

## ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Анацкий П.Н., магистрант, Винниченко Н.Г., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

### 1. Обзор методов измерения температуры.

#### 1.1 Контактные методы.

Контактные методы и средства измерения температуры применяются для её измерения, начиная с 0 до 1500 °С. При использовании термопреобразователей из тугоплавких материалов можно повысить предел измерений до 3000 °С. Из контактных методов наиболее известны термоэлектрический и терморезистивный методы. В список их достоинств можно отнести лёгкость изготовления, надёжность при применении, относительно низкую стоимость и большую точность измерения.

Кроме перечисленного на их основе можно создавать многоканальные измерительные системы. Их задачей будет непрерывное измерение температурного поля сложных объектов, в экстремальных условиях. [1, 2].

#### 1.1.1 Терморезистивные термометры

Терморезистивные термометры принято разделять на металлические и полупроводниковые. Принцип их действия базируется на измерении электрического сопротивления при варьировании температуры [1].

Терморезисторы изготовлены из металла, который имеет более устойчивую зависимость электрического сопротивления от температуры. Помимо этого, они также имеют положительный температурный коэффициент сопротивления. Данный коэффициент колеблется в пределах температур 0 – 100°С. Для изготовления таких термометров принято использовать металлы с достаточной электрической проводимостью. Примером может послужить медь, никель или платина. Никель используют при температурах от -60 до 180 °С, медь от -50 до 200 °С, платину от -220 до 750 °С, а если они находятся в нейтральной атмосфере, то крайний предел – 1000°С [2]. Сопротивление платинового терморезистора в интервале от 0 до 650 °С можно найти по формуле:

$$R = R_0 * (1 + \alpha t + \beta t^2),$$

Где  $R_0$  – сопротивление при 0 °С;  $t$  – температура в градусах Цельсия;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления;  $\beta = -5,847 * 10^{-7} K^{-2}$ .

В диапазоне от 0 до -200 °С функция преобразования принимает следующий вид:

$$R = R_0[1 + \alpha t + \beta t^2 + C(t - 100)^3],$$

где  $C = -4,22 * 10^{-12} 1/K$ .

Металл для терморезистора принято выбирать из его химической активности по отношению к измеряемой среде в интересующем диапазоне измеряемых температур. Диапазон сопротивления медных проводников (от -50 до +180°С) выражается при помощи следующего соотношения [3]:

$$R = R_0(1 + \alpha t),$$

где  $\alpha = 4,26 * 10^{-3} K^{-1}$ .

Датчики, изготовленные из никеля, имеют высокую чувствительность в диапазоне 250-300 °С, а также имеет линейную характеристику в интервале  $0 \leq t \leq 100$  °С.

Медные и никелевые термометры сопротивления производят из литого микропровода в стеклянной изоляции. Это позволяет быть ему более герметичным, что делает его менее подверженному коррозии. При этом они имеют высокую стабильность и при малых размерах имеют сопротивление до десятков кОм.

Сравнительно высокий температурный коэффициент сопротивления имеет W(вольфрам)  $\alpha = 4,8 * 10^{-3} K^{-1}$  и Mo(молибден)  $\alpha = 4,57 * 10^{-3} K^{-1}$ , однако при  $t \geq 400^{\circ}C$  их не применяют из-за сильного окисления и разрушения чувствительного элемента. Для низкотемпературных измерений используют фосфоритные бронзы [1, 3].

К достоинствам металлических терморезисторов можно отнести:

1. Высокую стабильность температурного коэффициента сопротивления.
2. Линейность зависимости сопротивления от температуры.
3. Хорошая воспроизводимость свойств.
4. Инертность к воздействиям окружающей среды.
5. Высокая точность измерений.

#### **1.1.2 Термоэлектрический метод**

Для конструирования термопары используют два разных проводника или полупроводника. Их концы закрепляют и нагревают до температуры, которая отличается от температуры иных концов. Из-за этого на так называемых «холодных» концах возникает термоэдс, формула для расчёта которого имеет вид:

$$E_t = f(t) - f(t_0),$$

где  $f(t)$  – функция температуры  $t$ ;  $f(t_0)$  – функция температуры  $t_0$ .

