

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
**«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»  
(ТУСУР)**

**Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического  
мониторинга  
(РЭТЭМ)**

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий каф. РЭТЭМ  
\_\_\_\_\_ Туев В.И.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2015г.

**ПРИБОРЫ И ДАТЧИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

Методические указания по самостоятельной и индивидуальной  
работе студентов для направлений подготовки:

022000 «Экология и природопользование»,

280700 «Техносферная безопасность»

Разработчики:  
Заведующий каф. РЭТЭМ, д.т.н.  
\_\_\_\_\_ В.И. Туев

Доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ В.С. Солдаткин

Солдаткин В.С., Туев В.И. Приборы и датчики экологического контроля: Методические указания по самостоятельной и индивидуальной работе студентов для направлений подготовки: 022000 «Экология и природопользование», 280700 «Техносферная безопасность». – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2015.

Настоящие методические указания по самостоятельной и индивидуальной работе студентов составлены с учетом требований федеральных Государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) по направлениям подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование» и 20.03.02 «Техносферная безопасность». Методические указания предназначены для студентов, изучающих специальную дисциплину «Приборы и датчики экологического контроля» и содержат необходимую информацию, используемую для самостоятельной и индивидуальной работы.

**Перечень тем теоретической части курса, отводимых на самостоятельную проработку:**

1. Факторы, влияющие на погрешность измерения.
2. Систематические и случайные погрешности.
3. Схемы различных шкал температур.
4. Критерии выбора металла датчиков температур.
5. Основные типы термопар и их технические характеристики.
6. Метрологические характеристики оптических датчиков.
7. Фотоэмиссионные датчики.
8. Основные понятия механики жидкостей.
9. Магнитострикционные датчики и их метрологические характеристики.
10. Косвенные датчики измерения скорости.
11. Шкалы низких давлений газа.
12. Датчики измерения интенсивности звука.
13. Общие сведения по радиоактивности.

Используя литературу [1-6] дать ответы на следующие вопросы.

**1. Факторы, влияющие на погрешность измерения**

Первая группа расхождений результатов измерения - возможные изменения свойств самого измеряемого объекта. Например, при измерении длины размер предмета может измениться под действием температуры - хорошо известное свойство тел расширяться или уменьшаться при изменении температуры. В других видах измерения встречается та же самая ситуация, т. е. под влиянием температуры может измениться давление в замкнутом объеме газа, может измениться сопротивление проводника, коэффициент отражения поверхности и т. д.

Вторая группа расхождений - несовершенство средств измерений, несовершенство методики измерений или недостаточная квалификация и

тщательность работы оператора. Этот тезис достаточно очевиден, тем не менее, оценивая погрешности измерений, нередко забывают о том, что эти факторы нужно учитывать в комплексе. Измерительная практика показывает, что грубым прибором можно получить достаточно близкие к истинным значениям результаты за счет совершенствования методики или искусства оператора. И наоборот, самый точный прибор даст ошибочные результаты, если в процессе измерения не соблюдаются предпосылки реализации метода. [1, 2]

## **2. Систематические и случайные погрешности**

Систематической погрешностью называется погрешность, остающаяся постоянной или закономерно изменяющейся во времени при повторных измерениях одной и той же величины. Примером систематической погрешности, закономерно изменяющейся во времени, может служить смещение настройки прибора во времени. Случайной погрешностью измерения называется погрешность, которая при мно-гократном измерении одного и того же значения не остается постоянной. Например, при измерении валика одним и тем же прибором в одном и том же сечении получаются различные значения измеренной величины. Систематические и случайные погрешности чаще всего появляются одновременно. Для выявления систематической погрешности производят многократные измерения образцовой меры и по полученным результатам определяют среднее значение размера. Отклонение среднего значения от размера образцовой меры характеризует систематическую погрешность, которую называют «средней арифметической погрешностью», или «средним арифметическим отклонением».

