Условия применения термопар

В практике промышленных измерений температуры обычно используются два вида сенсоров:
- Термометры сопротивления (RTD)
- Термопары (TC)

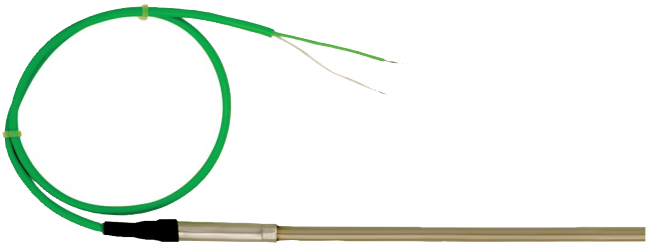
Каждая группа имеет свои преимущества и недостатки. Стандартные термометры сопротивления Pt100 предназначены для измерения в низких и средних диапазонах температуры (-200 ... +600 °C). Однако в более высоком диапазоне (до 1600 °C) термопары имеют свои преимущества (за некоторыми исключениями).
Некоторые модели термопар способны измерять более высокую температуру (вольфрам-рений, золото-платина, платина-палладий). В этом документе не рассматриваются эти узкоспециализированные версии термопар.

В европейских странах для измерения низких и средних температур широко применяются датчики Pt100, однако в Северной Америке большей популярностью пользуются термопары. Но этот принцип не всегда соблюдается, так как, например, нефтеперерабатывающий завод, строящийся в Европе, может быть оборудован датчиками температуры по североамериканскому стандарту, если этот завод проектировался в США. Также это правило может быть верно в другую сторону.

Другим критерием, учитываемым при выборе термопары, является ее минимальный диаметр вместе с защитной оболочкой (см. главу «Термопары в оболочке»). Термопары с диаметрами 0,25 мм, 0,5 мм и 1 мм характеризуются поразительно быстрым временем отклика.
В целом, термопары реагируют быстрее термометров сопротивления.

Если термометр встроен в (массивную) защитную гильзу, характеристики отклика обеих категорий сенсоров становятся приблизительно одинаковыми. С учетом массы защитной гильзы ее теплопроводность и изолирующий эффект, который она вносит между измеряемой средой и сенсором, ставят под вопрос преимущества отклика термопары. Хотя и в этом случае температура правильно измеряется, результат измерения не очень адекватен, поскольку время отклика составляет двухзначное число (в минутах).

Прямая термопара с металлической защитной трубкой



Кабельная термопара, модель TC40
Исполнение: сенсорный кабель в защитной оболочке (MI-кабель)

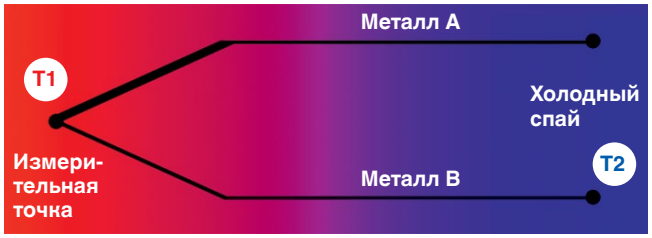
Примеры защитных гильз

WIKA
Part of your business

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 проводов (холодный спай) измеряется напряжение, на основании которого рассчитывается температура.
(Термоэлектрический эффект также называется эффектом Зеебека.)



Это напряжение (электродвижущая сила) возникает благодаря различной плотности электронов в двух проводниках, выполненных из различных металлов, в сочетании с различием температуры в измерительной точке и в точке холодного спая.

То есть термопара измеряет не абсолютную температуру, а разницу температуры между:
- **T1**: измерительной точкой (горячий спай)
  и
- **T2**: холодным спаем

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

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

В современном оборудовании, оснащенном входом для подключения термопары (преобразователи, портативные измерители, устройства, монтируемые на панель и т. д.), функция электронной компенсации холодного спая уже включена в электрическую цепь.

Каждый металл характеризуется определенной электроотрицательностью. (Электроотрицательность – это склонность атомов к притягиванию, а не к выталкиванию электронов.)

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, ограничение максимальной рабочей температуры термопары.

