

# ТЕРМОПАРА

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ

ТИПЫ ГОРЯЧЕГО СПЯ

НОМИНАЛЬНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

КОНСТРУКЦИЯ

ТРЕБОВАНИЯ К МОНТАЖУ

ВТОРИЧНЫЙ / НОРМИРУЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

МНОГОТОЧЕЧНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

# ТЕРМОПАРА

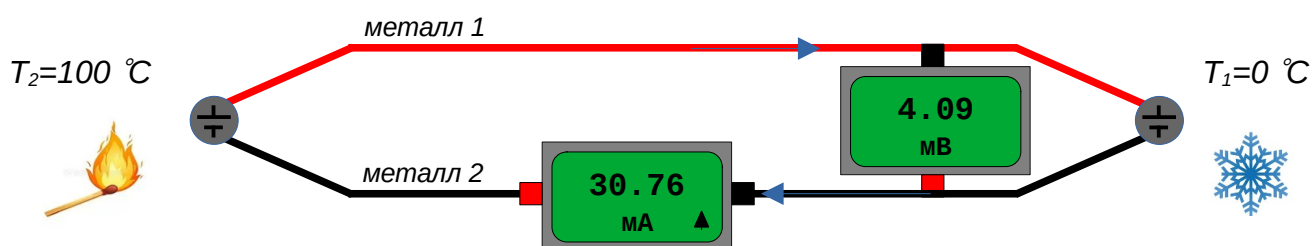
## ВВЕДЕНИЕ

### *Thermocouple, Thermoelectrical thermometer* **Преобразователь термоэлектрический**

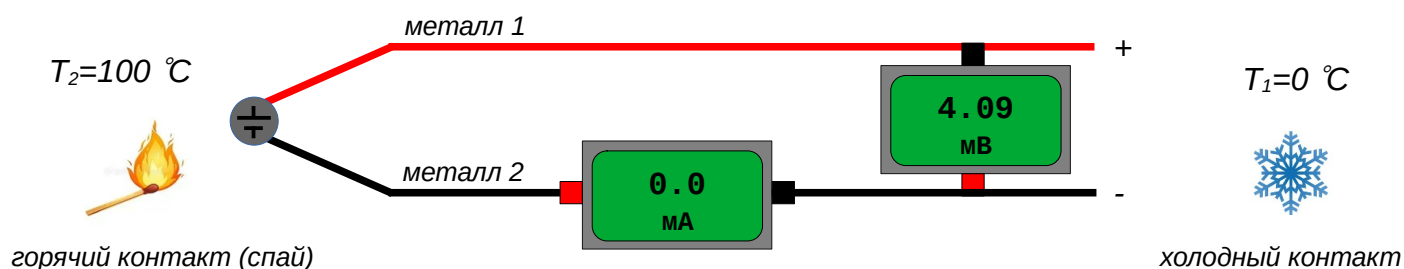
- Чувствительный элемент:
  - спай разнородных металлов, термочувствительный
- Класс датчиков:
  - первичный
    - на выходе ненормированный электрический сигнал
    - является источником напряжения / тока (требуется внешний источник)
    - для формирования контрольно-измерительного сигнала требуется дополнительный внешний источник напряжения / тока
- Назначение:
  - измерение температуры

Принцип действия основан на явлении возникновения электродвижущей силы при нагревании двух соединенных друг с другом разнородных металлов (т. е., в проводнике, образованном этими двумя металлами, при воздействии определенной температуры начинает протекать электрический ток некоторой величины). Возникающая таким образом электродвижущая сила, также называется — **термоэлектродвижущая сила (ТЭДС)**.

Данное явление было открыто немецким физиком Томасом Зеебеком в 1821 г. Он заметил, что если взять два проводника из разнородных металлов, а их концы с одной и другой стороны замкнуть (спаять), то при приложении к местам спая различной температуры (один конец спая нагревать, другой конец — охлаждать) в этой замкнутой цепи можно наблюдать протекание постоянного электрического тока.

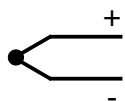


Если в замкнутой цепи протекает электрический ток, то значит в ней есть электродвижущая сила (ЭДС). Если разомкнуть один спай, то цепь будет разомкнута и ток в ней протекать не будет, но на концах разомкнутого спая будет напряжение, равное электродвижущей силе (ЭДС, точнее ТЭДС), возникающей из-за разности температур концов. Значение ТЭДС невелико (милливольты) и она всегда имеет строгую полярность, т. е. **термопара имеет «положительный» и «отрицательный» выводы**.



# ТЕРМОПАРА

## ВВЕДЕНИЕ



графическое  
изображение

Спай двух разнородных металлов (электродов) образует **чувствительный элемент**, который с одной стороны будет измерять (воспринимать) температуру — **горячий спай**, а с другой стороны выдавать соответствующий электрический сигнал (напряжение) — **холодный спай**.

**Горячий спай** (контакт) — часть термопары, которая непосредственно участвует в измерении температуры (т. е. находится в месте, где технологически требуется выполнять измерение); представляет собой реальный спай соединения двух разнородных металлов или их сплавов.

**Холодный спай** (контакт) — часть термопары, противоположная нагреваемой части, с которой «снимается» электрический сигнал - напряжение (т. е. находится вне зоны измерения и подключается устройству регистрации — вторичному элементу, каналу аналогового ввода, регистратору).

Для подключения холодного контакта термопары к регистратору используются специальные **компенсационные провода**. Чем меньше длина компенсационного провода — тем меньше привносимая к измерению погрешность.

**Номинальная статическая характеристика (НСХ)** — это функция, определяющая зависимость электродвижущей силы от температуры, т. е. показывает как меняется напряжение в зависимости от измеряемой температуры. Каждому типу термопары соответствует своя НСХ.

Графически НСХ описывается линией (график функции НСХ), где по вертикальной оси Y — напряжение, по горизонтальной оси X — температура.

Материалы подбираются таким образом, чтобы обеспечивалась наибольшая линейность НСХ (прямая линия) для требуемого диапазона измеряемых температур и чтобы при температуре в 0°C ЭДС, формируемая на противоположных концах чувствительного элемента, равнялась 0 В.

Температуру холодного спая не обязательно поддерживать, равной 0°C — все необходимые поправки вычисляет устройство регистрации (в настройках регистратора указывается тип термопары).

Стандартные таблицы (НСХ, классы допуска) для термопар приведены в **ГОСТ Р 8.585**.  
Технические требования к термопарам приведены в **ГОСТ 6616**.  
Типы термопар приведены в **ГОСТ Р 50342**.

