

## Условия применения термопар

WIKA типовой лист IN 00.23

В промышленных электронных средствах измерения температуры обычно используются два вида чувствительных элементов:

- Термометры сопротивления (RTD)
- Термопары (TC)

Каждый тип чувствительных элементов имеет свои преимущества и недостатки. Обычно используемые термометры сопротивления Pt100 предназначены для измерения в низких и средних диапазонах температуры (-200 ... +600 °C). Однако в более высоком диапазоне (до 1700 °C) преимуществами имеют термопары (за некоторыми исключениями).

Некоторые модели термопар способны измерять даже более высокие температуры (вольфрам-рений, золото-платина или платина-палладий). Эти специфические виды термопар в данном документе не рассматриваются.

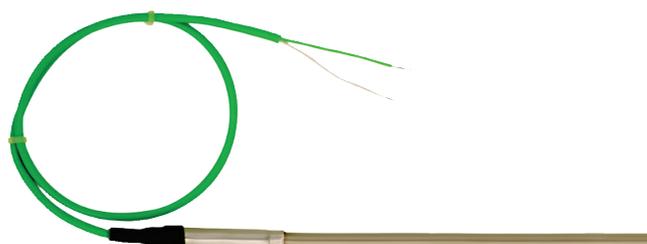
В европейских странах для измерения низких и средних температур широко применяются термометры сопротивления Pt100, однако в Северной Америке большей популярностью пользуются термопары. Но бывают и исключения, так например, нефтеперерабатывающий завод, строящийся в Европе, может оборудоваться приборами измерения температуры, отвечающим североамериканским стандартам, если этот завод проектировался в США. Возможна и обратная ситуация.

Другим критерием, говорящим в пользу выбора термопары, является минимально возможный диаметр термопары с защитной оболочкой (см. раздел "Термопары в защитной оболочке"). Термопары с диаметрами 0,25 мм, 0,5 мм и 1 мм отличаются крайне малым временем отклика. В целом, скорость отклика термопар меньше, чем у термометров сопротивления.

Если термометр встроен в (массивную) защитную гильзу, время отклика чувствительных элементов обеих групп становятся приблизительно одинаковыми. С учетом массы защитной гильзы ее теплопроводность и изоляция между измеряемой средой и чувствительным элементом в этом случае сводят на нет все преимущества быстрого отклика термопары. Хотя и в этом случае измерение температуры будет правильным, но для получения окончательного результата могут потребоваться десятки минут.



**Прямая термопара с металлической защитной гильзой**



**Кабельная термопара, модель TC40  
(Конструкция: защищенный измерительный кабель (МИ-кабель))**



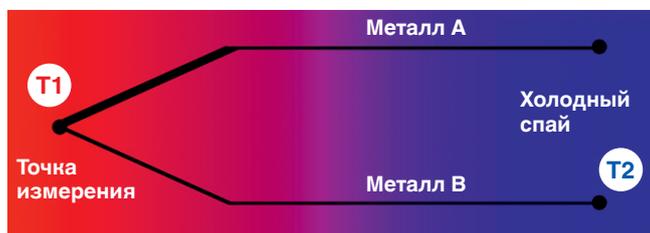
**Образцы защитных гильз**

## Основные характеристики

Термопары состоят из двух проводников из различных металлов, соединенных на одном конце, при этом точка соединения является точкой измерения.



Когда точка измерения нагревается, на концах выводов (холодный спай) измеряется напряжение; оно отображает температуру в точке измерения. (Термоэлектрический эффект также называется эффектом Зеебека.)



Это напряжение (ЭДС = электродвижущая сила) возникает благодаря различной плотности электронов в двух (разнородных) металлических проводниках и разнице температуры в точке измерения и в точке холодного спая.

Фактически термопара измеряет не абсолютную температуру, а разницу температур между:

- **T1**: Точкой измерения (горячий спай)
- и
- **T2**: Холодной точкой (холодный спай)

Поскольку напряжение часто измеряется при температуре окружающей среды, показываемое значение напряжения будет занижено на значение напряжения, соответствующее температуре окружающей среды. Для того, чтобы получить значение абсолютной температуры измерительной точки применяется так называемая "компенсация холодного спая".

Раньше (в калибровочных лабораториях этот метод используется по сей день) такая компенсация осуществлялась путем погружения соединения на холодном конце термопары и проводов вольтметра в ледяную ванну.

В современном оборудовании с входом для подключения термопары (преобразователи, портативные измерительные приборы или устройства для монтажа в панели и т. д.) функция электронной компенсации холодного спая уже встроена в электрические цепи прибора.

