

Как выбрать оборудование для калибровки термопары

Указания по применению

Серия заметок о применении термопар

Это вторая из четырех заметок о применении термопар:

1. Основные сведения о термопаре
2. Как выбрать оборудование для калибровки термопары
3. Расчет неопределенности в системе калибровки термопары
4. Как откалибровать термопару

Характеристики термопар

Термопары могут быть изготовлены практически из любого материала с термоэлектрическими свойствами. Смеси материалов в термопарах выбирают для конкретного поведения и задачи. Термопара вызывает изменение выходного напряжения, когда подвергается воздействию изменения температуры. В противоположность этому, термисторы и платиновые термометры сопротивления вызывают изменение сопротивления при воздействии изменения температуры на чувствительный элемент. В таблице 1 приведены сравнения ключевых характеристик термопар с термисторами и платиновыми термометрами сопротивления.

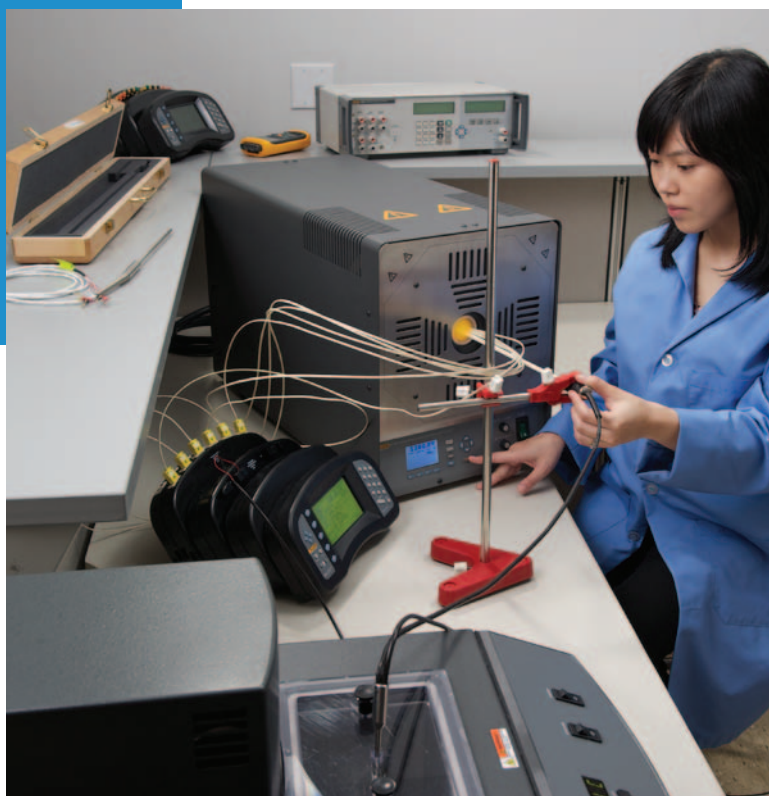


Таблица 1. Сравнение характеристик термопар, терморезисторов и платиновых термометров сопротивления

Термопара	Термистор	Платиновый термометр сопротивления
Температурный диапазон: от -200 °C до 1700 °C*	Температурный диапазон: от 0 °C до 100 °C	Температурный диапазон: от -200 °C до 1000 °C**
Точность зависит от типа термопары и допусков для провода (стандартный или специальный предел)*** Ориентировочные диапазоны точности: Тип J ± 2,2 °C или ± 0,75 % от показаний (стандартный) Тип S ± 0,6 °C или ± 0,75 % от показаний (специальный)	Точность: от ± 0,001 °C до ± 0,01 °C	Точность: от 0,006 °C до 0,04 °C
Стабильно	Очень стабильно	Очень стабильно
Прочно	Умеренно тонко	Очень тонко
Низкая цена	Средняя цена	Высокая цена

*Представляет комбинированный температурный диапазон распространенных типов термопар. Одна термопара не может использоваться по всему указанному диапазону.

**Представляет комбинированный температурный диапазон распространенных платиновых термометров сопротивления. Один платиновый термометр сопротивления не может использоваться по всему указанному диапазону.

***На термопарах со стандартным пределом погрешности используются провода стандартного класса, которые более широко распространены и являются более дешевыми. На термопарах со специальным пределом погрешности используются провода более высокого класса, что увеличивает точность, но они являются более дорогостоящими.