Систематическая погрешность всегда имеет знак отклонения, то есть «+» или «-». Систематическая погрешность может быть исключена введением поправки. При подготовке к точным измерениям необходимо убедиться в отсутствии постоянной систематической погрешности в данном ряду

измерений. Для этого существуют специальные методы. Прогрессивные и периодические систематические погрешности в противоположность постоянным можно обнаружить при многократных измерениях. [2, 3]

### 3. Схемы различных шкал температур

Слово «температура» возникло в те времена, когда люди считали, что в более нагретых телах содержится большее количество особого вещества — теплорода, чем в менее нагретых. Поэтому температура воспринималась как крепость смеси вещества тела и теплорода. По этой причине единицы измерения крепости спиртных напитков и температуры называются одинаково — градусами.

Из того, что температура - это кинетическая энергия молекул, ясно, что наиболее естественно измерять её в энергетических единицах (т.е. в системе СИ в джоулях). Однако измерение температуры началось задолго до создания молекулярно-кинетической теории, поэтому практические шкалы измеряют температуру в условных единицах — градусах.

#### Шкала Кельвина

В термодинамике используется шкала Кельвина, в которой температура отсчитывается от абсолютного нуля (состояние, соответствующее минимальной теоретически возможной внутренней энергии тела), а один кельвин равен  $1/273.16$  расстояния от абсолютного нуля до тройной точки воды (состояния, при котором лёд, вода и водяной пар находятся в равновесии). Для пересчета кельвинов в энергетические единицы служит постоянная Больцмана. Используются также производные единицы: килокельвин, мегакельвин, милликельвин и т.д.

#### Шкала Цельсия

В быту используется шкала Цельсия, в которой за 0 принимают точку замерзания воды, а за  $100^\circ$  точку кипения воды при атмосферном давлении. Поскольку температура замерзания и кипения воды недостаточно хорошо определена, в настоящее время шкалу Цельсия определяют через шкалу

Кельвина: градус Цельсия равен кельвину, абсолютный ноль принимается за  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Шкала Цельсия практически очень удобна, поскольку вода очень распространена на нашей планете и на ней основана наша жизнь. Ноль Цельсия — особая точка для метеорологии, поскольку замерзание атмосферной воды существенно всё меняет.

#### Шкала Фаренгейта

В Англии и, в особенности, в США используется шкала Фаренгейта. В этой шкале на 100 градусов разделен интервал от температуры самой холодной зимы в городе, где жил Фаренгейт, до температуры человеческого тела. Ноль градусов Цельсия — это 32 градуса Фаренгейта, а градус Фаренгейта равен  $5/9$  градуса Цельсия.

В настоящее время принято следующее определение шкалы Фаренгейта: это температурная шкала, 1 градус которой ( $1\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) равен  $1/180$  разности температур кипения воды и таяния льда при атмосферном давлении, а точка таяния льда имеет температуру  $+32\text{ }^{\circ}\text{F}$ . Температура по шкале Фаренгейта связана с температурой по шкале Цельсия ( $t\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) соотношением  $t\text{ }^{\circ}\text{C} = 5/9 (t\text{ }^{\circ}\text{F} - 32)$ ,  $1\text{ }^{\circ}\text{F} = 5/9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Предложена Г. Фаренгейтом в 1724.

#### Шкала Реомюра

Предложена в 1730 году Р. А. Реомюром, который описал изобретённый им спиртовой термометр.

Единица — градус Реомюра ( $^{\circ}\text{R}$ ),  $1\text{ }^{\circ}\text{R}$  равен  $1/80$  части температурного интервала между опорными точками — температурой таяния льда ( $0\text{ }^{\circ}\text{R}$ ) и кипения воды ( $80\text{ }^{\circ}\text{R}$ )

$$1\text{ }^{\circ}\text{R} = 1,25\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

В настоящее время шкала вышла из употребления, дольше всего она сохранялась во Франции, на родине автора.

Нормальная температура человеческого тела —  $36,6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , или  $98,2\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1,3\text{ }^{\circ}\text{F}$ . Приводимое обычно значение  $98,6\text{ }^{\circ}\text{F}$  - это точное преобразование в шкалу Фаренгейта принятого в Германии в XIX веке значения  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Поскольку это значение не входит в диапазон нормальной

температуры по современным представлениям, можно говорить, что оно содержит избыточную (неверную) точность. Некоторые значения в этой таблице были округлены [2, 4].

#### **4. Критерии выбора металла датчиков температур**

Термометры сопротивления.