Каждый металл характеризуется определенной электроотрицательностью. (Электроотрицательность – это склонность атомов оттягивать к себе электроны других атомов)

Для получения максимально возможных термоэлектрических напряжений в термопарах используются специально подобранные пары металлов, имеющих наиболее отличающиеся друг от друга значения электроотрицательности. Такие пары металлов имеют определенные ограничения, например, обусловленные максимальной рабочей температурой термопары.

### Требования к термопарам регулируются следующими стандартами

МЭК 60584-1: Термопары: основные и точностные значения термоэлектрических напряжений  
МЭК 60584-3: Термопары: Кабели термопары и компенсационные кабели

### ASTM E230:

Таблицы стандартных технических характеристик и термоэлектродвижущей силы (ЭДС) для стандартных термопар.

## Термоэлектрическое напряжение

Эталонная температура: 0 °C

Температура в °C	Термопара							
	Тип К	Тип J	Тип N	Тип E	Тип T	Тип S	Тип R	Тип B
-200					-5,603			
-180					-5,261			
-160					-4,865			
-140					-4,419			
-120					-3,923			
-100					-3,379			
-80					-2,788			
-60					-2,153			
-40	-1,527	-1,961	-1,023	-2,255	-1,475			
-20	-0,777	-0,995	-0,518	-1,152	-0,757			
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
20	0,798	1,019	0,525	1,192	0,790	0,113	0,111	
40	1,612	2,059	1,065	2,420	1,612	0,235	0,232	
60	2,436	3,116	1,619	3,685	2,467	0,365	0,363	
80	3,267	4,187	2,189	4,985	3,358	0,502	0,501	
100	4,096	5,269	2,774	6,319	4,279	0,646	0,647	
150	6,138	8,010	4,302	9,789	6,704	1,029	1,041	
200	8,138	10,779	5,913	13,421	9,288	1,441	1,469	
250	10,153	13,555	7,597	17,181	12,013	1,874	1,923	
300	12,209	16,327	9,341	21,036	14,862	2,323	2,401	
350	14,293	19,090	11,136	24,964	17,819	2,786	2,896	
370	15,133	20,194	11,867	26,552	19,030	2,974	3,099	
400	16,397	21,848	12,974	28,946		3,259	3,408	
450	18,516	24,610	14,846	32,965		3,742	3,933	
500	20,644	27,393	16,748	37,005		4,233	4,471	
550	22,776	30,216	18,672	41,053		4,732	5,021	
600	24,905	33,102	20,613	45,093		5,239	5,583	1,792
650	27,025	36,071	22,566	49,116		5,753	6,041	2,101
700	29,129	39,132	24,527	53,112		6,275	6,743	2,431
750	31,213	42,281	26,491	57,080		6,806	7,340	2,782
760	31,628	42,919	26,883	57,970		6,913	7,461	2,854
800	33,275		28,455	61,017		7,345	7,950	3,154
850	35,313		30,416	64,922		7,893	8,571	3,546
870	36,121		31,199	66,473		8,114	8,823	3,708
900	37,326		32,371	68,787		8,449	9,205	3,957
950	39,314		34,319			9,014	9,850	4,387
1000	41,276		36,256			9,587	10,506	4,834
1050	43,211		38,179			10,168	11,173	5,299
1100	45,119		40,087			10,757	11,850	5,780
1150	46,995		41,976			11,351	12,535	6,276
1200	48,838		43,846			11,951	13,228	6,786
1250	50,644		45,694			12,554	13,926	7,311
1260	51,000		46,060			12,675	14,066	7,417
1300						13,159	14,629	7,848
1350						13,766	15,334	8,397
1400						14,373	16,040	8,956
1450						14,978	16,746	9,524
1480						15,341	17,169	9,868
1500						15,582	17,451	10,099

Продолжение на следующей странице

Температура в °С	Термопара							
	Тип К	Тип J	Тип N	Тип E	Тип T	Тип S	Тип R	Тип B
1550						16,182	18,152	10,679
1600						16,777	18,849	11,263
1650								11,850
1700								12,430

Условные обозначения:

