}$$

Поскольку коэффициенты  $B$  и  $C$  относительно малы, то сопротивление растет практически линейно при увеличении температуры (**линейная характеристика**).

Вид полинома (уравнение функции) и его коэффициенты описываются в ГОСТ-6651.

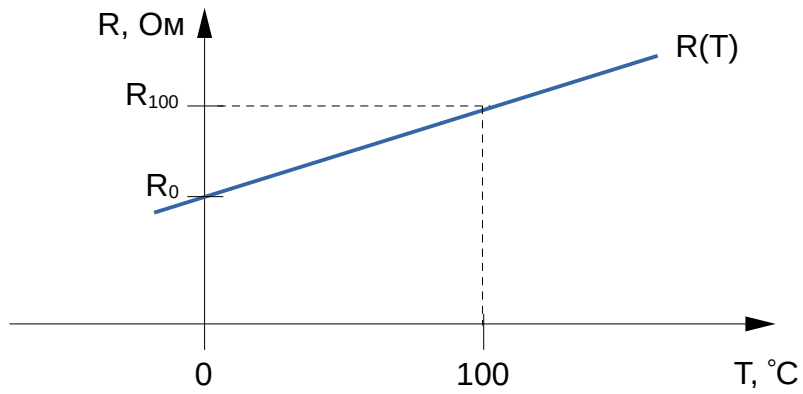
В описании номинальной статической характеристики указывают:

- наименование металла чувствительного элемента
- значение  $R_0$
- угловой коэффициент (он же температурный коэффициент,  $\alpha$ )

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

Угловой коэффициент определяет наклон характеристики и представляет собой отношение сопротивления при  $T=100^{\circ}\text{C}$  и  $T=0^{\circ}\text{C}$ .



$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0}$$

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

### Диапазон измеряемых температур

$-260^{\circ}\text{C} \leq T < 750^{\circ}\text{C}$  ( $1000^{\circ}\text{C}$ )

### Точность

Это то, насколько характеристика  $R(T)$  реального датчика отклонена от идеальной. Для обозначения точности используют понятие — **класс допуска** (точности).

Класс	Допуск, °C	
	при 0 °C	при 100 °C
AA	$\pm 0.04$	$\pm 0.10$
A	$\pm 0.06$	$\pm 0.13$
B	$\pm 0.12$	$\pm 0.31$
C	$\pm 0.24$	$\pm 0.62$

### Обозначение

#### **ТС Pt100, ТС 100П**

- материал чувствительного элемента: платина
- $R_0 = 100 \text{ Ом}$

#### **ТС Pt1000, ТС 1000П**

- материал чувствительного элемента: платина
- $R_0 = 1000 \text{ Ом}$

#### **ТС 100М**

- материал чувствительного элемента: медь
- $R_0 = 100 \text{ Ом}$

#### **ТС 100Н**

- материал чувствительного элемента: никель
- $R_0 = 100 \text{ Ом}$

### Преимущества / Недостатки

- + Высокая точность измерений
- + Возможность исключения влияния изменения сопротивления линий связи на результат измерения при использовании 3х или 4х проводной схемы подключения
- + Практически линейная характеристика
- Относительно малый диапазон измерения
- Дороговизна (при использовании редкоземельных металлов)
- Требуется дополнительный источник питания для задания тока через датчик

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

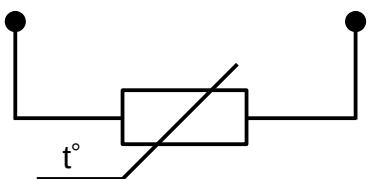
## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

### Схемы электрического подключения

#### 2х проводная

Используется там, где не требуется высокой точности.