Наиболее простым и распространенным типом датчика температуры является термометр сопротивления. Принцип его действия основан на зависимости удельного сопротивления металлов от температуры. Это значит, что с ростом температуры сопротивление металлического провода будет расти. Коэффициент, описывающий подобную зависимость, называется температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Для металлов эта величина положительна.

Конструктивно, термометр сопротивления представляет собой миниатюрную катушку из медного или платинового провода, упакованную в защитный кожух. Для получения оптимальных характеристик измерения, провод стараются взять как можно большей длины. Для удобства применения все термометры стандартизуют по так называемому нулевому сопротивлению, т.е. сопротивлению при температуре 0 град.Цельсия. Промышленность выпускает термометры с нулевым сопротивлением 50,100,500,1000 Ом. Маркируются термометры по типу металла, используемому для измерения и нулевой температуре. Например, большое распространение имеют медные датчики ТСМ100 и платиновые ТСП100 и Pt100. Характеристики двух последних несколько отличаются, что необходимо учитывать.

Термометры сопротивления находят применение для измерения температур от -50 до 200 град.Цельсия. К их достоинствам следует отнести высокую точность измерений при невысокой стоимости. Для изделий промышленного применения величина погрешности находится в районе 0.1 градуса. Использование термометров сопротивления подразумевает создание

специальных схем, позволяющих определить сопротивление датчика с высокой точностью.

### Терморезисторы

Принцип действия терморезисторов аналогичен термометрам сопротивления. Отличаются они в первую очередь технологией производства и конструктивными особенностями. По внешнему виду часто напоминают обычные резисторы. Терморезисторы существуют с положительным ТКС - позисторы, и отрицательным ТКС - термисторы.

Нулевое сопротивление терморезисторов может достигать десятков килоом. Использование их аналогично термометрам сопротивления. К недостаткам можно отнести значительную нелинейность характеристики этих элементов.

### Термопары.

Принцип действия термопары основан на возникновении термоЭДС (эффекте Зеебека) в месте спаивания двух разнородных металлов. Величина ЭДС пропорциональна разности температур между «горячим» концом или спаем и «холодным» концом, представляющим собой точку подключения проводников к измерительному устройству. В нашей стране наибольшее распространение получили пары металлов хромель-алюмель (международное обозначение - К, отечественное - ХА), хромель-копель (тип L или ТХК), платинородий-платина (тип S или ТПП). Также существуют и некоторые другие типы термопр.

Выходным сигналом термопары является напряжение, величина которого измеряется в мВ. Это означает, что для полноценных измерений необходимо использовать усилитель. Второй особенностью использования термопар становится необходимость компенсации температуры холодного спаивания. В общем случае термопара представляет собой спай двух разнородных проводников. Точки подключения данных проводников к измерительному

устройству в свою очередь образуют аналог спаев, вносящего погрешность в измерения. Для ее учета в месте, максимально приближенном к точке контакта устанавливают дополнительный датчик температуры, показания которого вычитают из показаний основного. Третья особенность заключается в необходимости использования соединительных кабелей специального типа, как правило выполняемых из того же материала, что и термопара. Пренебрежение данным требованием приводит к увеличению погрешности измерений, за счет появления дополнительных спаев.

Главным достоинством термопар является возможность измерения высоких температур. Так для типа ХА диапазон измерений составляет от -180 до 1300 градусов. Для некоторых специальных моделей, верхнее значение может достигать 1800 градусов. Наряду с широким диапазоном, термопары характеризуются сравнительно высокой погрешностью измерения, примерно равной 1 градусу. Также, особенно при большом диапазоне измеряемых температур, требуется учитывать нелинейность термопар.

#### Полупроводниковые датчики температуры

Температурной зависимостью обладают не только металлы, но и р-п переход. Падение напряжения на нем при протекании тока в прямом направлении будет меняться примерно на 2мВ с изменением температуры на 1 градус. Используя данную зависимость можно организовать измерение температуры в диапазоне примерно от -55 до 150 градусов. В качестве датчиков могут использоваться обычные диоды или один из р-п переходов транзистора. Схемотехника измерительных схем с использованием подобных устройств повторяет варианты с терморезисторами. Существуют и специализированные изделия, представляющие собой законченные измерительные устройства с аналоговым выходным сигналом, пропорциональным температуре. Такие устройства очень удобно применять совместно с АЦП микроконтроллера. Наряду с аналоговыми датчиками,

можно найти полупроводниковые микросхемы, содержащие встроенный АЦП и цифровой интерфейс связи (SPI, I2C, 1-Wire). Такие датчики позволяют создавать наиболее простые схемы, но при этом отличаются относительно низкой точностью.