Требования к термопарам регулируются следующими стандартами:

IEC 60584-1:	Термопары: типичные значения термоэлектрических напряжений
IEC 60584-2:	Термопары: погрешности термоэлектрических напряжений
IEC 60584-3:	Термопары: термопарные и компенсирующие кабели

ASTM E230:
таблицы стандартных спецификаций и значений электродвижущей силы для стандартизированных термопар

Термоэлектрические напряжения

Эталонная температура: 0 °C

Температура	Термопары							
°C	Тип K	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
20	0,798	1,019	0,525	1,192	0,79	0,113	0,111	
40	1,612	2,059	1,065	2,42	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	24,61	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	7,34	2,782
760	31,628	42,919	26,883	57,97		6,913	7,461	2,854
800	33,275		28,455	61,017		7,345	7,95	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	9,85	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	11,85	5,78
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	51,00		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
1550						16,182	18,152	10,679
1600						16,777	18,849	11,263
1650								11,85
1700								12,43

Условные обозначения:

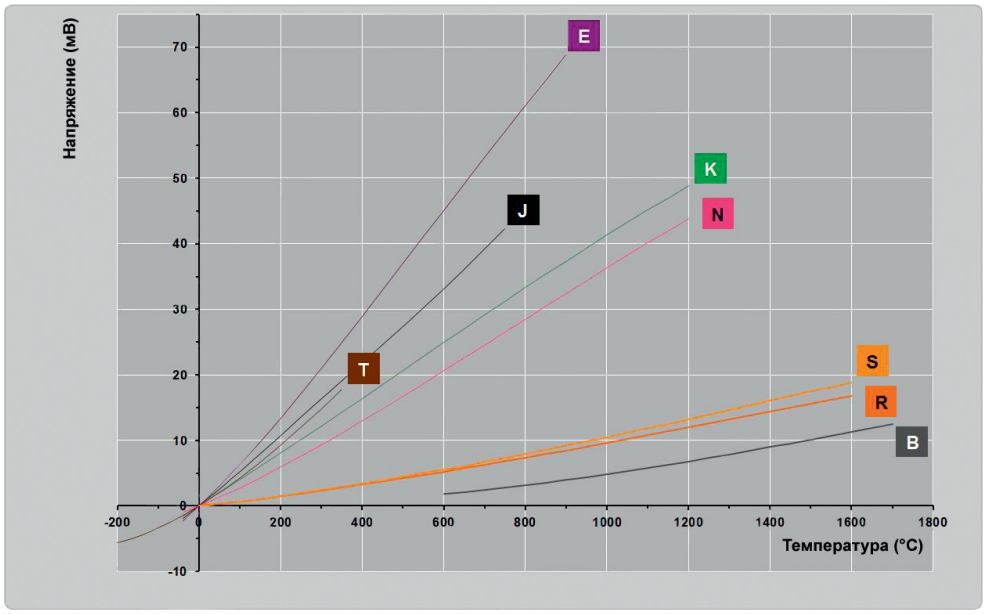
Черный: IEC 60584-1 и ASTM E230

Синий: только IEC 60584-1

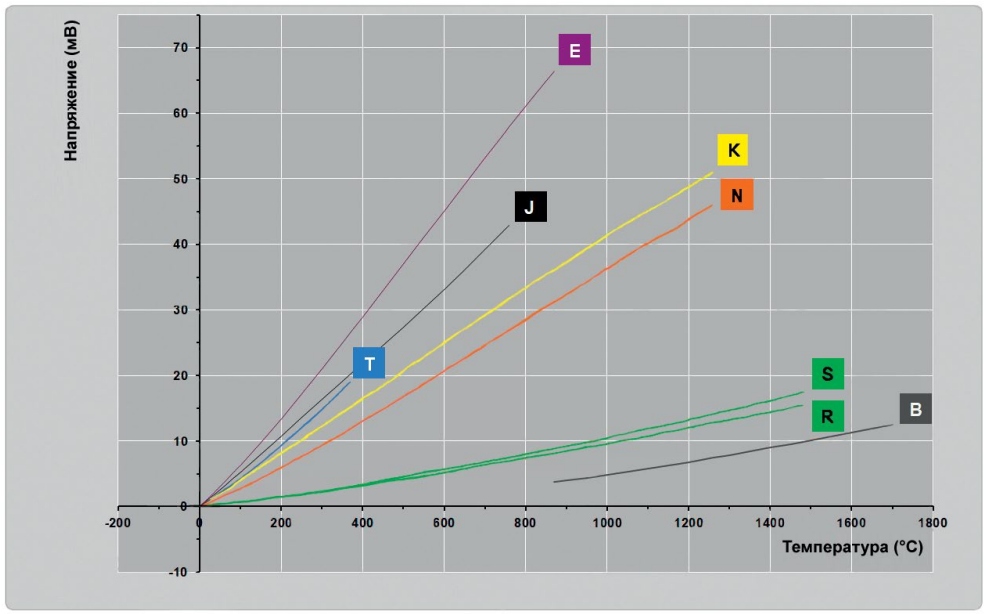
Красный: только ASTM E230

Кривые термоэлектрического напряжения

■ IEC 60584-2



■ ASTM E230



Графики иллюстрируют кривые, соответствующие температурным диапазонам согласно IEC 60584-2 / ASTM E230. Вне этих температурных диапазонов допустимые погрешности не стандартизируются.

Рабочие пределы и характеристики точности термопар (IEC 60584, ASTM E230)

Следующая таблица содержит значения допустимых погрешностей, предусмотренных стандартом IEC 60584-2 включая значения допусков по стандарту ASTM E230, который используется на территории Северной Америки.

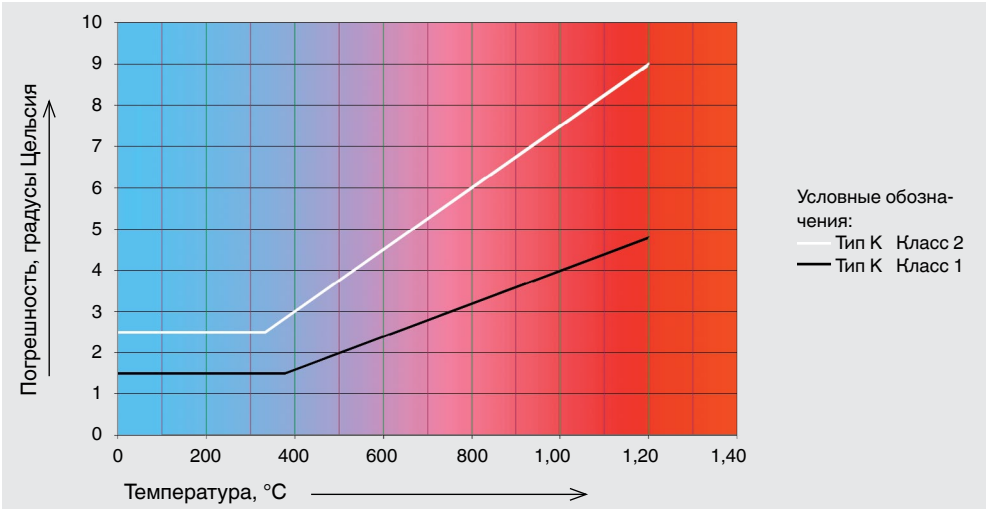
Погрешности для термопар согласно требованиям IEC 60584-2 / ASTM E230 (эталонная температура = 0 °C)