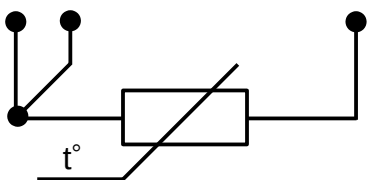
Точность измерения снижается за счет сопротивления соединительных проводов (суммируется с измеряемым сопротивлением чувствительного элемента) и приводит к появлению дополнительной погрешности.



$$R = R_{\text{чЭ}} + R_{\text{ВХ.ПРОВОДОВ}} + R_{\text{ВЫХ.ПРОВОДОВ}}$$

#### 3х проводная

Обеспечивает значительно более точные измерения за счет того, что появляется возможность отдельно измерить сопротивление подходящих (или отходящих) проводов и учесть их влияние на точность измерения сопротивления чувствительного элемента. Измеренное сопротивление проводов можно вычесть из измеренного сопротивления чувствительного элемента. Эта схема является наиболее распространенной.



$$R = R_{\text{чЭ}} + R_{\text{ВЫХ.ПРОВОДОВ}} - R_{\text{ВХ.ПРОВОДОВ}}$$

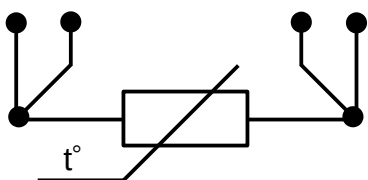
или

$$R = R_{\text{чЭ}} + R_{\text{ВХ.ПРОВОДОВ}} - R_{\text{ВЫХ.ПРОВОДОВ}}$$

#### 4х проводная

Наиболее точная схема.

Обеспечивается полное исключение влияния подходящих и отходящих проводов на измеренное значение. Применяется в основном для эталонных измерений.



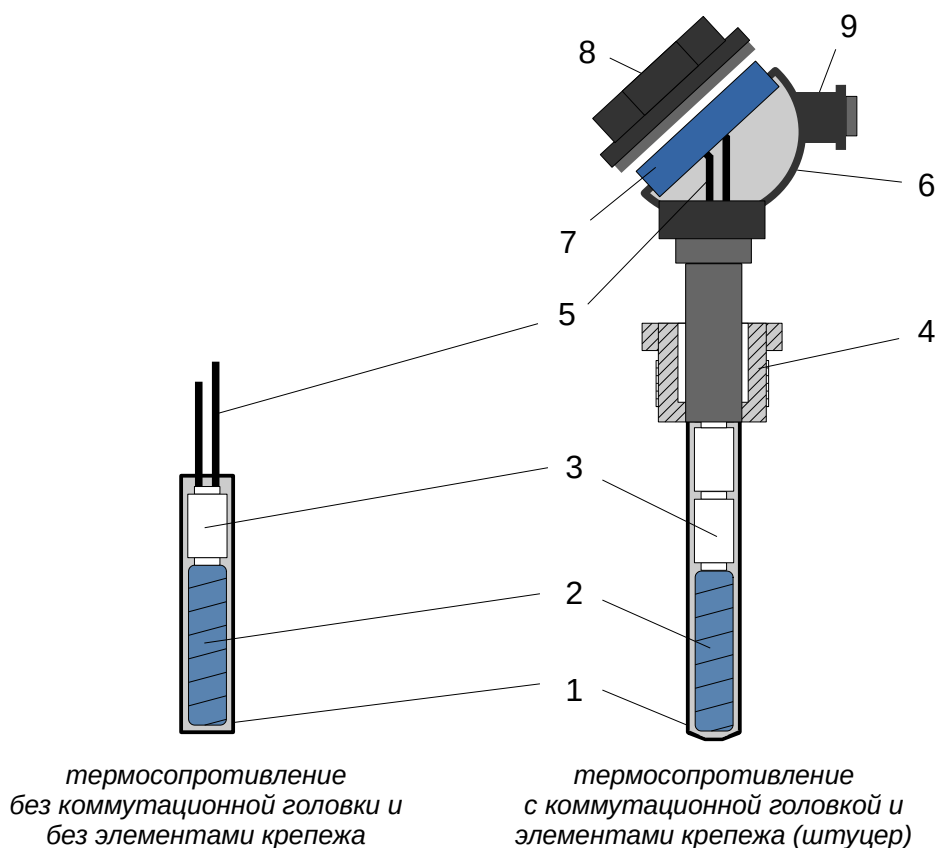
$$R = R_{\text{чЭ}} - R_{\text{ВХ.ПРОВОДОВ}} - R_{\text{ВЫХ.ПРОВОДОВ}}$$