Оборудование для калибровки термопары

Калибровка выполняется путем измерения выходного напряжения термопары проверяемого устройства, измерительный (горячий) спай подвергают воздействию источника температуры, а опорный (холодный) спай поддерживают на эталонной температуре (обычно 0 °С). Требуются следующие приборы:

- Эталонный датчик
- Показания опорного датчика и проверяемой термопары
- Источник температуры для опорного датчика, проверяемой термопары и эталонного спаия термопары

Эталонный датчик

В зависимости от необходимой точности, эталонный датчик будет стандартным платиновым термометром сопротивления, платиновым термометром сопротивления или откалиброванной термопарой лучшего качества, чем проверяемая термопара. Поскольку этот прибор является эталоном для калибровки, он должен быть точным и давать устойчивые показания.

Стандартные платиновые термометры сопротивления

Стандартные платиновые термометры сопротивления являются наиболее точными и устойчивыми эталонными датчиками из доступных на рынке. Обычно используются модели в стеклянной оболочке. Эти приборы называются стандартными, так как являются частью определения ITS-90, что означает соответствие минимальным требованиям к чистоте платиновой проволоки и типу конструкции. Это добавляет ясности относительно пригодности прибора для конкретной задачи и позволяет быть уверенным в его производительности, если он откалиброван и используется правильно. Эти приборы имеют высокую устойчивость и точность, но дорого стоят и легко повреждаются. Их следует применять только для задач высокой точности.

Платиновые термометры сопротивления

Когда требования к точности менее критичны, могут успешно использоваться платиновые термометры сопротивления. Платиновые термометры сопротивления поставляются в различных конфигурациях. Однако такие платиновые термометры, которые могут использоваться в качестве калибровочных стандартов, как правило, поставляются в оболочке из нержавеющей стали или инконеля. Эти приборы не так точны, как стандартные платиновые термометры сопротивления, но, как правило, являются более прочными и удобными в работе. В отличие от стандартных

платиновых термометров сопротивления, конструкция платиновых термометров сопротивления выбирается производителем. Не все образцы показывают характеристики, достаточные, чтобы использовать их в качестве эталона. Будьте внимательны при выборе платинового термометра сопротивления и убедитесь, что выбранный тип подходит для использования в качестве эталона при калибровке в нужном диапазоне и с нужной точностью.

Термопары

Существуют термопары эталонного класса, уровень погрешности и устойчивости которых приближается к платиновым термометрам сопротивления (или даже стандартным платиновым термометрам сопротивления) при высоких температурах. Этот класс подходит для использования в качестве калибровочного стандарта. Термопары эталонного класса нормируются по составу, но не по конструкции. Примите меры предосторожности, чтобы гарантировать, что выбранная модель будет работать в соответствии с требованиями в интересующем диапазоне температур.

Специальные соображения

Помимо требований к точности, существуют и другие характеристики, которые следует принимать во внимание. Например, конец эталонного спаия термопары должен быть достаточно длинным, чтобы обеспечить правильное погружение в источник эталонной температуры (как правило, ванна со льдом). Кроме того, некоторые из обычных материалов оболочки, используемых для датчиков термопар, не могут использоваться при высоких температурах. Убедитесь, что материал оболочки совместим с процессом калибровки, для которой он предназначен.

Показания

Поскольку термопары создают выходное напряжение, требования к показаниям термопар отличаются от требований к показаниям стандартных платиновых термометров сопротивления, платиновых термометров сопротивления или термисторов. Если только эталонный датчик также не является термопарой, потребуется два набора показаний. Следует наблюдать за эталонным спаием термопары. Показания большинства термопар имеют «электронные эталонные спаи», которые часто называют «компенсацией холодного спаия». Это дополнительный контур, который измеряет температуру на соединении термопары при подключении провода термопары непосредственно к показаниям и компенсирует не нулевую эталонную температуру. Этот тип компенсации очень удобен, но обычно не так точен, как фактическая ледяная ванна.

Лучшие результаты достигаются с показаниями, разработанными специально для калибровки термопары. Цифровые мультиметры серьезно ограничивают гибкость, как правило, не создавая экономии и не повышая точность.