Модель	Термопара	Значение погрешности согласно	Класс	Температурный диапазон	Погрешность
K N	NiCr-NiAl (NiCr-Ni) NiCrSi-NiSi	IEC 60584 часть 2	1	-40 ... +1000 °C	±1,5 °C или 0,0040 · | t | [1) 2)]
			2	-40 ... +1200 °C	±2,5 °C или 0,0075 · | t |
		ASTM E230	Специальное оборудование	0 ... +1260 °C	±1,1 °C или ±0,4 %
			Стандартный	0 ... +1260 °C	±2,2 °C или ±0,75 %
J	Fe-CuNi	IEC 60584 часть 2	1	-40 ... +750 °C	±1,5 °C или 0,0040 · | t |
			2	-40 ... +750 °C	±2,5 °C или 0,0075 · | t |
		ASTM E230	Специальное оборудование	0 ... +760 °C	±1,1 °C или ±0,4 %
			Стандартный	0 ... +760 °C	±2,2 °C или ±0,75 %
E	NiCr-CuNi	IEC 60584 часть 2	1	-40 ... +800 °C	±1,5 °C или 0,0040 · | t |
			2	-40 ... +900 °C	±2,5 °C или 0,0075 · | t |
		ASTM E230	Специальное оборудование	0 ... +870 °C	±1,0 °C или ±0,4 %
			Стандартный	0 ... +870 °C	±1,7 °C или ±0,5 %
T	Cu-CuNi	IEC 60584 часть 2	1	-40 ... +350 °C	±0,5 °C или 0,0040 · | t |
			2	-40 ... +350 °C	±1,0 °C или 0,0075 · | t |
			3	-200...+40 °C	±1,0 °C или 0,015 · | t |
		ASTM E230	Специальное оборудование	0 ... +370 °C	±0,5 °C или ±0,4 %
			Стандартный	-200…0 °C	±1,0 °C или ±1,5 %
			Стандартный	0 ... +370 °C	±1,0 °C или ±0,75 %
R S	Pt13%Rh-Pt Pt10%Rh-Pt	IEC 60584 часть 2	1	0 ... +1600 °C	±1,0 °C или ±[1 + 0,003 (t - 1100)] °C
			2	0 ... +1600 °C	±1,5 °C или ±0,0025 · | t |
		ASTM E230	Специальное оборудование	0 ... +1480 °C	±0,6 °C или ±0,1 %
			Стандартный	0 ... +1480 °C	±1,5 °C или ±0,25 %
B	Pt30%Rh-Pt6%Rh	IEC 60584 часть 2	2	+600 ... +1700 °C	±0,0025 · | t |
			3	+600 ... +1700 °C	±4,0 °C или ±0,005 · | t |
		ASTM E230	Специальное оборудование	-	-
			Стандартный	+870 ... +1700 °C	±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.

При определении погрешности термопар за основу взята температура холодного спая 0 °C.
При использовании компенсирующего или термопарного кабеля необходимо учитывать также измерительную погрешность.



Пример:
значение погрешности для термопары типа K, классы точности 1 и 2

Условия применения термопар

■ Термопары из неблагородных металлов

Тип K

вывод +		вывод -
NiCr	-	NiAl
Никель-хром	-	Никель-алюминий (ферромагнитный)

Термопары NiCr-NiAl предназначены для работы в окисляющих средах или инертных газах при температуре до 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C) с максимальной длиной провода.
Эти термопары требуют защиты от сернистых сред. Поскольку такие термопары менее подвержены окислению по сравнению с термопарами из других материалов, они как правило используются для работы при температурах выше 550 °C до максимального рабочего давления термопары.

Тип J

вывод +		вывод -
Fe	-	CuNi
Железо (ферромагнитное)	-	Медь-никель

Термопары Fe-CuNi предназначены для работы в условиях вакуума, в окисляющих или восстановительных средах или инертных газах. Эти устройства применяются для измерения температур до 750 °C (ASTM E230: 760 °C) с максимальной длиной провода.

Тип N

вывод +		вывод -
NiCrSi	-	NiSi
Никель-хром-кремний	-	Никель-кремний

Термопары NiCrSi-NiSi предназначены для работы в окисляющих средах, инертных газах или сухих восстановительных средах с температурой до 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C).
Эти термопары требуют защиты от сернистых сред. Данные термопары характеризуются значительной точностью при измерении высокой температуры. Напряжение источника (электродвижущая сила) и температурный диапазон почти полностью идентичны термопарам типа K. Эти устройства разработаны для работы в условиях, требующих более продолжительного срока службы и большей стабильности параметров.

Тип E

вывод +		вывод -
NiCr	-	CuNi
Никель-хром	-	Медь-никель

Термопары NiCr-CuNi предназначены для работы в окисляющих средах или инертных газах температурой до 900 °C (ASTM E230: 870 °C) с максимальной длиной провода. Среди всех наиболее распространенных термопар устройства типа E характеризуются наиболее высоким напряжением источника (электродвижущей силой) на градус Цельсия.