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

### Общий конструктив

- (1) Защитная оболочка (металл)
- (2) Первичный преобразователь (ТЕ)
  - термочувствительный элемент сопротивления (один или несколько)
- (3) Уплотнительные диэлектрические изоляторы
- (4) Приспособление для монтажа (штуцер или фланец, может отсутствовать)
- (5) Внутренние соединительные провода с выходом на клеммную розетку
- (6) Коммутационная головка (пластик или металл, может отсутствовать)
- (7) Вторичный / нормирующий преобразователь (ТТ, может отсутствовать)
  - аналоговый выходной сигнал 4-20 мА (+ цифровой протокол HART)
  - цифровой интерфейс RS-485 + протокол MODBUS RTU
  - прочие типы
- (8) Крышка
- (9) Штуцер под кабель





# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

### Защитная оболочка

Как правило, представляет собой металлический цилиндр или бокс, заваренный с одной стороны.

Внутри оболочки помещается чувствительный элемент, а оставшееся свободное пространство заполняется специальными диэлектрическими изоляторами и теплопроводящим наполнителем (например, термопаста, песок, эпоксидная смола, клей).

Сторона оболочки, откуда отходят выводы от чувствительного элемента, герметизируется клеем или эпоксидной смолой.

Оболочка обеспечивает механическую прочность чувствительного элемента, а также устойчивость к воздействию окружающей среды.



*ОВЕН ДТСхх4, безкорпусные,  
защитная капсула круглого или квадратного сечения  
+ кабельный вывод*

Безкорпусные датчики применяются во встраиваемых системах, где конструкция корпуса остается на усмотрении пользователя (например, такой датчик можно установить на станину мотора: приклеить его на термопасту и зафиксировать стягивающим хомутом).

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

### Приспособление для монтажа

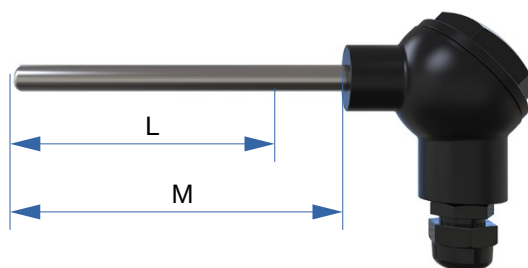
В зависимости от конструкции, на защитной капсуле может присутствовать специальное приспособление, которое позволяет тем или иным образом крепить термосопротивление на контролируемом объекте (**монтаж, присоединение к технологическому процессу**).

Виды приспособлений для монтажа:

- штуцер (подвижный или неподвижный)
- фланец
- стягивающий хомут

**Длина монтажной части (M)** — расстояние от рабочего конца защитной капсулы до опорной (неподвижной) плоскости монтажной конструкции или плоскости головной части.

**Длина погружаемой части (L)** — максимально возможная глубина погружения термосопротивления (его защитной капсулы) в контролируемую среду при температуре верхнего предела рабочего диапазона без нарушения работоспособности термосопротивления.



*термосопротивление без  
монтажной конструкции*

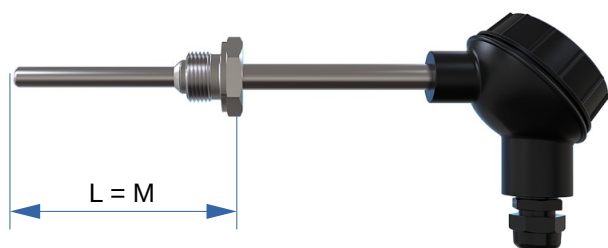
Для термосопротивлений с монтажной конструкцией:  $L = M$

**Минимальная глубина погружения (r)** — глубина погружения термосопротивления в контролируемую среду с однородным распределением температуры, когда при дальнейшем погружении показания термосопротивления более не изменяются или изменяются незначительно (в пределах допуска соответствующего класса).