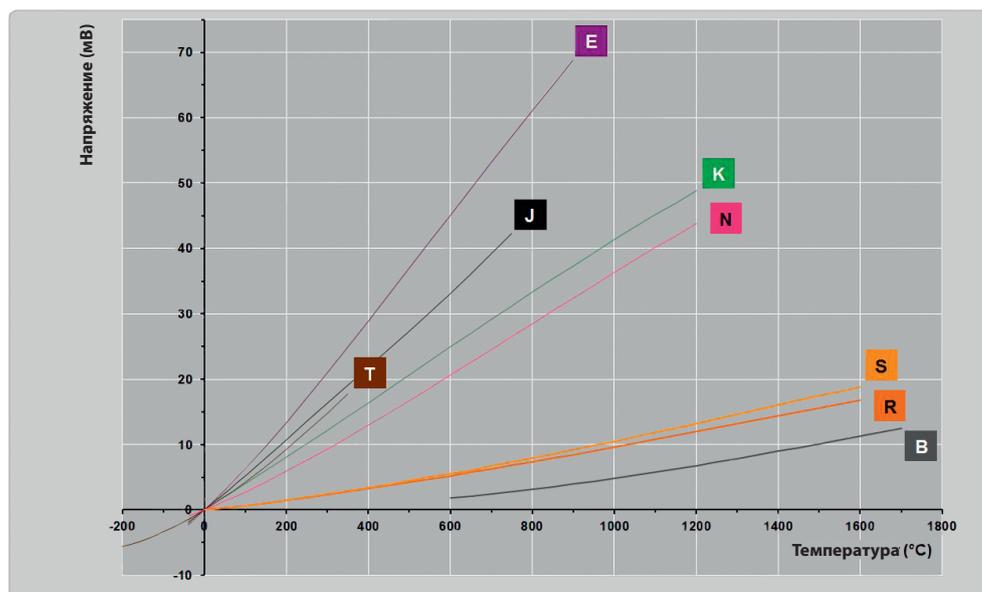
Черный: МЭК 60584-1 и ASTM E230

Синий: только МЭК 60584-1

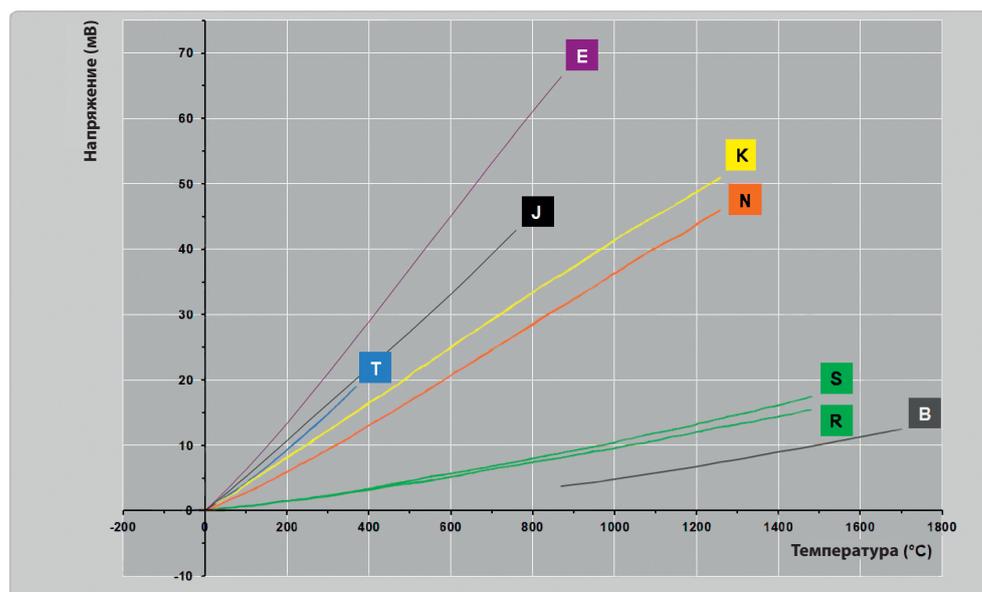
Красный: только ASTM E230

## Кривые термоэлектрического напряжения

### ■ МЭК 60584-1



### ■ ASTM E230



На графиках приведены кривые, соответствующие температурным диапазонам согласно МЭК 60584-2 / ASTM E230. Вне данных температурных диапазонов допустимые погрешности не стандартизируются.

## Ограничения на условия эксплуатации и погрешности термопар (МЭК 60584, ASTM E230)

В следующей таблице приведены допустимые значения погрешности по МЭК 60584-1, включая значения погрешностей по стандарту ASTM E230, широко используемому в Северной Америке:

