

# ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕХНОЛОГИИ СИЛИКАТОВ

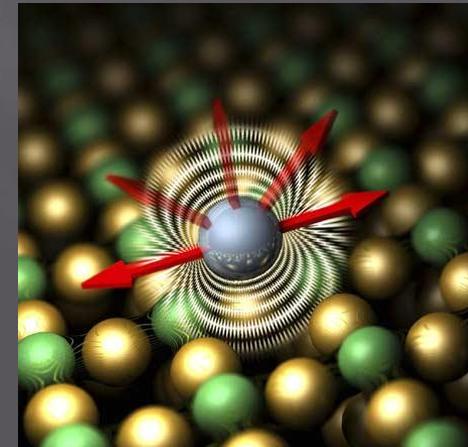
Кулинич Е.А., к.т.н., доцент каф. ТСН  
ХТФ

# Содержание

- ▣ Определение температуры
- ▣ Температурные шкалы
- ▣ Классификация приборов для измерения температуры
- ▣ Пирометры излучения
- ▣ Термоэлектрический пирометр (термопара)
- ▣ Принцип работы термопары
- ▣ Характеристики термопар
- ▣ Вопросы к лекции

# Определение температуры

Известно, что частицы в газах, жидкостях и твердых телах находятся в непрерывном хаотическом движении, это движение воспринимается как тепло. Энергия неупорядоченного движения частиц, усредненная по их огромному числу, определяет температуру. Более строго определение понятия температуры формулируется следующим образом: температура - статистически формирующаяся термодинамическая величина, определяемая уровнем внутренней энергии тела





Если тела имеют разную температуру, то при их контакте происходит выравнивание энергий: тело, имеющее более высокую температуру, а значит, большую среднюю кинетическую энергию молекул, передает свою теплоту (энергию) телу, имеющему меньшую температуру, а значит и меньшую среднюю энергию молекул. Таким образом, температура является параметром, характеризующим как качественную, так и количественную сторону процесса теплообмена, теплопереноса

Более 40 % общего числа всех измерений, производимых в мире, составляют измерения температуры. Поэтому качество температурного конт-роля обуславливает успех процесса производства. Однако измерить температуру непосредственно нельзя, ее значение определяют по каким-то другим физическим параметрам тела, которые изменяются однозначно в зависимости от температуры. Такими параметрами, зависящими от температуры, являются, например, объем, длина, электрическое сопротивление, термоэлектродвижущая сила, энергетическая яркость излучения и др. Причем эти свойства должны быть просто и удобно воспроизводимы

# Температурные шкалы

Для измерения температуры существуют различные температурные шкалы: **Кельвина, Цельсия, Фаренгейта**. Все эти шкалы построены на измерении какого-либо термодинамического свойства вещества между двумя выбранными **реперными** точками. Как правило, это точки фазового равновесия чистых веществ. Изменение термометрического свойства в этом интервале аппроксимируется линейной зависимостью от температуры.

- В России допускается применение двух температурных шкал: абсолютной термодинамической в градусах Кельвина (К) и международной практической в градусах Цельсия (°С). Абсолютную температуру обозначают буквой Т, а температуру по шкале Цельсия t.
- - **$T = t + T_0; t = T - T_0$ , где  $T_0 = 273,15 \text{ К}$  /1/**

- ▣ В Англии, США и некоторых европейских странах до сих пор употребляется шкала **Фаренгейта** и термометры на ее основе.
- ▣ Реперными точками для такой шкалы служат равновесия в смесях некоторых солей -  $NaCl$ ,  $NH_4Cl$ , льда и точка кипения воды.
- ▣ **Нормальная температура человеческого тела по Фаренгейту считается  $98,5^\circ F$  ( $37^\circ C$ ).**

# Классификация приборов для измерения температуры

- ▣ *Манометрические термометры* основаны на изменении давления рабочего вещества при постоянном объеме с изменением температуры



## Классификация приборов для измерения температуры (продолжение)

- ▣ ***Термоэлектрические термометры*** включают термоэлектрический преобразователь /ГЭП/, действие которого основано на использовании зависимости термоэлектродвижущей силы от температуры



# Классификация приборов для измерения температуры (продолжение)

- ▣ **Термометры сопротивления** содержат термопреобразователь сопротивления, действие которого основано на использовании зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента /проводника или полупроводника / от температуры