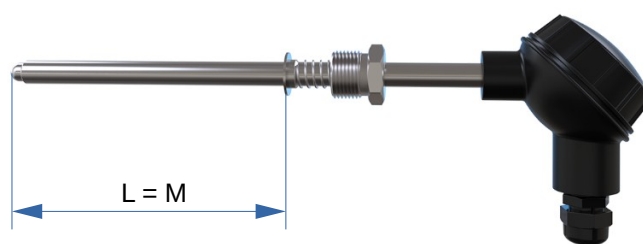
# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

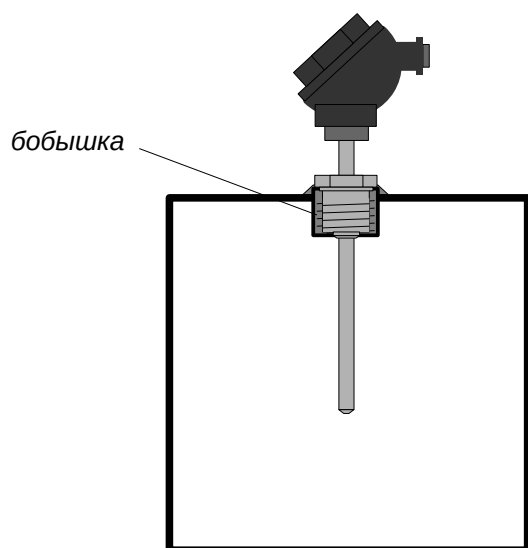
### Штуцер



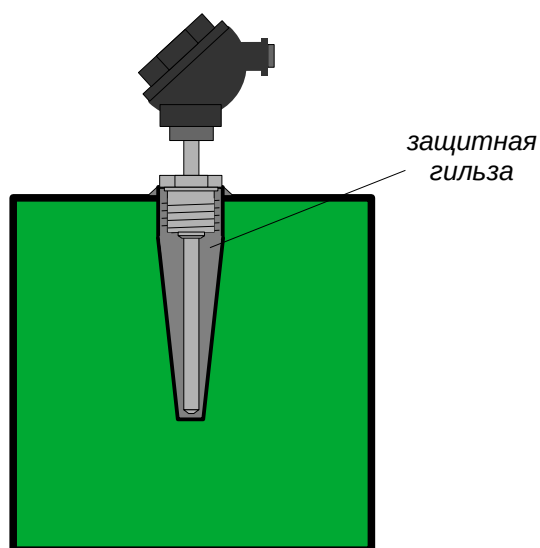
*неподвижный штуцер*



*подвижный штуцер*



*монтаж  
в приварную  
бобышку  
с внутренней резьбой*

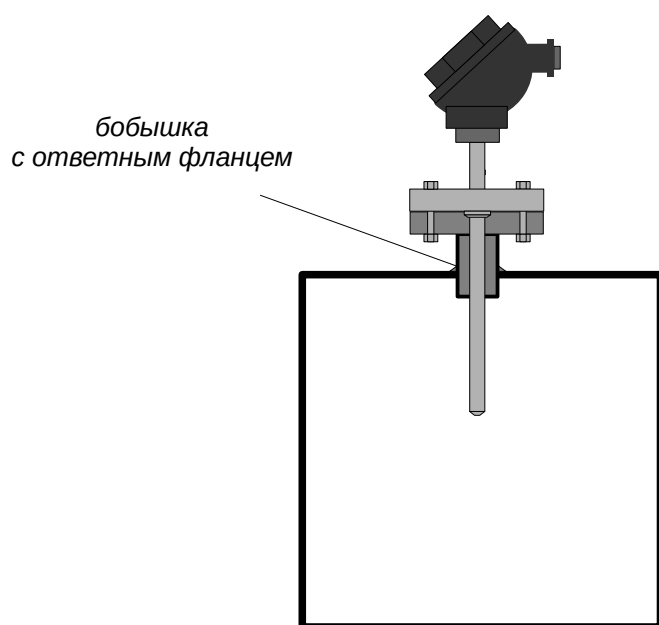
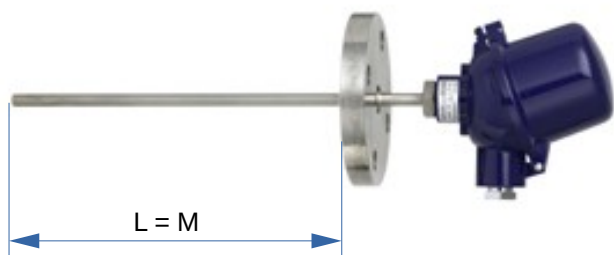