# ТЕРМОПАРА

## ВВЕДЕНИЕ

Ключевые показатели для выбора термопары:

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

# ТЕРМОПАРА

## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ

Тип термопары определяет выбор пары металлов (или их сплавов) чувствительного элемента в зависимости от необходимого температурного диапазона.

Тип (по ГОСТ)	Материал пары	Температура, °C
A-1 (ТВР)	Вольфрам(5%)+Рений — Вольфрам(20%)+Рений W5Re — W20Re	0 ... 2200 (2500)
A-2 (ТВР)	Вольфрам(5%)+Рений — Вольфрам(20%)+Рений W5Re — W20Re	0 ... 2200 (2500)
A-3 (ТВР)	Вольфрам(5%)+Рений — Вольфрам(20%)+Рений W5Re — W20Re	0 ... 2200 (2500)
B (ТПР)	Платина(30%)+Родий — Платина(6%)+Родий Pt30Rh — Pt6Rh	300 ... 1700 (1800)
R (ТПП)	Платина(13%)+Родий — Платина Pt13Rh — Pt	0 ... 1760
S (ТПП)	Платина(10%)+Родий — Платина Pt10Rh — Pt	0 ... 1760
K (ТХА)	Хромель — Алюмель NiCr — NiAl	-200 ... 1200 (1300)
L (ТХК)	Хромель — Константан Fe — CuNi	-200 ... 600 (800)
E (ТХК)	Хромель — Константан NiCr — CuNi	-200 ... 900
N (ТНН)	Никросил — Нисил NiCrSi — NiSi	-270 ... 1200
T (ТМК)	Медь — Константан Cu — CuNi	-200 ... 350 (400)
J (ТЖК)	Железо — Константан Fe — CuNi	-200 ... 750 (900)

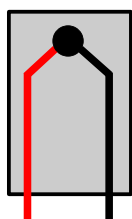
M (ТМК)	Медь — Константан Cu — CuNi	-200 ... 100
I (ТСС)	Хромель — Нисил NiCr — NiSi	0 ... 800

# ТЕРМОПАРА

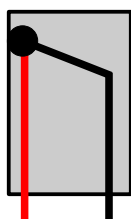
## ТИПЫ ГОРЯЧЕГО СПАЯ

В зависимости от назначения спай термопары может иметь различную конфигурацию:

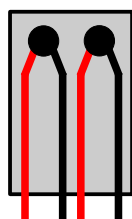
- одно- и двухэлементный
- с замыканием на защитную капсулу (корпус) и без замыкания



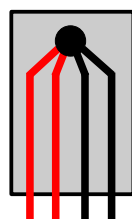
***И***



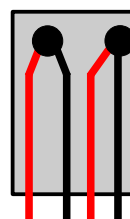
***Н***



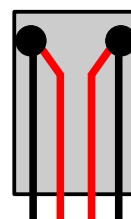
***ИИ***



***2И***



***ИН***



***НН***

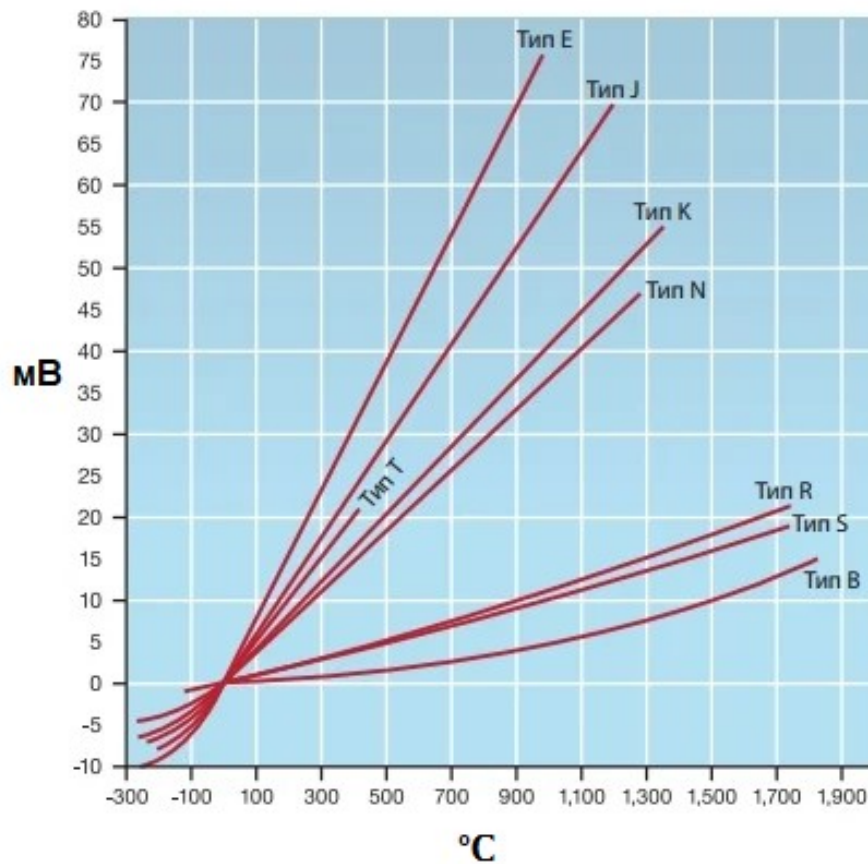
Тип спая	Описание
И	Один спай, изолированный от корпуса
Н	Один спай, замкнутый на корпус
ИИ	Два спая, изолированных от корпуса
2И	Сдвоенный спай, изолированный от корпуса
ИН	Два спая, один изолирован от корпуса, другой - замкнут
НН	Два спая, замкнутых на корпус

Заземление на корпус снижает инерционность термопары, что повышает быстродействие датчика и увеличивает точность измерений в режиме реального времени.

В некоторых моделях термопар с целью уменьшения инерционности горячий спай выносят за пределы защитной капсулы.