Выходное напряжение термопары очень низкое, и небольшая погрешность напряжения соответствует значительной погрешности температуры. Измерения напряжения должны быть чрезвычайно точными, даже при калибровке температуры умеренной точности. Кроме того, при низких уровнях напряжения, которые измеряются при калибровке термопар, погрешность нижнего предела показаний (предел шума или предел смещения нуля) становится очень значительной. Убедитесь, что показания имеют диапазон напряжения (обычно до диапазона 100 мВ) и точность, подходящие для калибровки термопар. Рассмотрим пример с использованием высокоточного 7,5-значного цифрового мульти-

диапазона цифрового мультиметра. Эта ситуация более выражена при более низких температурах и менее выражена при более высоких температурах. Это показывает важность погрешности нижнего предела показаний.

Температурные источники

Наиболее распространенными источниками температуры для калибровки термопары являются сухоблочные калибраторы и печи. Если требуется более высокая точность, могут использоваться калибровочные ванны. Для низких температур (ниже -100 °C) необходимо сравнивающее устройство LN2 (жидкий азот).

Следует обратить внимание на устойчивость и однородность при выборе источника температуры, так как эти факторы повлияют на погрешность при калибровке термопары:

- Устойчивость определяет, насколько точно источник температуры поддерживает уставку температуры с течением времени.
- Однородность определяет, насколько последовательна температура на источнике температуры.

Голые провода термопары никогда не должны быть погружены прямо в ванну с жидкостью. Следует использовать защитную трубку. Датчики термопары обычно не массивные, но тем не менее следует учитывать глубину погружения. Недостаточная глубина погружения приведет к погрешностям при калибровке. При повышенных температурах следует принять меры, чтобы избежать повреждения эталонного датчика. Кроме того, если используется внешний эталонный спай, убедитесь, что выбранный источник температуры достаточно изолирован, так что внешняя поверхность не слишком горячая, чтобы повредить ледяную ванну. Внимательно оцените требования, прежде чем выбрать источник температуры, чтобы обеспечить соответствие прибора выполняемой задаче.

Точность цифрового мультиметра в диапазоне 100 мВ = (20 частей на миллион от показаний + 2 части на миллион от диапазона)

Выход типа S при 500 °C = 4,2333 мВ

Наклон типа S при 500 °C = 0,0099 мВ/°C

Расчеты точности:

$$= \frac{(4,2333 \text{ мВ} \times 20 \text{ частей на миллион}) + (100 \text{ мВ} \times 2 \text{ части на миллион})}{0,0099 \text{ мВ/°C}}$$

$$= \frac{(0,00008466 \text{ мВ}) + (0,0002 \text{ мВ})}{0,0099 \text{ мВ/°C}} = 0,0288 \text{ °C}$$

метра для измерения термопары типа S при 500 °C. Следующий пример показывает относительный вклад в погрешность источников цифрового мультиметра.

В данном примере погрешность из-за нижнего предела цифрового мультиметра намного выше, чем погрешность из-за точности

Таблица 2. Оборудование Fluke Calibration, рекомендованное для калибровки термопар

Эталонные датчики			
Модель	Диапазон	Размер	Основная точность*
Стандартные платиновые термометры сопротивления			
5698-25	от -200 °C до 670 °C	Кварц, 485 мм x 7 мм (19,1 x 0,28 д.)	< 0,006 °C/100 часов при 670 °C
Вторичный стандартный платиновый термометр сопротивления			
5626	от -200 °C до 661 °C	305 или 381 мм x 6,35 мм (12 или 15 д. x 0,25 д.)	± 0,007 °C при 0 °C
Вторичный эталонный платиновый термометр сопротивления			
5615-9	от -200 °C до 420 °C	229 мм x 4,76 мм (9 д. x 0,19 д.)	± 0,013 °C при 0,010 °C
5615-12	от -200 °C до 420 °C	305 мм x 6,35 мм (12 д. x 0,25 д.)	± 0,013 °C при 0,010 °C
Прецизионные промышленные платиновые термометры сопротивления			
5627A-9	от -200 °C до 300 °C	229 мм x 4,7 мм (9 д. x 0,19 д.)	± 0,05 °C при 0 °C
5627A-12	от -200 °C до 420 °C	305 мм x 6,35 мм (12 д. x 0,25 д.)	± 0,05 °C при 0 °C
Стандартные термопары типа R и S			
5649/5650-20	от 0 °C до 1450 °C	508 мм x 6,35 мм (20 д. x 0,25 д.)	± 0,7 °C при 1100 °C
5649/5650-25	от 0 °C до 1450 °C	635 мм x 6,35 мм (25 д. x 0,25 д.)	± 0,7 °C при 1100 °C

*Основная погрешность включает погрешность калибровки и краткосрочную повторяемость. Она не включает долговременный дрейф.