*монтаж  
в приварную  
защитную гильзу  
с внутренней резьбой*

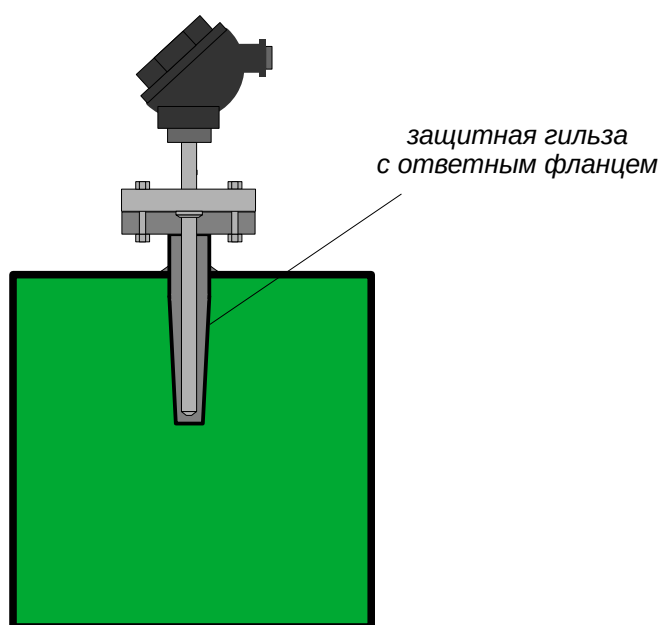
# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

### Фланец



монтаж  
в приварную  
бобышку  
с ответным фланцем

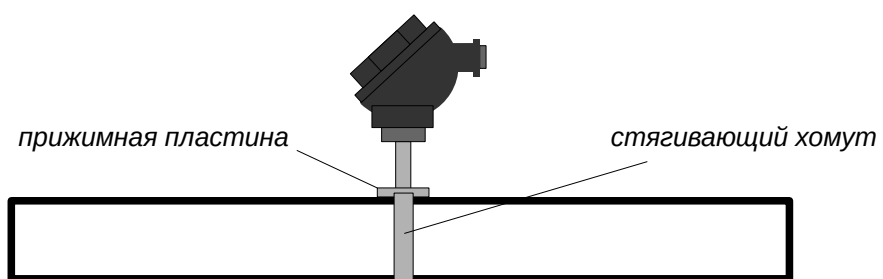


монтаж  
в приварную  
защитную гильзу  
с ответным фланцем

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

Хомут



# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

### Монтаж

Требования к монтажу термосопротивлений приведены в **ГОСТ 8.586.5**.

### Базовые требования

Для монтажа используются соответствующие закладные конструкции:

- приварные бобышки или приварные защитные гильзы с резьбой,
- приварные бобышки или приварные защитные гильзы с ответным фланцем.

При измерении температуры среды, которая имеет: высокую температуру, высокое давление, большую скорость движения, агрессивность — термосопротивления монтируют в специальных защитных оправах (**защитная гильза, термокарман**). Гильза изолирует термосопротивление от непосредственного контакта с измеряемой средой и позволяет обслуживать термосопротивление (например, замена, ремонт) без остановки технологического процесса.

Длина защитной гильзы должна соответствовать длине монтажной части термосопротивления.

Для улучшения теплового контакта между защитной гильзой и помещенным в нее термосопротивлением — свободное пространство гильзы необходимо заполнить термопастой (или жидким трансформаторным маслом).

Конец погружаемой части термосопротивления необходимо размещать:

- на 50-70мм ниже оси измеряемой среды или потока (для платиновых элементов)
- на 25-30мм ниже оси измеряемой среды или потока (для медных, никелевых)

Во всех случаях необходимо, чтобы термосопротивление (и его защитная гильза, при ее наличии) как можно меньше загромождало путь для распространения измеряемой среды.