# ТЕРМОПАРА

## НОМИНАЛЬНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА



### Закон Зеебека

В замкнутой цепи, содержащей два спая двух разнородных проводников, возникает электрический ток, пропорциональный разности температур этих спаев.

$$I = \frac{e \cdot (T_2 - T_1)}{R_{\text{общ}}}$$

где,

$I$  — ток (мА)

$e$  — разность потенциалов, возникающая в контактной паре (ТЭДС, мВ)

$T_2$  — температура горячего спая (°C)

$T_1$  — температура холодного спая (°C)

$R_{\text{общ}}$  — суммарное сопротивление всей цепи (пары проводников и всех проводов, Ом)

ТЭДС в небольшом интервале температур:

$$e = \alpha \cdot (T_2 - T_1)$$

где,

$\alpha$  — термоэлектрическая способность пары (коэффициент ТЭДС, паспортное значение)

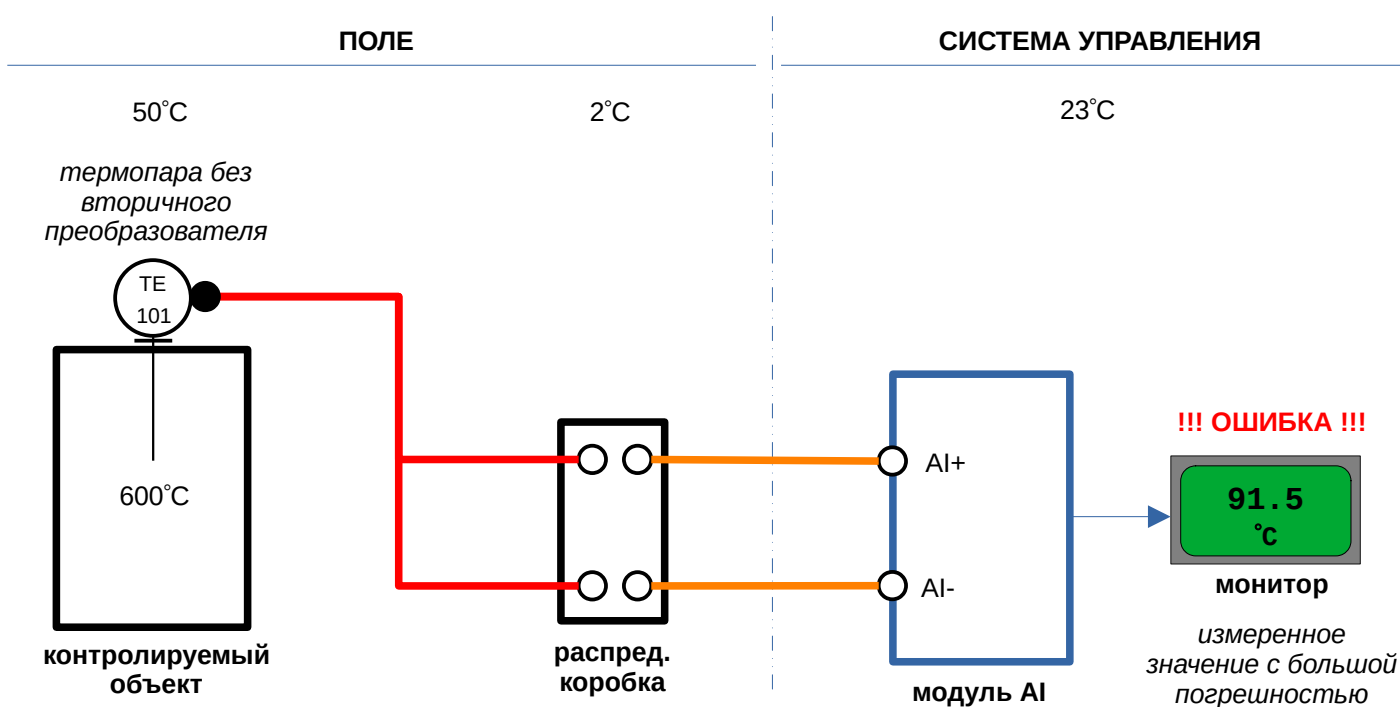
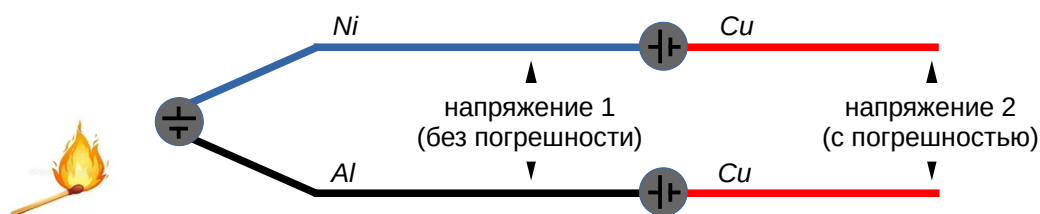
ТЭДС, более корректное выражение:

$$e = \int_{T_1}^{T_2} \alpha(T) dt$$

# ТЕРМОПАРА

## СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Каждая дополнительная точка соединения проводов из разнородных металлов образует спай, который будет генерировать свою неконтролируемую электродвижущую силу, привнося погрешность в полезный сигнал (измерение). Чем больше промежуточных соединений из разнородных металлов, тем больше будет погрешность.



Чтобы избежать погрешностей в измерении, вызванных соединениями разнородных проводников, логично предположить, что необходимо удлинить выводы термопары до клемм измерительного устройства (модуля ввода) или использовать удлинительный кабель, жилы которого выполнены точно из такого же материала, что и электроды термопары.

Бывает так, что расстояние от термопары до измерительного устройства довольно большое и реализовать выводы такой длины будет довольно сложно, тем более найти удлинительный кабель с жилами аналогичного материала.

Поэтому для удлинения выводов применяют специальный **компенсационный провод**, жилы которого выполнены материала, номинальная статическая характеристика которых в ограниченном диапазоне температур совпадает с характеристикой термопары. Но в применении компенсационного провода имеется ряд ограничений.