Тип T

вывод +		вывод -
Cu (медь)	-	CuNi
Медь	-	Медь-никель

Термопары Cu-CuNi могут функционировать при температуре ниже 0 °C и имеют верхний температурный предел 350 °C (ASTM E230: 370 °C) , эти устройства разработаны для работы в окисляющих, восстановительных средах и инертных газах . Они не подвержены коррозии в условиях высокой влажности.

■ Термопары, выполненные из благородных металлов

Тип S

вывод +		вывод -
Pt10%Rh	-	Pt
Платина – 10 % родий	-	Платина

Термопары типа S предназначены для непрерывной работы в окисляющих средах или инертных газах температурой до 1600 °C. Эти термопары не предназначены для установки в металлические защитные трубки. Следует принять во внимание риск охрупчивания, вызываемый загрязнением материала термопар.

Тип R

вывод +		вывод -
Pt13%Rh	-	Pt
Платина – 13 % родий	-	Платина

Термопары типа R предназначены для непрерывной работы в окисляющих средах или инертных газах температурой до 1600 °C. Эти термопары не предназначены для установки в металлические защитные трубки. Следует принять во внимание риск охрупчивания, вызываемый загрязнением материала термопар.

Тип B

вывод +		вывод -
Pt30%Rh	-	Pt6%Rh
Платина – 30 % родий	-	Платина – 6 % родий

Термопары типа B предназначены для непрерывной работы в окисляющих средах или инертных газах, а также для непродолжительной работы в условиях вакуума при температурах до 1600 °C. Эти термопары не предназначены для установки в металлические защитные трубки. Следует принять во внимание риск охрупчивания, вызываемый загрязнением материала термопар.

Термопары типов R, S и B обычно оснащены керамической закрытой защитной трубкой. Для металлических гильз или защитных трубок требуется внутренняя закрытая защитная трубка. Термопары, выполненные из благородных металлов, восприимчивы к загрязнению. Настоятельно рекомендуется оснастить эти термопары внешней керамической защитой.

Рекомендованный верхний порог температуры
(непрерывная работа)

■ Термопары в оболочке (см. также таблицу «Термоэлектрические напряжения согласно IEC 60584-1»)

Тип термопары	Рекомендованный верхний порог температуры, C Вместе с диаметром оболочки, 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)

Спецификации предполагают применение в оптимальных лабораторных условиях (воздух не содержит вредных газов)
Поставляются другие материалы с соответствующими температурными пределами

■ Прямая термопара (см. также таблицу «Термоэлектрические напряжения согласно IEC 60584-1»)

Тип термопары	Рекомендованный верхний порог температуры, C Диаметр провода, 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	-	-

Спецификации предполагают применение в оптимальных лабораторных условиях (воздух не содержит вредных газов)

■ Защищенные термопары (см. также таблицу «Рекомендуемые температурные пределы для защищенных термопар» согласно ASTM E230)

Тип термопары	Верхний порог температуры для различных размеров проводов, среднее значение, C					
	Калибр № 8 3,25 мм [0,128 дюйма]	Калибр № 14 1,63 мм [0,064 дюйма]	Калибр № 20 0,81 мм [0,032 дюйма]	Калибр № 24 0,51 мм [0,020 дюйма]	Калибр № 28 0,33 мм [0,013 дюйма]	Калибр № 30 0,25 мм [0,010 дюйма]
T		370	260	200	200	150
J	760	590	480	370	370	320
E	870	650	540	430	430	370
K и N	1260	1090	980	870	870	760
R и S				1480		
B				1700		

Примечание.
Указанные максимумы рабочей температуры даны для оптимальных условий окружающей среды. Максимальная рабочая температура защитной гильзы как правило гораздо ниже температуры самой термопары!

■ Термопары в оболочке (см. также таблицу «Рекомендуемые верхние температурные пределы для термопар в оболочке» согласно ASTM E608/E608M)

Номинальный диаметр защитной оболочки		Верхний порог температуры для различных диаметров защитной оболочки, °C (°F) Тип термопары			
		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	**0,25**	370	720	820	1150
8,0	**0,375**	370	720	820	1150

Примечание.
Указанные максимумы рабочей температуры даны для оптимальных условий окружающей среды. Максимальная рабочая температура защитной гильзы как правило гораздо ниже температуры самой термопары!