Прижимная пластина поверхностных термопреобразователей (крепятся на поверхности контролируемого объекта, например, с помощью стягивающего хомута) должна плотно прилегать к поверхности измерения на возможно большей площади; места соприкосновения предварительно должны быть очищены до металлического блеска.

Ориентация коммутационной головки может быть любая.

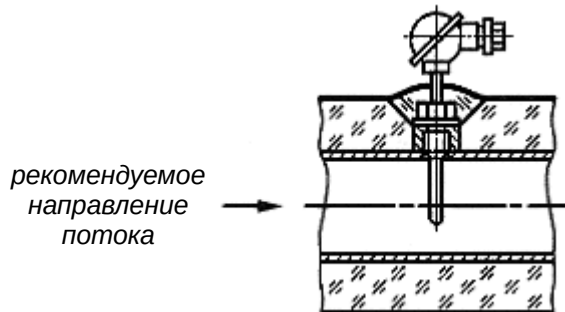
При горизонтальной ориентации термосопротивления кабельный ввод должен быть обращен вниз.

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

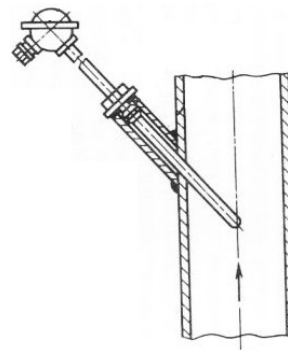
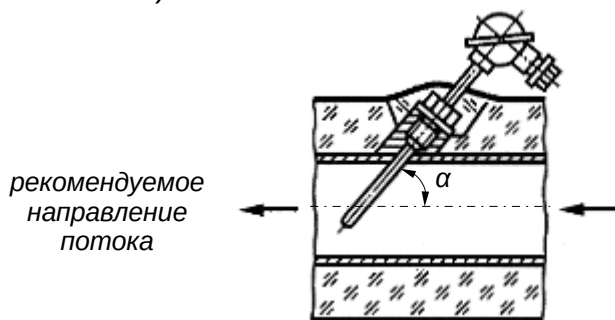
### Тип монтажа «А»:

Радиальное (вертикальное) расположение термосопротивления (и его защитной гильзы, при ее наличии) — является самым наилучшим.



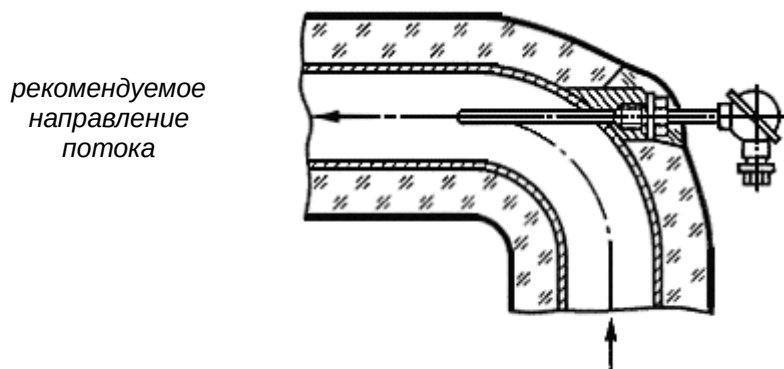
### Тип монтажа «Б»:

Если радиальное (вертикальное) расположение термосопротивления невозможно, то допускается монтаж под наклоном ( $\alpha = 45...90^\circ$ ) или в специальном расширителе (тип монтажа «Г»).



### Тип монтажа «В»:

В трубопроводах диаметром до 50мм допускается монтаж термосопротивления в изгибе (колене) — как до, так и после сужающих устройств (например, участков с установленным расходомером).