**Значения погрешности термопар в соответствии с МЭК 60584-1 / ASTM E230 (эталонная температура 0 °C)**

Тип	Термопара	Величина допуска	Класс	Диапазон температур	Величина допуска
<b>K N</b>	NiCr-NiAl (NiCr-Ni) NiCrSi-NiSi	МЭК 60584-1	1	-40 ... +1000 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ или $0,0040 \cdot  t $ <sup>1) 2)</sup>
			2	-40 ... +1200 °C	$\pm 2,5 \text{ °C}$ или $0,0075 \cdot  t $
		ASTM E230	специальный	0 ... +1260 °C	$\pm 1,1 \text{ °C}$ или $\pm 0,4 \%$
			стандартный	0 ... +1260 °C	$\pm 2,2 \text{ °C}$ или $\pm 0,75 \%$
<b>J</b>	Fe-CuNi	МЭК 60584-1	1	-40 ... +750 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ или $0,0040 \cdot  t $
			2	-40 ... +750 °C	$\pm 2,5 \text{ °C}$ или $0,0075 \cdot  t $
		ASTM E230	специальный	0 ... +760 °C	$\pm 1,1 \text{ °C}$ или $\pm 0,4 \%$
			стандартный	0 ... +760 °C	$\pm 2,2 \text{ °C}$ или $\pm 0,75 \%$
<b>E</b>	NiCr-CuNi	МЭК 60584-1	1	-40 ... +800 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ или $0,0040 \cdot  t $
			2	-40 ... +900 °C	$\pm 2,5 \text{ °C}$ или $0,0075 \cdot  t $
		ASTM E230	специальный	0 ... +870 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ или $\pm 0,4 \%$
			стандартный	0 ... +870 °C	$\pm 1,7 \text{ °C}$ или $\pm 0,5 \%$
<b>T</b>	Cu-CuNi	МЭК 60584-1	1	-40 ... +350 °C	$\pm 0,5 \text{ °C}$ или $0,0040 \cdot  t $
			2	-40 ... +350 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ или $0,0075 \cdot  t $
			3	-200 ... +40 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ или $0,015 \cdot  t $
		ASTM E230	специальный	0 ... +370 °C	$\pm 0,5 \text{ °C}$ или $\pm 0,4 \%$
			стандартный	-200 ... 0 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ или $\pm 1,5 \%$
			стандартный	0 ... +370 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ или $\pm 0,75 \%$
<b>R S</b>	Pt13%Rh-Pt Pt10%Rh-Pt	МЭК 60584-1	1	0 ... +1600 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ или $\pm [1 + 0,003 (t - 1100)] \text{ °C}$
			2	0 ... +1600 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ или $\pm 0,0025 \cdot  t $
		ASTM E230	специальный	0 ... +1480 °C	$\pm 0,6 \text{ °C}$ или $\pm 0,1 \%$
			стандартный	0 ... +1480 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ или $\pm 0,25 \%$
<b>B</b>	Pt30%Rh-Pt6%Rh	МЭК 60584-1	2	+600 ... +1700 °C	$\pm 0,0025 \cdot  t $
			3	+600 ... +1700 °C	$\pm 4,0 \text{ °C}$ или $\pm 0,005 \cdot  t $
		ASTM E230	специальный	-	-
			стандартный	+870 ... +1700 °C	$\pm 0,5 \%$

1)  $|t|$  = значение температуры в °C по модулю (без учета знака)

2) Применяется значение, которое больше

В Европе и Северной Америке термопары типа K обозначаются по-разному:

Европа: NiCr-NiAl или NiCr-Ni

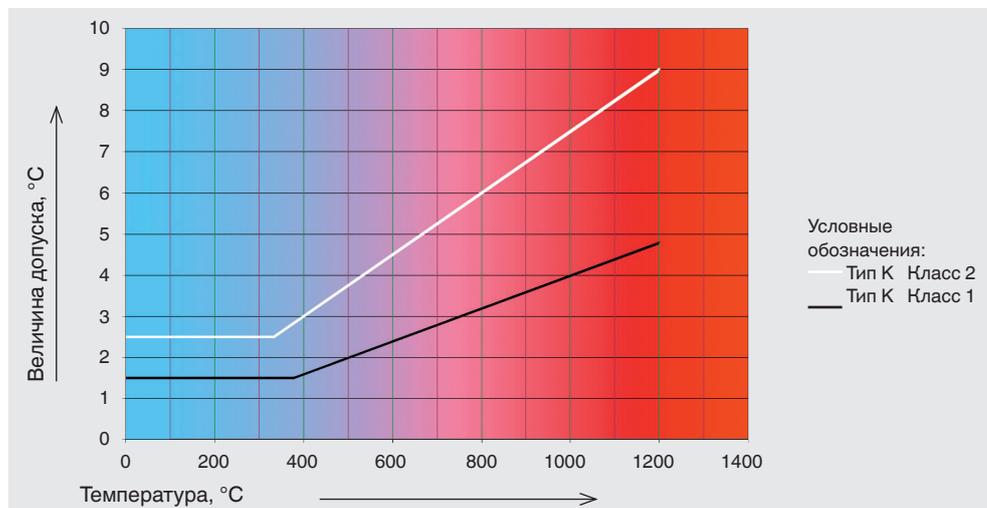
Северная Америка: Ni-Cr / Ni-Al

Физической разницы между ними нет, однако их названия отличаются по причине исторических традиций

### Типы R, S и B

Отсутствует в исполнении с МИ-кабелем в классе 1 в соответствии с МЭК 60584 или "Специальный" в соответствии с ASTM E230

При определении погрешности термопар за основу взята температура холодного спая, равная 0 °С. При использовании компенсационного или термоэлектродного кабеля необходимо учитывать дополнительную погрешность измерения.