Возможные погрешности измерения

Основные факторы, влияющие на долговременную стабильность параметров термопар

Старение и загрязнение
- Окислительные процессы в незащищенных термопарах (с «оголенными» проводами) приводят к искажению характеристических кривых.
- Проникновение инородных атомов в состав оригинальных сплавов, приводит к изменению свойств оригинального сплава и искажению характеристических кривых.
- Контакт с водородом приводит к охрупчиванию термопар.

Термопары, выполненные из неблагородных 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. В присутствии платины кремний может высвобождаться из изолирующих керамических деталей даже в среде со слабо выраженными восстановительными свойствами. Восстановление SiO_2 до кремния приводит к загрязнению платинового вывода термопары. Это может стать причиной погрешности в 10 °C и более, если объемное содержание кремния находится в диапазоне нескольких частей на миллион.

По причине лучшего соотношения общего объема материала и поверхности, подверженной загрязнению, термопары из благородных металлов с утолщенным диаметром провода обладают большей долговременной устойчивостью. Именно поэтому мы разработали датчики типов S, R и B с диаметрами проводов термопары Ø 0,35 мм или Ø 0,5 мм (0,015" или 0,020"). Однако необходимо учесть, что сечение проводов термопар Ø 0,5 мм (0,020") в два раза превышает сечение проводов Ø 0,35 мм (0,015") , что объясняет их удвоенную стоимость. Однако эти расходы окупаются, поскольку благодаря большому сроку службы термопары снижаются расходы на техническое обслуживание (простои предприятия).

Никелевый вывод термопары K часто повреждается сернистыми образованиями, присутствующими в отработанных газах. Термопары типов J и T подвержены незначительному старению (выводы из чистого металла окисляются первыми).

В целом, скорость старения увеличивается пропорционально температуре.

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. 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 по причине уменьшения термоэлектрического напряжения. Этот эффект усиливается при недостаточном содержании кислорода (восстановительная среда), поскольку на поверхности термопары перестает формироваться оксидная пленка, защищающая термопару (хром) от дальнейшего окисления.

Этот процесс заканчивается полным разрушением термопары. Название «зеленая гниль» происходит от зеленовато-мерцающей окраски места излома провода.

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

Особенность термопар типа K
Вывод NiCr термопары типа K при 400 °C характеризуется упорядоченной кристаллической решеткой. При дальнейшем росте температуры в диапазоне 400 °C – 600 °C происходит переход в неупорядоченное состояние. Выше 600 °C упорядоченная кристаллическая решетка восстанавливается.
Если термопара при этом остывает слишком быстро (быстрее 100 °C в час), в диапазоне между 600 °C – 400 °C в процессе охлаждения опять наблюдается нарушение кристаллической решетки. Однако характеристическая кривая термопары K предполагает упорядоченное состояние решетки. Это приводит к отрицательному смещению (погрешности) термоэлектрического напряжения в указанном диапазоне примерно на 0,8 мВ (около 5 °C).
Данный эффект обратим и почти полностью устраняется с помощью отжига при температуре выше 700 °C с последующим медленным охлаждением.

Термопары в оболочке малого диаметра особенно чувствительны к такому воздействию. Охлаждение в спокойной воздушной среде уже приводит к уходу в 1 °C.

Уменьшить эффект кратковременного нарушения порядка решетки в термопарах типа N (NiCrSi-NiSi) возможно за счет добавления кремния в материал обоих выводов.

Стандартные исполнения термопар

Термопары в защитной оболочке

Защищенные термопары состоят из внешней металлической оболочки с внутренними проводами, заделанными в очень плотный керамический изолирующий материал (кабель с минеральной изоляцией (MI)).
Защищенные термопары обладают достаточной гибкостью с минимальным радиусом сгиба, равным пяти диаметрам оболочки. Благодаря этому свойству термопары в оболочке также используются в труднодоступных местах.
Превосходная устойчивость к вибрации также входит в число преимуществ защищенных термопар.