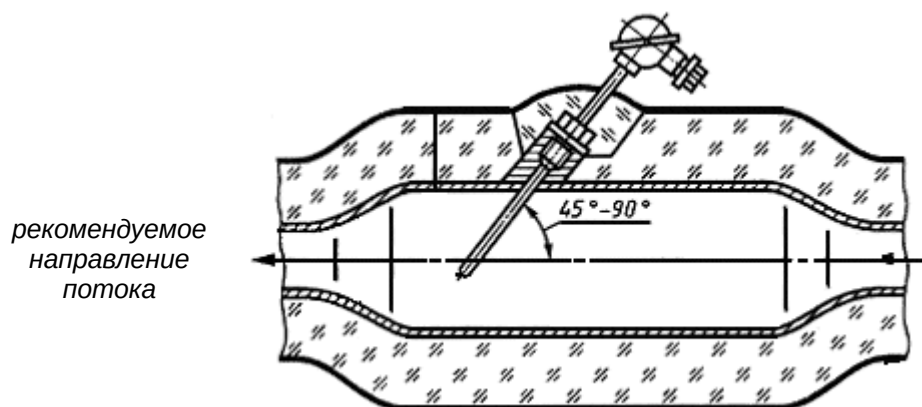


# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

### *Тип монтажа «Г»:*

В трубопроводах диаметром 50мм и менее термосопротивление необходимо монтировать в специальных трубных расширителях, чтобы обеспечить требуемую минимальную длину погружения. Для трубопроводов диаметром до 25мм, следует применять термосопротивления специальной конструкции (с короткой погружной частью).





# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

### Факторы, влияющие на погрешность измерения

1. Место установки термосопротивления выбрано неправильно  
(см. требования к монтажу)
2. Неправильно выбрана длина монтажной части термосопротивления  
(например, глубина погружения меньше минимально допустимой)
3. Плохое качество уплотнения в месте монтажа термосопротивления  
(например, идет утечка среды в месте монтажа)
4. Отсутствует теплоизоляция на оборудовании (или трубопроводе)
5. Попадание влаги и конденсата в клеммную головку датчика
6. Замыкание внутренних проводников термосопротивления
7. Неправильно выбрана схема подключения термосопротивления к каналу ввода
8. Разные градуировки термосопротивления и регистрирующего прибора  
(например, используются неточные коэффициенты масштабирования)

Перед тем, как приступать к монтажу термосопротивления, необходимо проверить:

- правильность выбора типа
- соответствие условий эксплуатации
- соответствие монтажных конструкций
- правильность выбора места монтажа
- возможность подключения к регистрирующему прибору (каналу ввода)
- соответствие градуировки регистрирующего прибора (возможность масштабирования)
- отсутствие повреждений (как датчика, так и места монтажа)

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМИСТОР

### *Термистор, Терморезистор*

Полупроводниковый прибор, электрическое сопротивление которого изменяется в зависимости от приложенной к нему температуры.

Термистор был изобретен Сэмюэлем Рубеном (Samuel Ruben) в 1930 г.

Основные сферы применения

- как самовосстанавливающийся предохранитель в цепях защиты
- как датчик измерения температуры в микроэлектронике

### Чувствительный элемент

Конструктивно представляет собой резистор, выполненный методом порошковой металлургии из оксидов, галогенидов, халькогенидов некоторых металлов.

На концах резистора располагаются металлические выводы.

Размер чувствительного элемента — от 1 микрометра до нескольких сантиметров.

По типу зависимости сопротивления от температуры:

- NTC (Negative Temperature Coefficient)
- PTC (Positive Temperature Coefficient)

Для NTC-термисторов

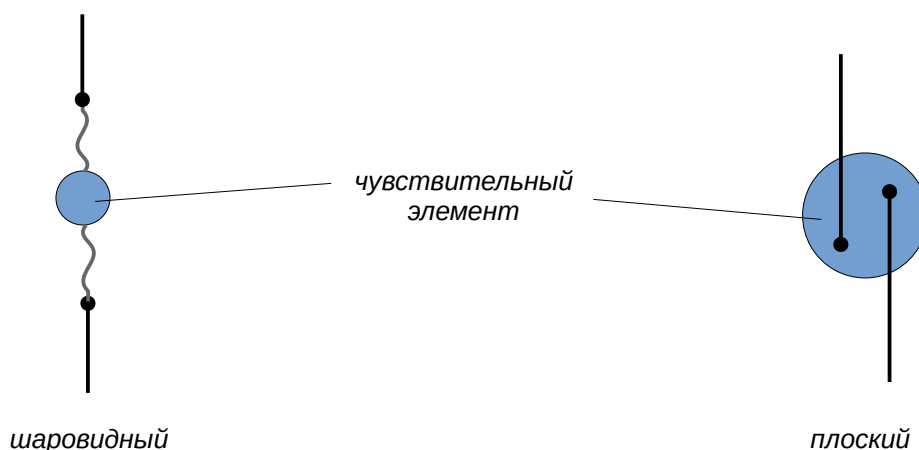
- увеличение температуры — падение сопротивления