Пример:

Значение погрешности для термопары типа К, классов точности 1 и 2

## Условия применения термопар

### ■ Термопары из неблагородных металлов

#### Тип К

+ ВЫВОД	- ВЫВОД
NiCr	- NiAl
Никель-Хром	- Никель-алюминий (ферромагнетик)

Термопары NiCr-NiAl предназначены для эксплуатации в окислительной среде или атмосфере инертных газов при температуре до 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C) с проводником максимального размера.

Термопары требуют защиты от сернистых сред.

Поскольку данные термопары менее подвержены окислению по сравнению с термопарами из других материалов, они, как правило, используются для эксплуатации при температурах выше 550 °C до максимального рабочего давления термопары.

#### Тип J

+ ВЫВОД	- ВЫВОД
Fe	- CuNi
Железо (ферромагнетик)	- Медь-Никель

Термопары Fe-CuNi предназначены для эксплуатации в условиях вакуума, в окислительной и восстановительной газовых средах или атмосфере инертных газов. Эти устройства применяются для измерения температур до 750 °C (ASTM E230: 760 °C) с проводником максимального размера.

#### Тип N

+ ВЫВОД	- ВЫВОД
NiCrSi	- NiSi
Никель-Хром-Кремний	- Никель-Кремний

Термопары NiCrSi-NiSi предназначены для эксплуатации в окислительных средах, атмосфере инертных газов или сухих восстановительных газовых средах с температурой до 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C).

Эти термопары требуют защиты от сернистых сред.

Данные термопары имеют очень хорошую точность при измерении высокой температуры. Напряжение источника (электродвижущая сила) и диапазон температур почти такой же, как у термопар типа К. Эти устройства предназначены для эксплуатации в условиях, требующих увеличенного срока службы и более высокой стабильности параметров.

#### Тип E

+ ВЫВОД	- ВЫВОД
NiCr	- CuNi
Никель-Хром	- Медь-Никель

Термопары NiCr-CuNi предназначены для эксплуатации в окислительных средах или атмосфере инертных газов с температурой до 900 °C (ASTM E230: 870 °C) с проводником максимального размера. Среди всех наиболее распространенных термопар тип E создает самое высокое напряжение (ЭДС) на °C.

#### Тип T

+ ВЫВОД	- ВЫВОД
Cu	- CuNi
Медь	- Медь-Никель

Термопары Cu-CuNi подходят для эксплуатации при температуре ниже 0 °C и имеют верхний температурный предел 350 °C (ASTM E230: 370 °C), они могут использоваться в окислительных, восстановительных средах и атмосфере инертных газов. Данные термопары не подвержены коррозии в условиях высокой влажности.

### ■ Термопары из благородных металлов

#### Тип S

+ ВЫВОД	- ВЫВОД
Pt10%Rh	- Pt
Платина-10% Родий	- Платина

Термопары типа S предназначены для непрерывной эксплуатации в окислительных средах или атмосфере инертных газов с температурой до 1600°C. Следует опасаться увеличения хрупкости термопары, вызванной загрязнением.

#### Тип R

+ ВЫВОД	- ВЫВОД
Pt13%Rh	- Pt
Платина-13% Родий	- Платина

Термопары типа R предназначены для непрерывной эксплуатации в окислительных средах или атмосфере инертных газов с температурой до 1600°C. Следует опасаться увеличения хрупкости термопары, вызванной загрязнением.

#### Тип B

+ ВЫВОД	- ВЫВОД
Pt30%Rh	- Pt6%Rh
Платина-30% Родий	- Платина-6% Родий

Термопары типа B предназначены для непрерывной эксплуатации в окислительных средах или атмосфере инертных газов, а также для кратковременной эксплуатации в условиях вакуума при температурах до 1700 °C. Следует опасаться увеличения хрупкости термопары, вызванной загрязнением.

Термопары типов R, S и B обычно устанавливаются в керамической защитной гильзе. Для металлических защитных гильз или защитных трубок требуется внутренняя герметичная защитная трубка. Термопары из благородных металлов критичны к загрязнению. Настоятельно рекомендуется помещать данные термопары в керамическую оболочку.