Другие датчики температуры.

Кроме вышеназванных можно отметить и некоторые другие принципы построения температурных датчиков. В системах автоматике могут встречаться контактные датчики-сигнализаторы. Принцип их действия может быть различен. Выходной сигнал реализован с помощью механического контакта, срабатывание которого происходит при заданной температуре. Наиболее интересным датчиком может стать датчик излучения или пирометр. Его принцип действия основан на измерении энергии, излучаемой каким-либо телом в окружающую среду. Такой принцип не требует непосредственного контакта с объектом, но отличается достаточно низкой точностью. Большинство пирометров представляет собой сложные приборы с высокой стоимостью, хотя в последнее время появились и миниатюрные датчики с различным типом выходов.

Выбор датчиков температуры

Первым параметром, определяющим выбор датчика температуры, считается диапазон измерения. Если подходит несколько вариантов, то можно пользоваться таким правилом: номинальное измеряемое значение должно лежать в диапазоне от половины до двух третей шкалы. Так, например, не желательно использовать термопару для измерения комнатной температуры, и наоборот для температур выше 200 градусов термопара будет хорошим выбором.

Следующей величиной, заслуживающей пристального внимания, будет точность измерений. Если по условиям проекта требуется точность менее одного градуса, то практически однозначным выбором станет термометр

сопротивления. К счастью такие требования встречаются достаточно редко, и в большинстве бытовых применений вполне подойдет полупроводниковый датчик с точностью в 1 градус.

Конструктивные особенности датчика также определяют его область применения. Сегодня можно найти множество вариантов, как исполнения измерительной части, так и по способу присоединения к процессу. Также при выборе следует учитывать и такой параметр как инерционность. Инерционность измеряется в секундах и показывает, насколько быстро изменение температуры окружающей среды отразится на выходном сигнале датчика. Пренебрежение данным параметром часто может привести к неточности работы схемы и другим малоприятным последствиям, особенно если показания термодатчика используются для целей управления оборудованием. [2, 5]

## **5. Основные типы термопар и их технические характеристики**

Определения, обозначения и сокращения

Применяются следующие термины с соответствующими определениями: термопара: Два проводника из разнородных материалов, соединенных на одном конце и образующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерений температуры; НСХ термопары: Номинально приписываемая термопаре данного типа зависимость ТЭДС от температуры рабочего конца и при постоянно заданной температуре свободных концов, выраженная в милливольтках; диапазон преобразований температур термопары: Интервал температур термопары, в котором выполняется преобразование температур в ТЭДС; допустимое отклонение от НСХ: Максимально возможное отклонение ТЭДС термопары от номинального значения, удовлетворяющее техническим требованиям на термопару. Обозначение термопар осуществляется в соответствии с [МЭК 60584 - 3 (1989 - 06)].

## Литература

1. Козлов М.Г. Метрология и стандартизация. Учебник. Московский государственный университет печати [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook109/01/part-010.htm>
2. Смирнов Г.В. Приборы и датчики экологического контроля: учебное методическое пособие для специальностей 020801 (013100) "Экология" 280101 "Безопасность жизнедеятельности в техносфере" / Г. В. Смирнов; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга. - Томск : ТУСУР, 2007. - 127 с.(80 экз).
3. Систематические и случайные погрешности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sonel.ru/ru/biblio/reference-book/metrology-reference/random-error/>
4. Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meteoinfo.ru/t-scale>
5. Микроконтроллеры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mcucpu.ru/index.php/pdevices/datchiki/107-datchiki-temperature-obshchij-obzor>
6. ГОСТ Р 8.585-2001 ГСИ. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/GOSTR85852001GSITermopary.html>
7. Приборы и датчики экологического контроля: Учебное пособие / Туев В. И., Смирнов Г. В., Солдаткин В. С. – 2015. 117 с.