Термопары используют для измерения температуры вещества в которых они находятся. Также в различных приборах и устройствах [3, 4].

К достоинствам термопар можно отнести:

1. Простота схем включения.
2. Надёжность.
3. Большие функциональные возможности.
4. Большой диапазон измерения температур.
5. Высокая точность измерения значения температуры.

Постоянная времени термопар находится в пределах от  $\leq 40$  секунд до  $\leq 3,5$  минуты. Конструкцию термопары выбирают в зависимости от места где она будет использоваться. При конструировании того или иного термоэлектрического преобразователя в учёт принимают такие факторы, как агрегатное состояние вещества, температуру, диапазон измеряемых температур, тепловая проницаемость и другие [1-3].

#### **1.1.3 Терромагнитный метод**

За основу данного метода взята обратно – пропорциональная зависимость магнитной восприимчивости парамагнитных веществ или ядерной магнитной восприимчивости от температуры. В качестве чувствительного элемента выступают металлы и соли. Данные преобразователи применяют для измерения очень низких температур от 0,01 до 30 К с относительно малой погрешностью от 1 до 5%. Для измерения температуры данным методом используют зависимость различных видов магнитных проницаемостей ферромагнетиков от температуры. Достоинством данного метода является отсутствие систематической погрешности и высокой чувствительности [2].

#### **1.1.4 Термочастотный метод**

Метод основан на зависимости от температуры частоты собственных колебаний различного рода резонаторов, скорости распространения звуковых и ультразвуковых колебаний и параметров, частотно-зависимых RC или RL – цепей с терморезистором. Из литературных источников известно, что резонансные термочастотные методы основаны на использовании резонансных датчиков. Они являются автогенераторами или же генераторами с вынужденными колебаниями, частота которых настраивается в резонанс с собственными колебаниями резонатора и изменяются с температурой. Твердотельные, газовые и ядерные резонаторы применяются для измерения температуры. Функция преобразования термометров с резонансными преобразователями на рабочем участке характеристики в виде полинома [3]:

$$f = f_0[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3],$$

где  $\alpha, \beta$  и  $\gamma$  – коэффициенты, которые выбираются в зависимости от вида и характеристик резонаторов.

### 1.1.5 Термошумовой метод

При помощи данного метода, который основан на уравнение Найквиста происходит измерение температуры. Данное уравнение устанавливает зависимость напряжения тепловых шумов, возникающих на резисторе, от термодинамической температуры

$$U_{ш2} = 4 * k * T * R * \Delta f,$$

где  $U_{ш2}$  – среднее квадратичное значение шумового напряжения;  $k$  – постоянная Больцмана,  $k = 1.38 * 10^{-23}$  Дж/К;  $\Delta f$  – полоса частот измерения.

Этот метод используют для измерения температур в диапазоне от 0,01 до 2500 К. Для того что бы качество измерительных преобразователей было высоким применяются резисторы из манганина, константана, вольфрама, графита, платины, нихрома, а также ёмкостные и индуктивные преобразователи. Они представляют из себя резонансный колебательный контур. Источником теплового шума в преобразователях из вольфрама (W) и графита служит их сопротивление среды, температура которой измеряется.

## 2.1 Бесконтактные методы измерения температуры

### 2.1.1 Пирометрический метод

Данный метод основан на законах, которые устанавливают связь между излучением абсолютно чёрного тела (АЧТ) и его температурой. В зависимости от входной величины пирометры их делят на пирометры полного, спектрального и частичного излучения. К пирометрам полного излучения относятся радиационные пирометры, к пирометрам спектрального отношения относятся цветковые пирометры, а к пирометрам частичного яркостные пирометры. Они охватывают большой диапазон температур от 173 до 6000 К [2, 3].

Оптические пирометры чувствительны только в узком интервале длин волн.

Излучение объекта, который измеряется определяется непосредственно приёмником излучения. Наибольшую популярность приобрели пирометры с исчезающей нитью накаливания. Их отличием является простота применения, а также высокая точность измерений.

Недостатком, который ограничивает применение данных приборов, является их субъективность получаемого результата. Такой недостаток отсутствует в оптических пирометрах с объективным приёмником излучения, например, с чувствительным селективным фотоэлектрическим элементом [4].