## Рекомендованный верхний предел температуры

(Непрерывная эксплуатация)

- Термопары в защитной оболочке (см. также таблицу "Термоэлектрическое напряжение согласно МЭК 60584-1")

Тип термопары	Рекомендованный верхний предел температуры в °C							
	Диаметр с оболочкой в мм							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,5	6,0	8,0
K	700	700	920	920	1070	1100	1100	1100
J	260	260	440	440	520	620	720	720
N	700	700	920	920	1070	1100	1100	1100
E	300	300	510	510	650	730	820	820
T	260	260	260	260	315	350	350	350

Материал оболочки: Inconel 2.4816 (Inconel 600)

Технические характеристики приведены для оптимальных лабораторных условий (воздух не содержит вредных газов)  
Поставляются другие материалы с различными температурными пределами.

- Прямая термопара (см. также таблицу "Термоэлектрическое напряжение в соответствии с МЭК 60584-1")

Тип термопары	Рекомендованный верхний предел температуры в °C			
	Диаметр проводника в мм			
	0,35	0,5	1,0	3,0
K	700	700	800	1000
J	400	400	600	700
N	700	700	800	1000
E	400	400	600	700
T	200	200	300	350
S	1300	1300	-	-
R	1300	1300	-	-
B	1500	1500	-	-

Технические характеристики приведены для оптимальных лабораторных условий (воздух не содержит вредных газов)

- Защищенные термопары (см. также таблицу "Рекомендованные верхние пределы температуры для защищенных термопар" в соответствии с ASTM E230)

Тип термопары	Верхний предел температуры для различных размеров (AWG), °C					
	Калибр AWG 30 0,25 мм [0,010 дюйма]	Калибр AWG 28 0,33 мм [0,013 дюйма]	Калибр AWG 24 0,51 мм [0,020 дюйма]	Калибр AWG 20 0,81 мм [0,032 дюйма]	Калибр AWG 14 1,63 мм [0,064 дюйма]	Калибр AWG 8 3,25 мм [0,128 дюйма]
T	150	200	200	260	370	
J	320	370	370	480	590	760
E	370	430	430	540	650	870
K и N	760	870	870	980	1090	1260
R и S			1480			
B			1700			

### Примечание:

Указанные максимальные значения рабочей температуры приведены для оптимальных условий окружающей среды. Максимальная рабочая температура защитной гильзы часто бывает гораздо ниже температуры термопары!

- Термопары в оболочке (см. также таблицу "Рекомендованные верхние пределы температуры для термопар в оболочке" в соответствии с ASTM E608/E608M)

Номинальный диаметр защитной оболочки		Верхний предел температуры для различных диаметров защитной оболочки, °C			
		Тип термопары			
мм	дюйм	T	J	E	K и N
0,5	0,020	260	260	300	700
-	0,032	260	260	300	700
1,0	0,040	260	260	300	700
1,5	0,062	260	440	510	920
2,0	-	260	440	510	920
-	0,093	260	480	580	1000
3,0	0,125	315	520	650	1070
4,5	0,188	370	620	730	1150
6,0	0,250	370	720	820	1150
8,0	0,375	370	720	820	1150

**Примечание:**

Указанные максимальные значения рабочей температуры приведены для оптимальных условий окружающей среды. Максимальная рабочая температура защитной гильзы часто бывает гораздо ниже температуры термопары!

## Возможные погрешности измерения

### Основные факторы, влияющие на долговременную стабильность параметров термопар

#### Влияние старения/загрязнения

- Окислительные процессы в термопарах, не имеющих надлежащей защиты (с "оголенными" выводами), приводят к искажению характеристических кривых.
- Проникновение атомов инородных веществ (отравляющих) в основной материал, приводит к изменению состава первоначальных сплавов и искажению характеристических кривых.
- Контакт с водородом приводит к охрупчиванию термопар.

Термопары из благородных металлов подвержены старению, что также приводит к изменению их температурных/термоэлектрических кривых. Термопары из благородных металлов PtRh-Pt типов R и S практически не подвержены старению в диапазоне до 1400 °C. Однако они очень чувствительны к загрязнению. Кремний и фосфор быстро разрушают платину. Кремний может высвобождаться из изолирующих керамических деталей даже в среде со слабо выраженными восстановительными свойствами. В результате восстановления SiO<sub>2</sub> до кремния происходит загрязнение платинового вывода термопары. Это может стать причиной погрешности в 10 °C и более, если объемное содержание кремния находится в диапазоне нескольких частей на миллион.

Благодаря лучшему соотношению общего объема материала и поверхности, подверженной отравлению, долговременная стабильность термопар из благородных металлов возрастает при увеличении диаметра проводника термопары. Именно поэтому мы разработали чувствительные элементы типов S, R и B с диаметрами проводников Ø 0,35 мм или Ø 0,5 мм (0,015" или 0,020"). Но: сечение проводников термопар Ø 0,5 мм (0,020") в два раза превышает сечение проводов Ø 0,35 мм (0,015"), поэтому они в два раза дороже. Однако эти расходы окупаются, поскольку благодаря большому сроку службы термопары снижаются расходы на техническое обслуживание (простой предприятия).