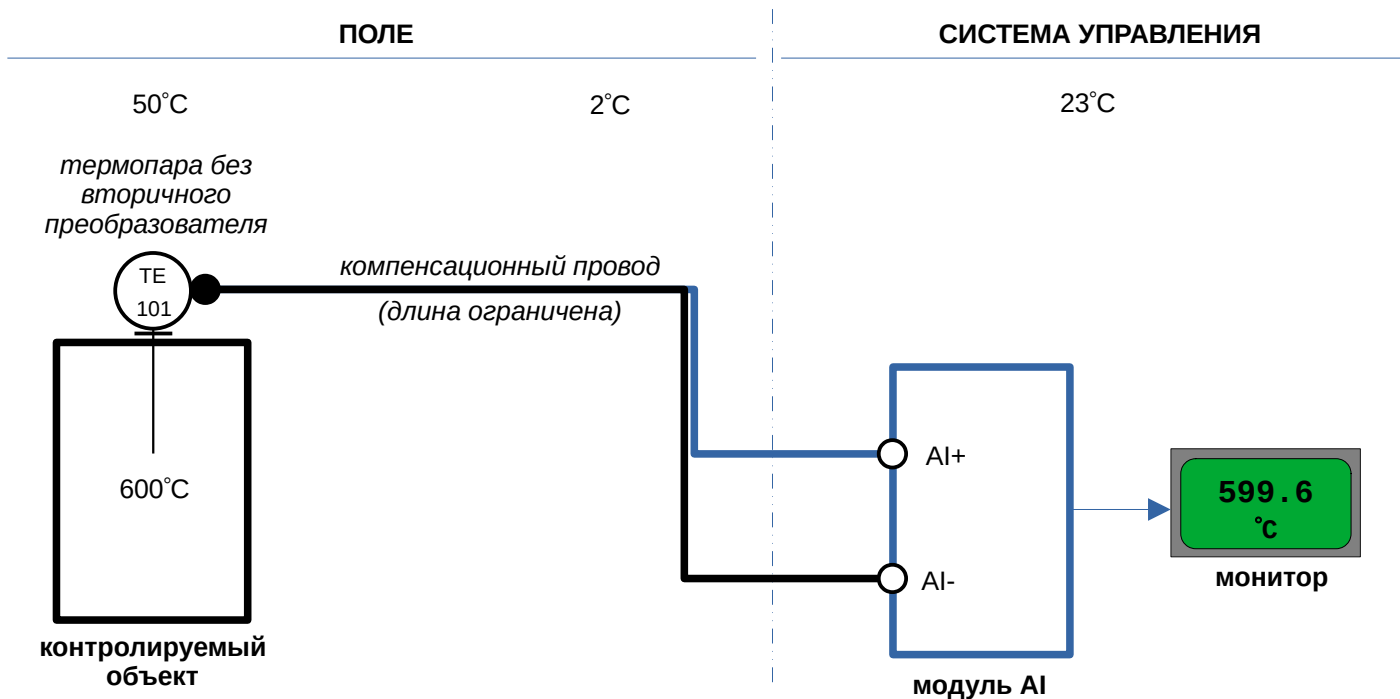


# ТЕРМОПАРА

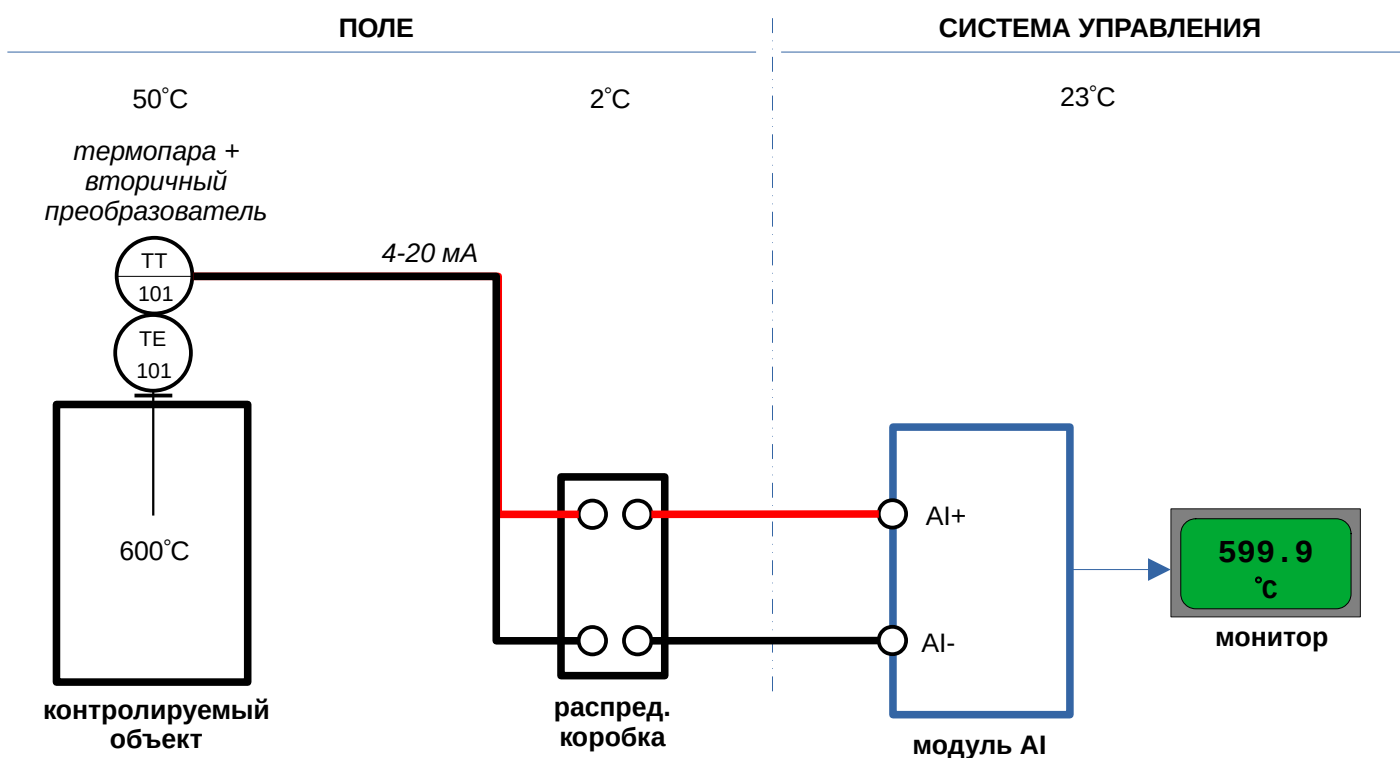
## СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Ограничения в применении компенсационного провода (указаны в его тех. паспорте):

- эксплуатация только в зоне с определенным диапазоном температур
- определенная длина