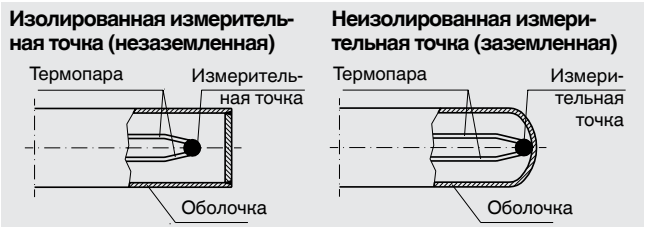
Доступные диаметры оболочки

- 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 °C (воздушная среда).
  - Стандартный материал для условий применения, требующих отличной устойчивости к высокотемпературной коррозии, устойчивости к коррозионному растрескиванию под напряжением, а также к точечной коррозии 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 °C (воздух).
  - Хорошая устойчивость к коррозии в агрессивных средах, паре и отработанных газах.
- Другие материалы – по запросу

Конструкция точек измерения

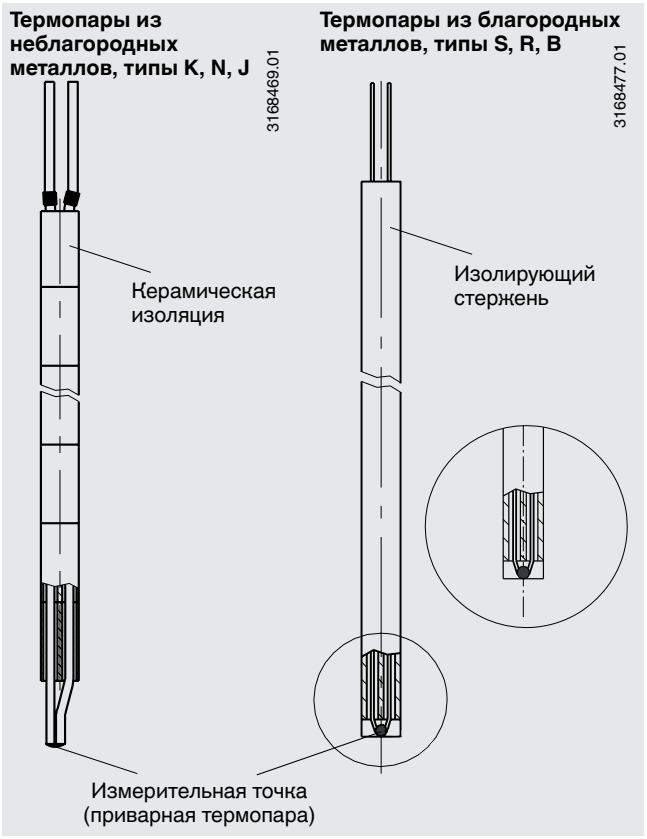


Заготовка кабеля MI

Прямая сборка термопары с металлической или керамической защитной трубкой

Различные исполнения, модель TC80

Внутренняя конструкция термопар в прямом исполнении



Термопары из благородных металлов, типы S, R, B

Провод термопары: Ø 0,35 мм или Ø 0,5 мм

Изоляция: изолирующий стержень, керамика C 799 / алюминий

Термопары из неблагородных металлов, типы K, N, J

Провод термопары: Ø 1 или 3 мм

Изоляция: керамическая изоляция, керамика C610 / муллит

Соединительные кабели термопар

Для соединения термопар и измерительной аппаратуры используются специальные кабели.

Существуют две категории кабелей – **термопарные кабели** (материал провода аналогичен материалу термопары) и так называемые **компенсационные кабели**.
У компенсационных проводов материал проводника соответствует термоэлектрическим свойствам оригинальной термопары в ограниченном диапазоне температуры. Эти температурные пределы обозначены в стандартах IEC 60584-3 и ASTM E230. Также в этих стандартах указаны классы точности кабелей.
Применение таких специальных материалов провода позволяет предупредить образование «паразитных термопар».