Никелевый вывод термопары типа K часто повреждается сернистыми образованиями, присутствующими в отходящих газах. Термопары типов J и T подвержены незначительному старению, так как выводы из чистого металла окисляются первыми.

В общем случае скорость старения увеличивается при возрастании температуры.

#### Зеленая гниль

При использовании термопар типа K в диапазоне 800 °C / 1050 °C существует риск значительного изменения термоэлектрического напряжения. Это обусловлено уменьшением содержания хрома или его окислением в положительном выводе NiCr (+ вывод). Этому способствуют уменьшенные концентрации кислорода или наличие пара в непосредственной близости к термопаре. Однако такие условия не влияют на никелевый вывод. В результате такого воздействия наблюдается дрейф измеренного значения из-за уменьшения термоэлектрического напряжения. Данный эффект усиливается при недостаточном содержании кислорода (восстановительная атмосфера), поскольку на поверхности термопары перестает формироваться полноценная оксидная пленка, защищающая хром от дальнейшего окисления.

Этот процесс заканчивается полным разрушением термопары. Название "зеленая гниль" происходит от зеленовато-мерцающей окраски места излома проводника.

Термопара типа N (NiCrSi-NiSi) имеет в этом плане преимущество благодаря содержанию кремния. Такой состав при тех же условиях обеспечивает образование защитной оксидной пленки даже в вышеописанных условиях.

#### K-эффект

Вывод NiCr термопары типа K при 400 °C характеризуется упорядоченной кристаллической решеткой. При дальнейшем росте температуры в диапазоне от 400 °C до 600 °C происходит переход в неупорядоченное состояние. Выше 600 °C упорядоченная кристаллическая решетка восстанавливается. Если термопара будет охлаждаться слишком быстро (быстрее 100 °C в час) в диапазоне приблизительно от 600 °C до 400 °C, в процессе охлаждения опять будет наблюдаться нарушение кристаллической решетки. Однако характеристическая кривая термопары типа K предполагает упорядоченное состояние решетки. Это приводит к искажению значения термоэлектрического напряжения в указанном диапазоне примерно на 0,8 мВ (около 5 °C). K-эффект обратим и почти полностью устраняется с помощью отжига при температуре выше 700 °C с последующим медленным охлаждением.

Тонкие термопары в оболочке особенно чувствительны к такому воздействию. Охлаждение на воздухе уже приводит к отклонению в 1 °C.

Уменьшить эффект кратковременного нарушения порядка кристаллической решетки в термопарах типа N (NiCrSi-NiSi) можно, сделав оба вывода из кремния.

## Стандартные исполнения термопар

### Термопары в оболочке

Термопары в оболочке состоят из внешней металлической оболочки с внутренними проводниками, погруженными в очень плотный керамический изолирующий материал (кабель с минеральной изоляцией, также известный как МИ-кабель).

Термопары в оболочке обладают достаточной гибкостью с минимальным радиусом изгиба, равным пяти диаметрам оболочки. Благодаря данному свойству термопары в оболочке также используются в труднодоступных местах.

Преимуществом термопар в оболочке также является превосходная устойчивость к вибрации.

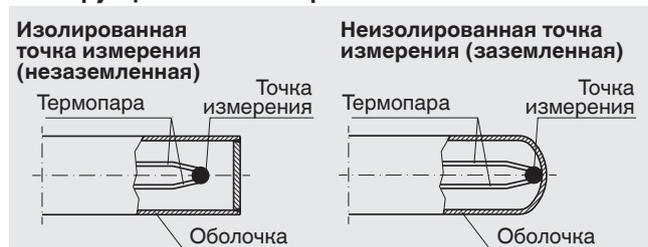
### Имеющиеся диаметры оболочки

- 0,5 мм
- 1,0 мм
- 1,5 мм
- 3,0 мм
- 4,5 мм
- 6,0 мм
- 8,0 мм

### Материалы оболочки

- Никелевый сплав 2.4816 (Инконель 600)
  - до 1200 °С (воздух)
  - стандартный материал для применений, требующих особой коррозионной стойкости при воздействии высоких температур, устойчивости к коррозионному растрескиванию и коррозионному изъязвлению в в хлорсодержащих средах.
  - устойчив к коррозии, вызываемой водными растворами аммиака в любых концентрациях и температурах.
  - высокая устойчивость к галогенам, хлору и хлороводороду.
- Нержавеющая сталь 316
  - до 850 °С (воздух)
  - Хорошая устойчивость к коррозии в агрессивных средах, а также к пару и топочным газам в химической среде
- Другие материалы по запросу