Таблица 2, продолжение Оборудование Fluke Calibration, рекомендованное для калибровки термопар

Устройства индикации			
Модель	Типы пробников	Погрешность	Особенности
1523	Платиновые термометры сопротивления, термопары, термисторы	± 0,015 °C при 0 °C (платиновые термометры сопротивления) ± 0,24 °C при 0 °C (термопары типа К)	Ручной эталонный термометр с батарейным питанием; разъем INFO-CON считывает коэффициенты без программирования; сохраняет до 25 показаний по требованию; графическое представление трендов.
1524	Платиновые термометры сопротивления, термопары, термисторы	± 0,015 °C при 0 °C (платиновые термометры сопротивления) ± 0,24 °C при 0 °C (термопары типа К)	Такой же ручной эталонный термометр, как 1523, но с входами для двух термометров; регистрирует до 15 000 показаний и сохраняет еще 25 по требованию.
1529	Платиновые термометры сопротивления, термопары, термисторы	± 0,006 °C при 0 °C (платиновые термометры сопротивления) ± 0,4 °C при 600 °C (термопары типа К, вн. холодный спай)	Показания всех четырех каналов могут измеряться одновременно; батарейное питание; регистрирует до 8 000 показаний; гибкий дисплей.
1586A с мультиплексором DAQ-STAQ	Платиновые термометры сопротивления, термопары, термисторы	± 0,005 °C при 0 °C (платиновые термометры сопротивления) ± 0,29 °C при 0 °C (термопары типа К, вн. холодный спай)	40 каналов с частотой сканирования 10 каналов в секунду; автоматизирует калибровку датчика при подключении к источнику температуры Fluke Calibration
Температурные источники			
Модель	Диапазон	Погрешность	
Сухоблочные калибраторы для полевых условий			
9142	от -25 °C до 150 °C	± 0,2 °C	
9143	от 33 °C до 350 °C	± 0,2 °C	
9144	от 50 °C до 660 °C	± 0,35 °C при 50 °C ± 0,35 °C при 420 °C ± 0,5 °C при 660 °C	
Сухоблочные калибраторы			
9170	от -45 °C до 140 °C	± 0,1 °C	
9171	от -30 °C до 155 °C	± 0,1 °C	
9172	от 35 °C до 425 °C	± 0,1 °C при 100 °C ± 0,15 °C при 225 °C ± 0,2 °C при 425 °C	
9173	от 50 °C до 700 °C	± 0,2 °C при 425 °C ± 0,25 °C при 660 °C	
Печи для термопар			
9150 (вертикальный)	от 150 °C до 1200 °C	± 5 °C	
9118A (горизонтальный)	от 300 °C до 1200 °C	± 5 °C	

Fluke Calibration. Точность, эффективность, надежность.™

Электрика	РЧ	▼	Температура	Давление	Расход	ПО
-----------	----	---	-------------	----------	--------	----

Fluke Calibration
PO Box 9090, Everett, WA 98206 U.S.A.

Fluke Europe B.V.
PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, The Netherlands

ООО «Флюк СИИЭС»
125167, г. Москва, Ленинградский
проспект дом 37, кор. 9
Тел: +7 495 664 75 12
Факс: +7 495 664 75 13
e-mail: info@fluke.ru

Для получения более подробной информации звоните:
В США: тел. (877) 355-3225 или факс (425) 446-5116
В Европе, в Африке, на Ближнем
Востоке: тел. +31 (0) 40 2675 200 или факс +31 (0) 40 2675 222
В Канаде тел. (800)-36-FLUKE или факс (905) 890-6866
В других странах тел. +1 (425) 446-5500 или факс +1 (425) 446-5116
Веб-сайт: <http://www.flukecal.com>

© Fluke Calibration, 2015.
Технические характеристики могут меняться без предварительного уведомления.
Отпечатано в США. 7/2015
Pub-ID 13272-rus

Внесение изменений в этот документ не допускается без письменного разрешения Fluke Corporation.