Соединительный кабель

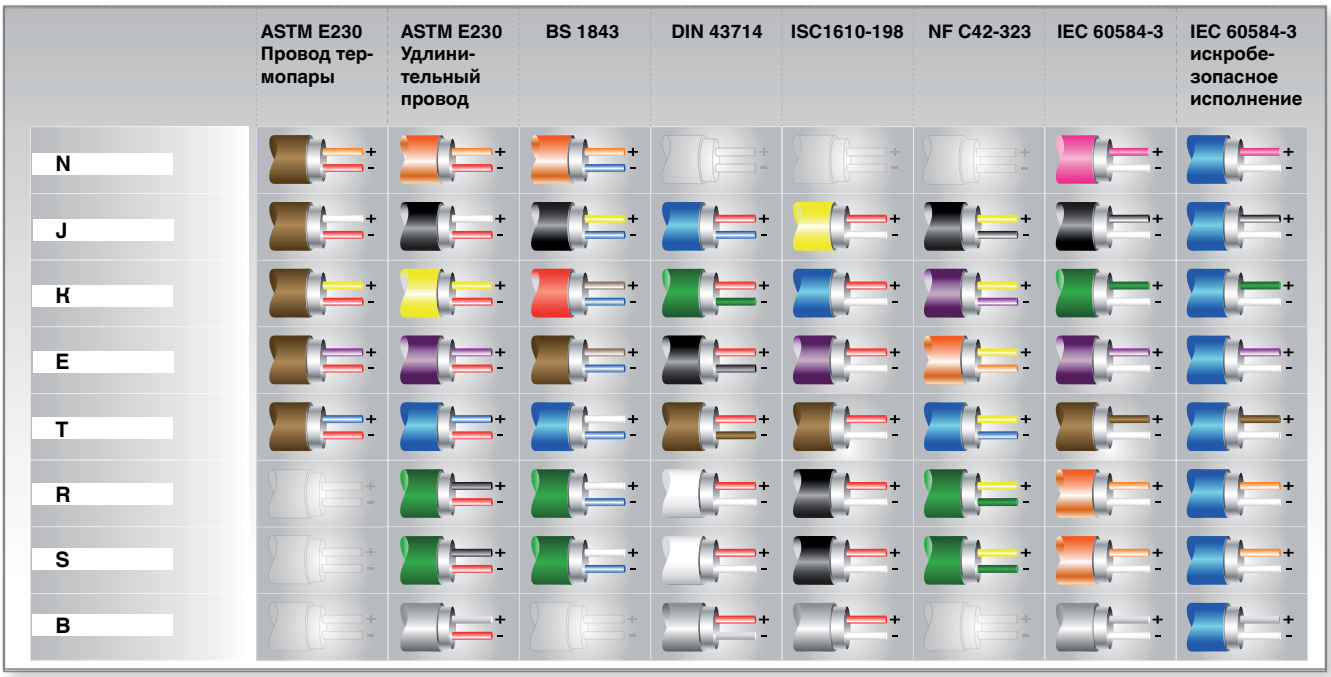
■ **Термопарный кабель**
Внутренние провода термопарного кабеля выполнены из оригинальных материалов термопары (по соображениям экономичности это неприменимо для термопар из драгоценных металлов).
Кабели доступны в двух классах точности: 1 и 2.

■ **Компенсационный кабель**
Внутренние провода компенсационного кабеля выполнены из материалов, соответствующих термопарам по термоэлектрическим характеристикам. Эти характеристики действуют как для переходного участка между кабелем и термопарой, так и по всей длине кабеля в температурном диапазоне, определенном в IEC 60584 / ASTM E230.
Для заказа доступен только класс точности 2.

Для термопар типа B разрешается использовать внутренние медные провода (выводы).
Прогнозируемая погрешность (пример): 40 мкВ / 3,5 °C
Это верно в диапазоне 0 ... 100 °C на переходе между термопарой и компенсационным кабелем. В этом примере температура измерительной точки равна 1400 °C.

Примечание.
Потенциальные погрешности термопары и соединительного кабеля уже учтены!

Цветовая маркировка термопар и кабельных выводов



© 2013 Компания WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, все права защищены.
Технические характеристики, указанные в данном документе, были актуальны на момент его публикации.
Компания оставляет за собой право вносить изменения в технические характеристики и материалы своей продукции.

АО «ВИКА МЕРА»
127015, Россия, г. Москва
ул. Вятская, д. 27, стр. 17
Тел. +7 (495) 648-01-80
Факс +7 (495) 648-01-81
info@wika.ru · www.wika.ru

MM/ГГГГ Код страны согласно 03/2014 RU