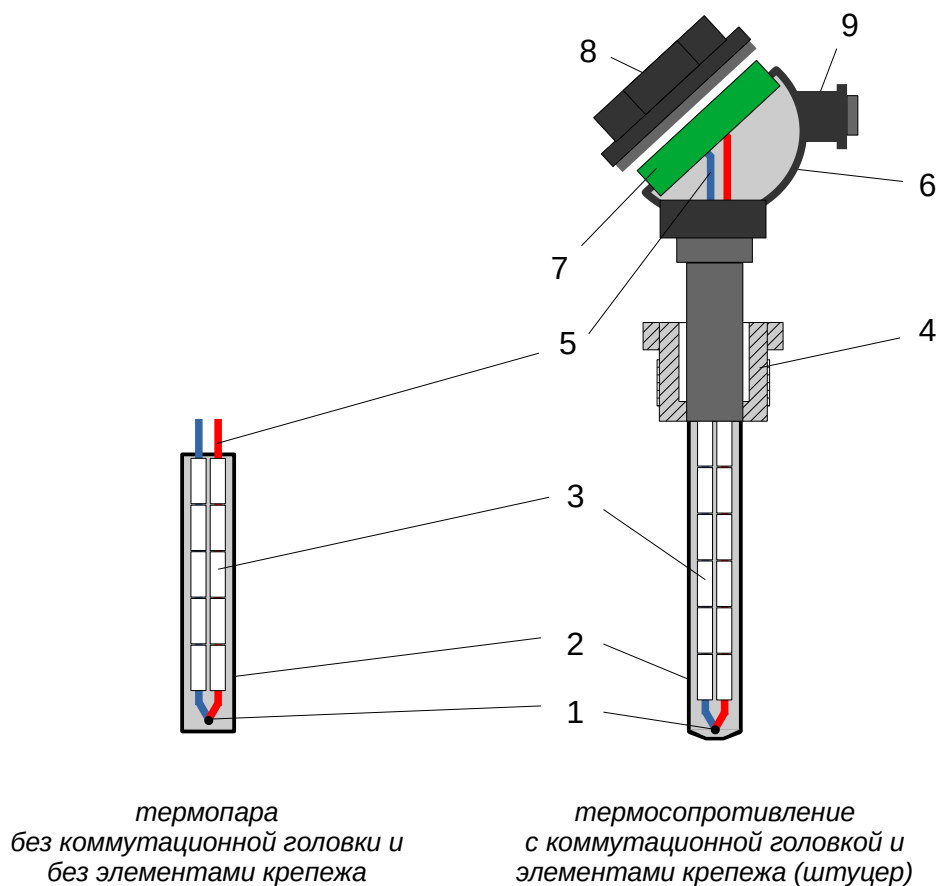
Самый наилучший способ передачи сигнала термопары — это использование вторичного преобразователя (например, преобразователь сигнала термопары в унифицированный аналоговый сигнал 4-20 мА или цифровой MODBUS RTU), который будет находиться как можно ближе к термопаре (например, установленный в коммутационную головку датчика).



# ТЕРМОПАРА

## КОНСТРУКЦИЯ

- (1) Горячий спай
- (2) Защитная оболочка (металл)
- (3) Уплотнительные диэлектрические изоляторы
- (4) Монтажная конструкция (штуцер или фланец, может отсутствовать)
- (5) Электроды
- (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



# ТЕРМОПАРА

## КОНСТРУКЦИЯ

### Защитная оболочка

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

Внутри оболочки помещаются электроды с горячим спаем, а оставшееся свободное пространство заполняется специальными диэлектрическими изоляторами и теплопроводящим наполнителем (например, термопаста, песок, эпоксидная смола, клей).

Сторона оболочки, откуда отходят электроды (холодный контакт), герметизируется клеем или эпоксидной смолой.

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



*ОВЕН ДТПХхх4  
с защитной оболочкой и компенсационным проводом, безкорпусная*



*ОВЕН ДТПХхх1  
без защитной оболочки (открытый горячий спай),  
с компенсационным проводом, безкорпусная*

# ТЕРМОПАРА

## КОНСТРУКЦИЯ

### Монтажная конструкция

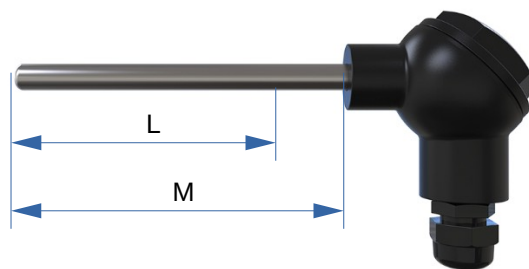
В зависимости от исполнения датчика, на защитной оболочке может присутствовать специальная монтажная конструкция, которая позволяет тем или иным образом крепить датчик на контролируемом объекте (**монтаж, присоединение к технологическому процессу**).

Виды монтажной конструкции:

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

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

**Длина погружаемой части (L)** — максимально возможная глубина погружения термопары (защитной оболочки) в контролируемую среду с температурой, верхний предел которой не нарушит работоспособность датчика.



термопара  
с коммутационной головкой и  
без монтажной конструкции

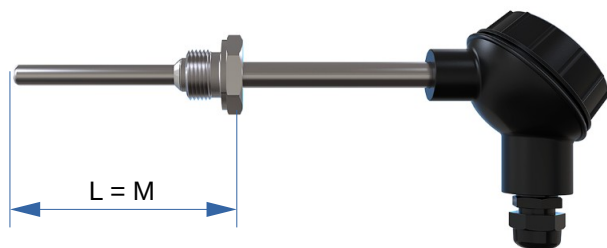
Для термопар с монтажной конструкцией:  $L = M$