Для PTC-термисторов

- увеличение температуры — увеличение сопротивления

По форме

- шаровидные
- плоские

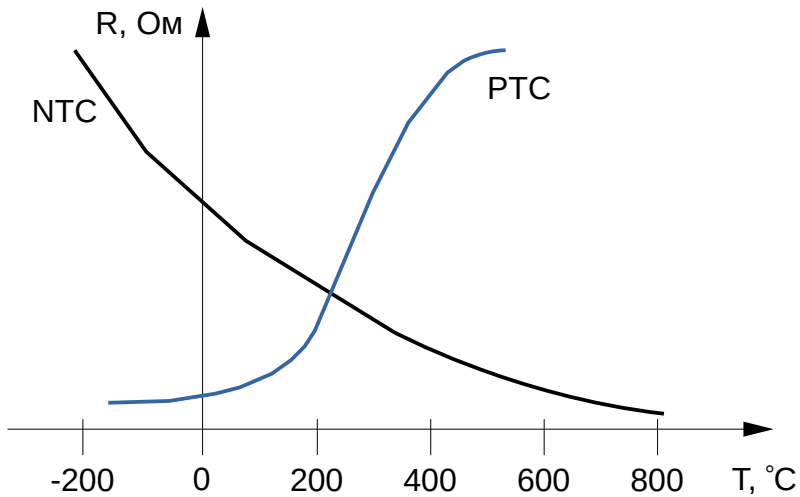


# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМИСТОР

### Номинальная статическая характеристика

НСХ



Температура рассчитывается по уравнению Стейнхарта-Харта:

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot (\ln(R))^3$$

где,

$T$  — значение температуры (°C)

$R$  — текущее значение сопротивления

$A, B, C$  — коэффициенты для определенного чувствительного элемента

Например, для типичного термистора в 10 кОм с диапазоном 0-100°C:

$$A = 1.03 \times 10^{-3}, B = 2.93 \times 10^{-4}, C = 1.57 \times 10^{-7}$$

При некоторых значениях температуры наблюдается нелинейность характеристики.

С течением времени, особенно при жестких условиях эксплуатации, происходит изменение характеристики (плохая повторяемость характеристики).

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМИСТОР

### Диапазон измеряемых температур

Низкотемпературные термисторы:

- ... до  $-103.15^{\circ}\text{C}$

Среднетемпературные термисторы:

- от  $-103.15$  до  $236.85^{\circ}\text{C}$

Высокотемпературные термисторы:

- ... до  $1700^{\circ}\text{C}$

### Точность

Термисторы обладают высоким разрешением, точностью ( $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ ) при хорошей калибровке и высокой чувствительностью (высокое быстродействие, быстрый отклик на изменение температуры).

### Преимущества / Недостатки

- + Высокое разрешение и точность измерения
- + Высокая чувствительность и быстродействие
- + Простая 2х проводная схема подключения
- + Выдерживает значительные токовые нагрузки
- + Можно использовать в качестве самовосстанавливающегося предохранителя
- Резко нелинейная НСХ при некоторых значениях температуры
- С течением времени возможно изменение НСХ
- Сравнительно узкий диапазон измеряемых температур

# ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ

## ТЕРМИСТОР

### Общий конструктив

- (1) Первичный преобразователь (ТЕ)
  - термочувствительный элемент сопротивления
- (2) Выводы (металл)
- (3) Корпус (стеклянная колба, пластик или металл)