### 2.1.2 Тепловидение и термография

Приборы, которые используют для наблюдения и исследования объектов по их тепловому излучению называются тепловизорами, термографами или телевизорными микроскопами. Телевизионные приёмные трубки – видиконы с фоторезистивным слоем из пленки оксида свинца чувствительны к излучению до 2 мкм. Телекамеры с видиконами могут определять температурное поле при  $T \geq 250$  °С. Для того что бы термография и тепловидения в низком диапазоне температур развивалась, были созданы чувствительные приёмники инфракрасного излучения, спектральная чувствительность которых заходит далеко в инфракрасную область спектра. Применение в качестве приёмников излучения пироэлектрических элементов даёт возможность получать видимое изображение температурного поля объектов с температурой от -20 до 2000 °С. В серийно выпускаемых тепловизорах и термографах применяются дискретные приёмники инфракрасного излучения и оптико-механические системы развёртки изображения при помощи или колеблющихся зеркал, или призм. Порог чувствительности тепловизора определяется разностью температур  $\Delta T_{min}$  на поверхности АЧТ ( $\epsilon = 1$ ) с  $T = 25$  °С, при которой отношения сигнала к собственным шумам тепловизора равно 1. Данные методы используют при геологических и климатологических исследованиях земной поверхности, в медицине, а так же в строительстве при проверке теплоизоляции зданий, в энергетике для обнаружения мест

перегрева в энергетическом оборудовании, и измерения механических напряжений и деформаций методом термоупругости [3].

### **2.1.3 Электромагнитные методы и преобразователи**

Основу вихретокового контроля составляет закон электромагнитной индукции, в соответствии с которым интенсивность и распределение возбуждаемых в объекте контроля вихревых токов зависят от его геометрических и электромагнитных параметров. Переменный ток, действующий в катушках вихретоковых преобразователей (ВТП), создаёт электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте контроля.

С целью установления связи входящих сигналов от параметров контролируемых изделий следует решить краевые задачи электродинамики согласно расчёту электрических и магнитных полей, для разнообразных ВТП и контролируемых изделий. Для упрощения решений задач такого рода установлен ряд общепризнанных допущений, с учётом которых необходимо найти решения уравнения Максвелла с граничными условиями для принятых расчётных моделей преобразователей и объектов контроля, установить векторные потенциалы и вносимые характеристики разных видов преобразователей. Концепция вихретокового контроля довольно хорошо разработана и освещена в многочисленных работах [1].

Следует отметить, то что на сегодняшний день электромагнитные методы и устройства, выстроены в этом методе, слабо используются при измерении температуры среды и изделий. Основным условием, сдерживающим данные методы и средства, являются довольно непростые связи сигнала преобразователя от температуры. В основном данные методы и устройства применяются с целью оценки свойства и определения оптимальных режимов тепловой обработки в научно-технических процессах[2,4].

### **3 Выводы**

Исходя из всех известных методов измерения температуры можно сказать, что к достоинству контактных методов измерения можно отнести их широкий диапазон температур, надёжность, простоту, а также их низкую ценовую категорию. Их основной характерной чертой является то, что они преобразуют в сигнал измерительную информацию термометрического свойства термопреобразователя, а не объекта исследования.

Бесконтактные преобразователи имеют такие же достоинства, как и контактные устройства, еще присутствует возможность измерения температуры вдали от нагреваемого или охлаждаемого объекта исследования.

Главным преимуществом оптических пирометров является бесконтактность контроля температуры, но при этом есть и большое количество недостатков.

#### **Перечень ссылок**

1. Левшина Е.С., Невицкий П.В. Электрические измерения неэлектрических величин. Измерительные преобразователи: Учеб. Пособие для вузов. –Л.:Энергоатомиздат,1983. – 320 с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред В.В. Клюева. –М.: Машиностроение, 1995. – 488 с.
3. Спектатор С.А. Электрические измерение физических величин. – Л.:Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.
4. Измерение в промышленности. Справ,изд. В 3-х кн. Пер. с нем. / Под ред. П. Профоса. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Металлургия, 1990. – 92 с, 384 с, 34