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

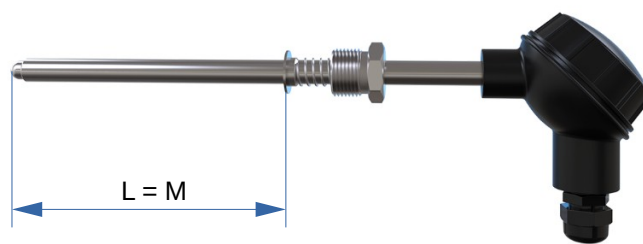
# ТЕРМОПАРА

## КОНСТРУКЦИЯ

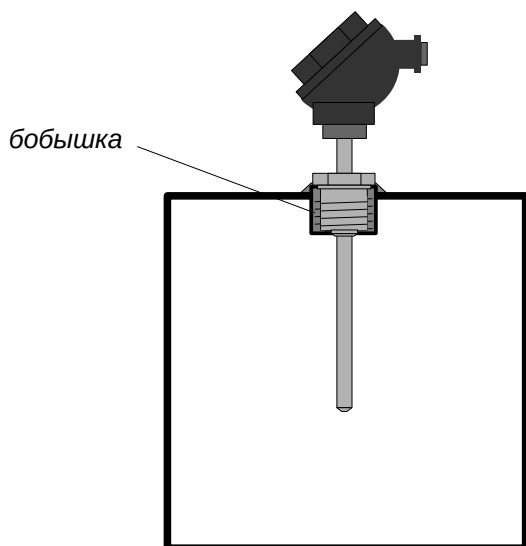
### Штуцер



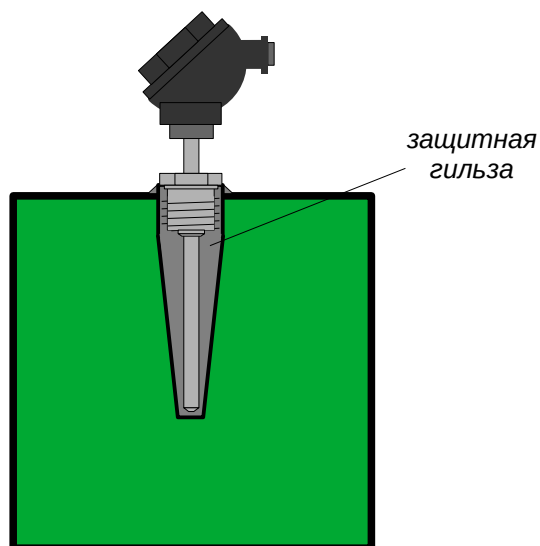
*неподвижный штуцер*



*подвижный штуцер*



*монтаж  
в приварную  
бобышку  
с внутренней резьбой*

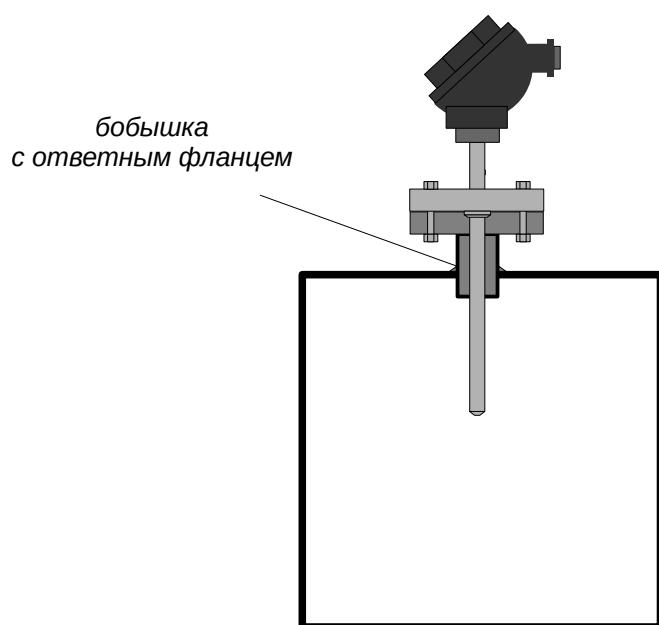
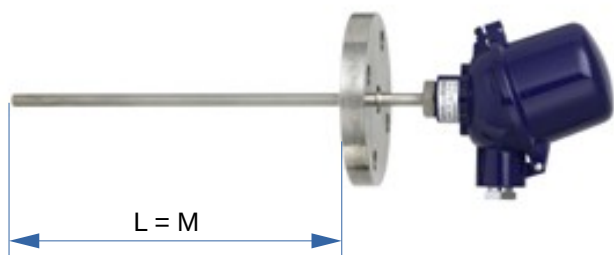


*монтаж  
в приварную  
защитную гильзу  
с внутренней резьбой*

# ТЕРМОПАРА

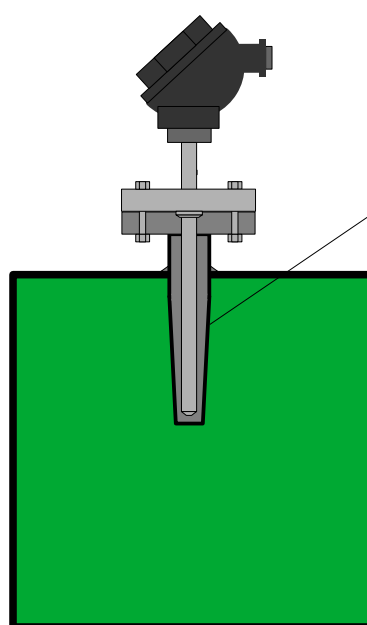
## КОНСТРУКЦИЯ

### Фланец



бобышка  
с ответным фланцем

монтаж  
в приварную  
бобышку  
с ответным фланцем



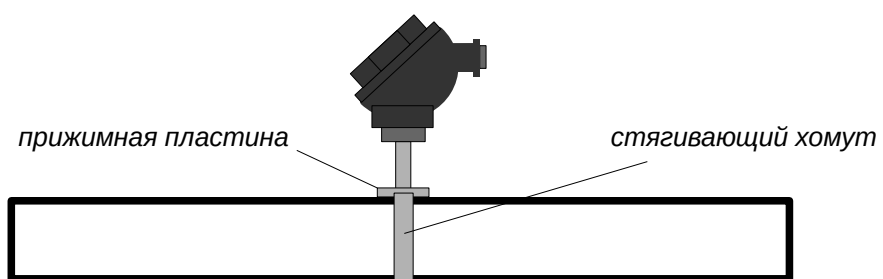
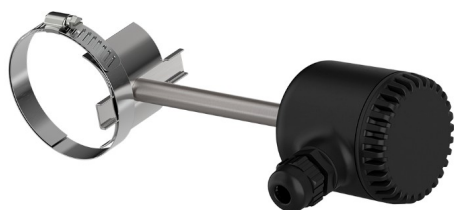
защитная гильза  
с ответным фланцем

монтаж  
в приварную  
защитную гильзу  
с ответным фланцем

# ТЕРМОПАРА

## КОНСТРУКЦИЯ

### Хомут



# ТЕРМОПАРА

## ТРЕБОВАНИЯ К МОНТАЖУ

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

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 — термопары монтируют в специальных защитных оправах (**защитная гильза, термокарман**). Гильза изолирует термопару (ее оболочку) от непосредственного контакта с измеряемой средой и позволяет обслуживать датчик (например, замена, ремонт) без остановки технологического процесса.

Длина защитной гильзы должна соответствовать длине монтажной части датчика.

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

Конец погружаемой части термопары 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 термопара (и защитная гильза, при ее наличии) как можно меньше загромождала путь для распространения измеряемой среды.

Прижимная пластина поверхностных термопар (крепится 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 датчика кабельный ввод должен быть обращен вниз.