### Конструкция точки измерения



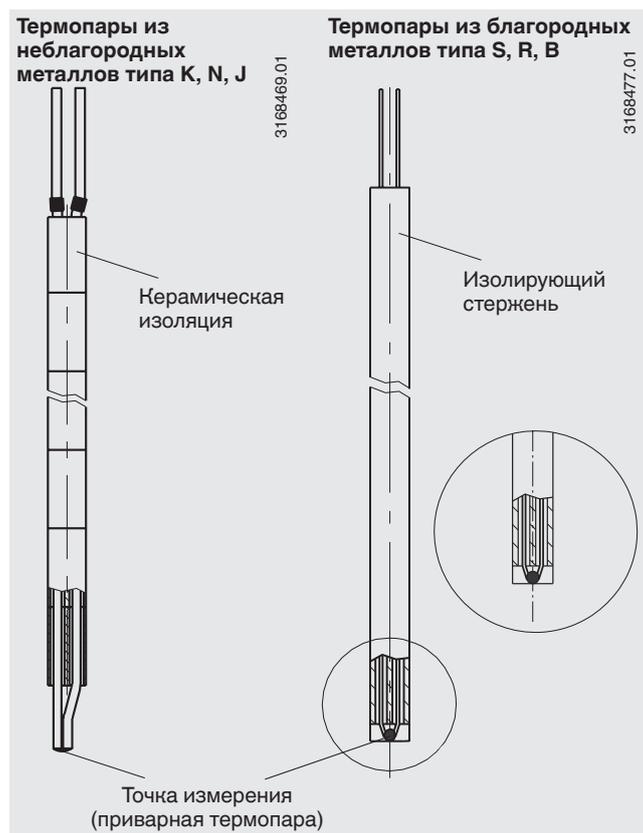
Заготовка для МИ-кабеля

### Прямая термопара с металлической или керамической защитной трубкой



Различные конструкции, модель TC80

### Внутренняя конструкция прямой термопары



#### Термопары из благородных металлов типов S, R, В

Вывод термопары:  $\varnothing 0,35$  мм или  $\varnothing 0,5$  мм  
 Изоляция: Изолирующий стержень, керамика С 799 / оксид алюминия

#### Термопары из неблагородных металлов типов К, N, J

Вывод термопары  $\varnothing 1$  мм или  $\varnothing 3$  мм  
 Изоляция: Керамическая изоляция, керамика С610 / муллит

## Соединительные кабели термопары

Для соединения термопар и измерительной аппаратуры должны использоваться специальные соединительные кабели.

Существуют две категории кабелей, **термоэлектродные кабели** (материал проводника соответствует материалу термопары) и так называемые **компенсационные кабели**.

У компенсационных кабелей материал проводника соответствует термоэлектрическим свойствам термопары в ограниченном диапазоне температур. Эти температурные пределы указаны в стандартах МЭК 60584-3 и ASTM E230. Также в данных стандартах приведены классы точности кабелей.

Применение таких специальных материалов проводников необходимо для предотвращения образования "нежелательных термопар".

### ■ Термоэлектродный кабель

Внутренние проводники термоэлектродного кабеля выполнены из того же материала, что и сама термопара (по соображениям экономичности это неприменимо для термопар из благородных металлов). Кабели доступны в двух классах точности, в классе 1 и в классе 2.

### ■ Компенсационный кабель

Внутренние проводники компенсационного кабеля выполнены из материалов, термоэлектрические характеристики которых соответствуют свойствам материала термопары. Эти характеристики справедливы для перехода кабель ↔ термопара, а так же по всей длине кабеля в диапазоне температур, определенном в МЭК 60584 / ASTM E230. Для заказа доступен только класс точности 2.

Для термопар типа В допустимо использовать внутренние проводники из меди.

Ожидаемая ошибка (пример): 40 мкВ / 3,5 °С

Это верно в диапазоне 0 ... 100 °С для точки соединения термопары и компенсационного кабеля. В данном примере температура точки измерения составляет 1400 °С.

### Примечание:

Возможные погрешности термопары и соединительного кабеля уже учтены!



Соединительный кабель

## Цветовая маркировка термопар и кабельных выводов

	ASTM E230 Вывод термопары	ASTM E230 Удлиненный вывод	BS 1843	DIN 43714	ISC1610-198	NF C42-323	МЭН 60584-3	МЭН 60584-3 Искробезопас- ное исполне- ние
<b>N</b>								
<b>J</b>								
<b>K</b>								
<b>E</b>								
<b>T</b>								
<b>R</b>								
<b>S</b>								
<b>B</b>								