защитная гильза (термокарман)  
под штуцер



защитная гильза (термокарман)  
под фланец

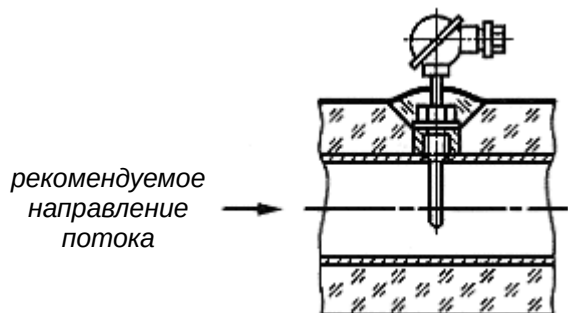


# ТЕРМОПАРА

## ТРЕБОВАНИЯ К МОНТАЖУ

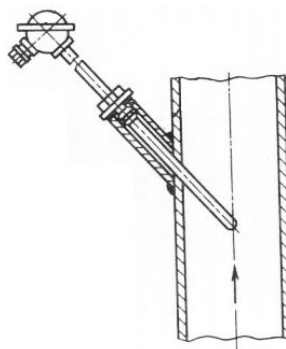
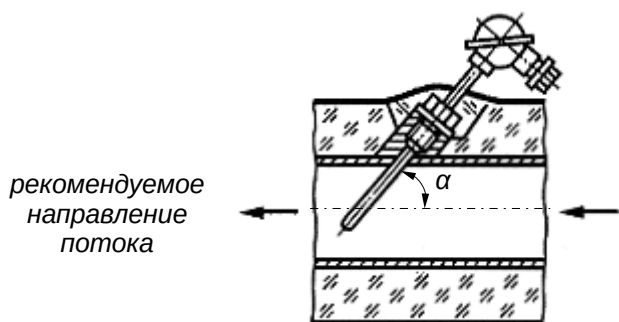
### Тип монтажа «А»:

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



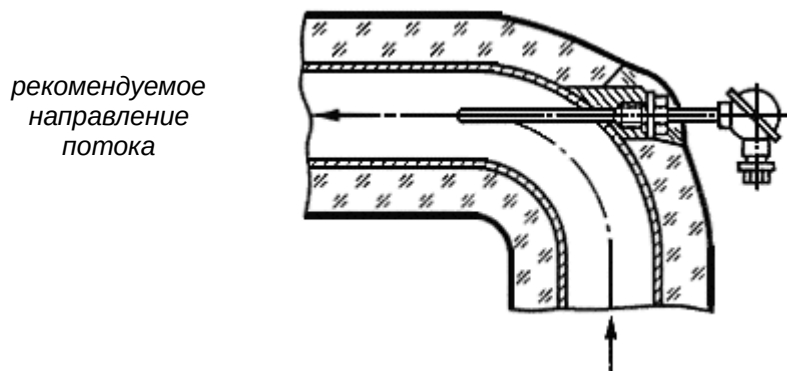
### Тип монтажа «Б»:

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



### Тип монтажа «В»:

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

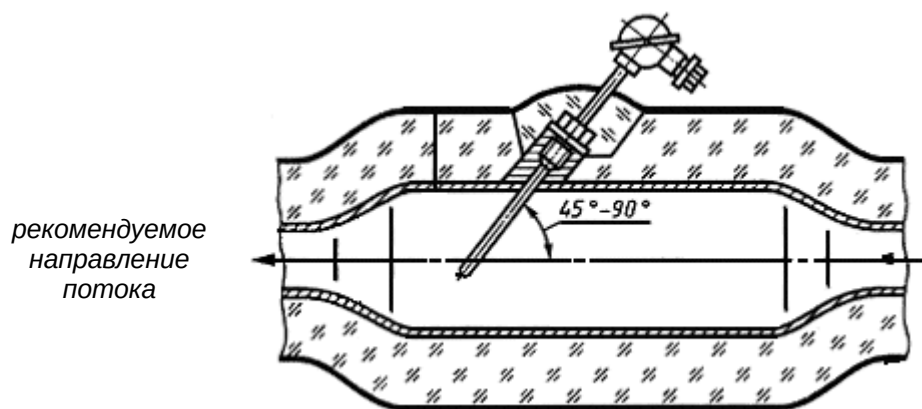


# ТЕРМОПАРА

## ТРЕБОВАНИЯ К МОНТАЖУ

### *Тип монтажа «Г»:*

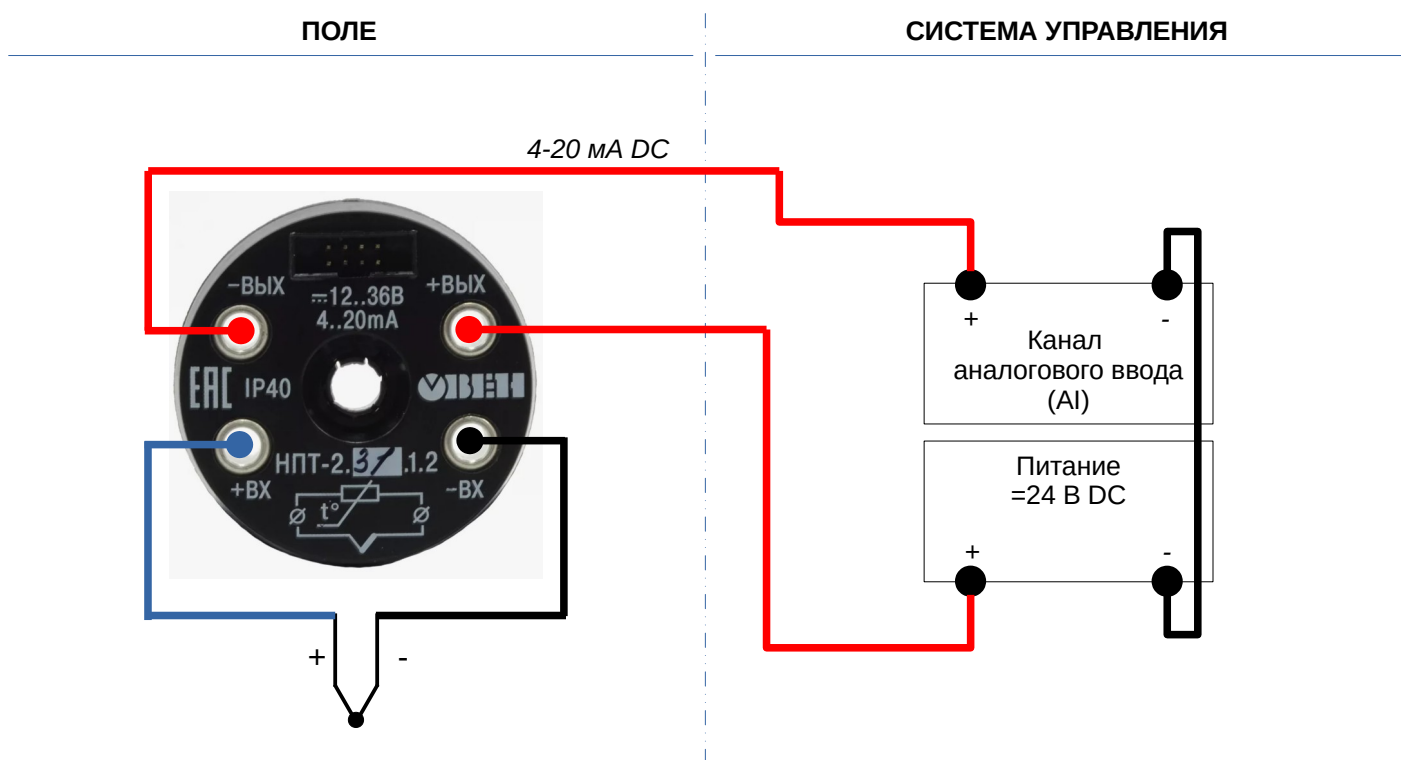
В трубопроводах диаметром 50мм и менее датчик необходимо монтировать в специальных трубных расширителях, чтобы обеспечить требуемую минимальную длину погружения. Для трубопроводов диаметром до 25мм, следует применять датчики специальной конструкции (с короткой погружной частью).



# ТЕРМОПАРА

## ВТОРИЧНЫЙ / НОРМИРУЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Самый наилучший способ передачи сигнала термопары — это использование вторичного преобразователя (например, преобразователь сигнала термопары в унифицированный аналоговый сигнал 4-20 мА или цифровой MODBUS RTU), который будет находиться как можно ближе к термопаре (например, установленный в коммутационную головку датчика).



# ТЕРМОПАРА

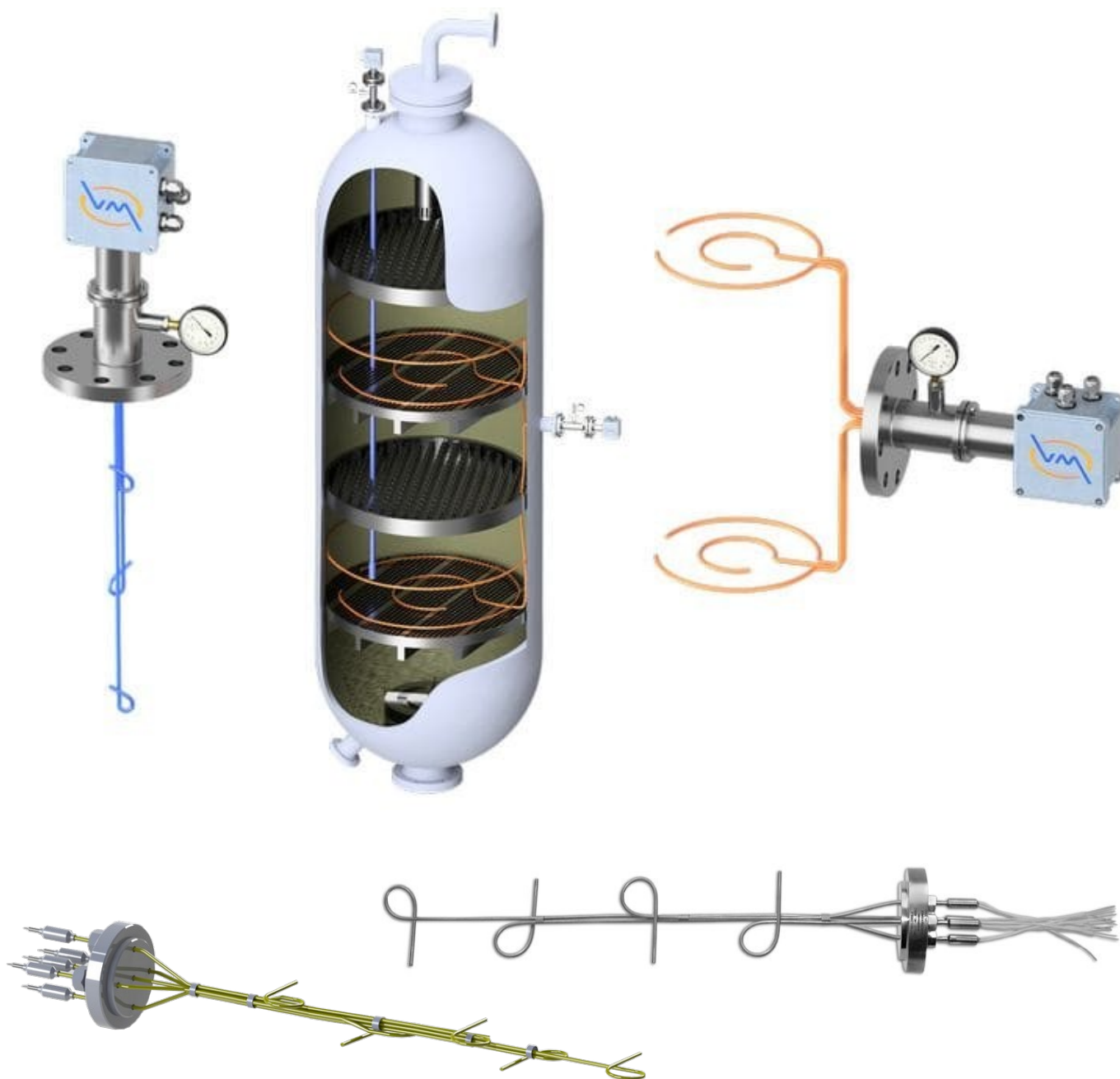
## МНОГОТОЧЕЧНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Часто требуется измерение температуры в нескольких точках одновременно. Данную задачу решают **многоточечные термопары (многозонные)**: они фиксируют данные о температуре вдоль всей оси погружаемой части конструкции.

Необходимость многоточечного измерения часто возникает в технологических процессах химических и нефтегазовых отраслей: например, когда требуется получать информацию о распределении температуры в реакторах, фракционных колоннах и в других емкостях.

Многоточечные термопары - экономичные и простые в обслуживании.

Количество точек измерения может достигать до 60. При том используется только одна колба (погружная часть) и, соответственно, один ввод в контролируемый объект.



# ТЕРМОПАРА

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

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

Перед тем, как приступить к монтажу термопары, необходимо проверить:

- правильность выбора типа датчика
- 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)

# ТЕРМОПАРА

## ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

### Преимущества

- + Высокая точность измерения (до  $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ )
- + Большой диапазон измерения температуры (от  $-250$  до  $2500^{\circ}\text{C}$ );  
измерение высоких температур
- + Высокая надежность
- + Простота в обслуживании
- + Невысокая стоимость изготовления

### Недостатки

- Необходимо учитывать температуру холодного контакта (спая) для компенсации
- На результат измерения влияет неоднородность внешних проводов;  
требуется специальный компенсационный провод
- При длительной эксплуатации в условиях перепадов температур ухудшается линейность НСХ