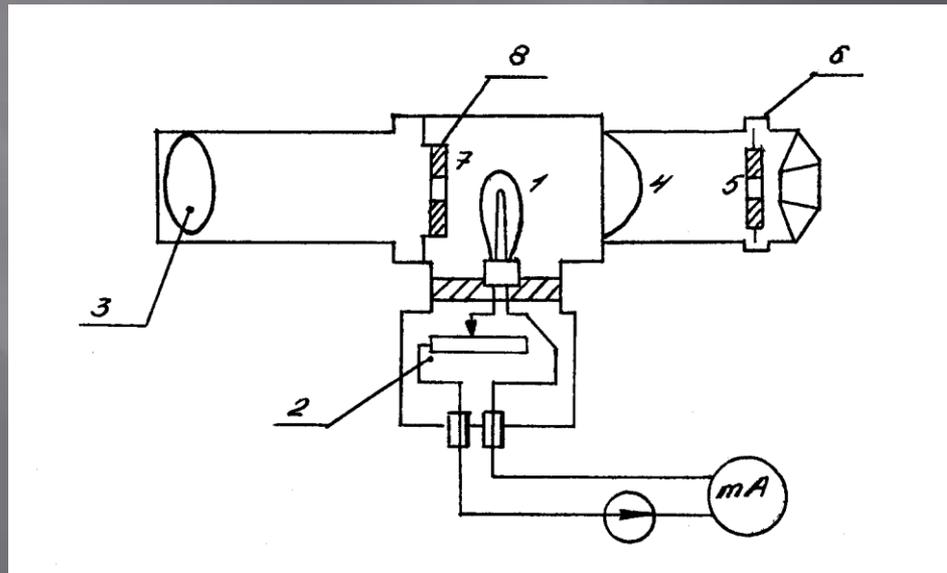


# Классификация приборов для измерения температуры (продолжение)

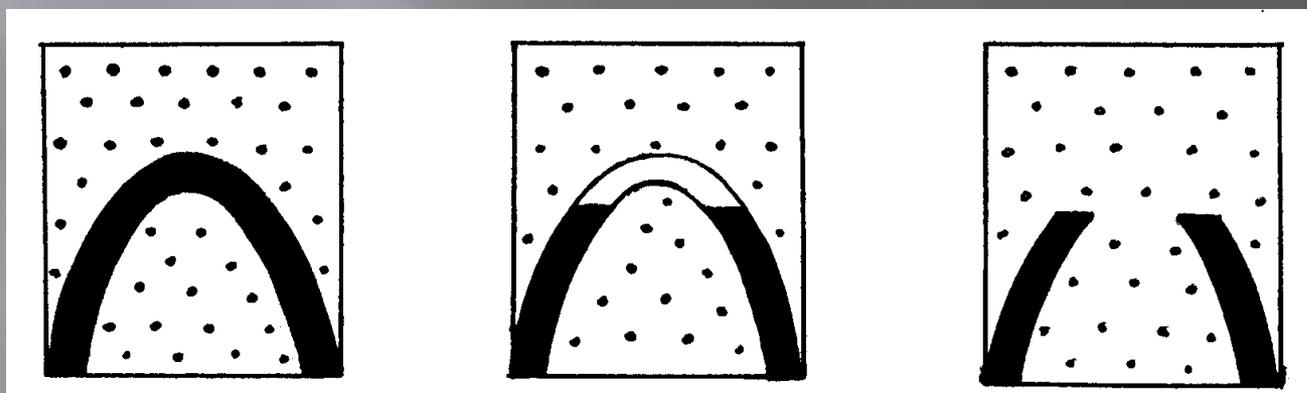
- ▣ ***Пирометры излучения***, из них наиболее распространены:
  - квазимонохроматический пирометр, действие которого основано на использовании зависимости спектральной энергетической яркости от температуры тела;
  - пирометры спектрального отношения, действие которых основано на зависимости от температуры тела отношений энергетических яркостей в двух или нескольких спектральных интервалах;
  - пирометры полного излучения, действие которых основано на использовании зависимости интегральной энергетической яркости излучения от температуры.

# Пирометры излучения

*Рисунок 1 - Принципиальная схема пирометра: 1 - лампа накаливания; 2 - реостат; 3 - объектив; 4 - окуляр; 5 - красный светофильтр; 6 - механизм установки светофильтра; 7 - нейтральный дымчатый светофильтр для измерения температур выше 1500°C; 8 - механизм установки светофильтра*



# Видимость нити накаливания оптического прибора:



*а*

*б*

*в*

- а - Температура нити накаливания ниже температуры нагретого тела;*
- б - Температура нити выше температуры нагретого тела;*
- в - Температура нити равна температуре нагретого тела*

# Термоэлектрический пирометр (термопара)

- ▣ Термопарой называется простейшая термоэлектрическая цепь, состоящая из двух разнородных металлических проводников, спаянных между собой в двух точках и электрически изолированных друг от друга на всем остальном протяжении



# Принцип работы термопары

Существо работы термопары основано на  
**явлении Зеебека,**

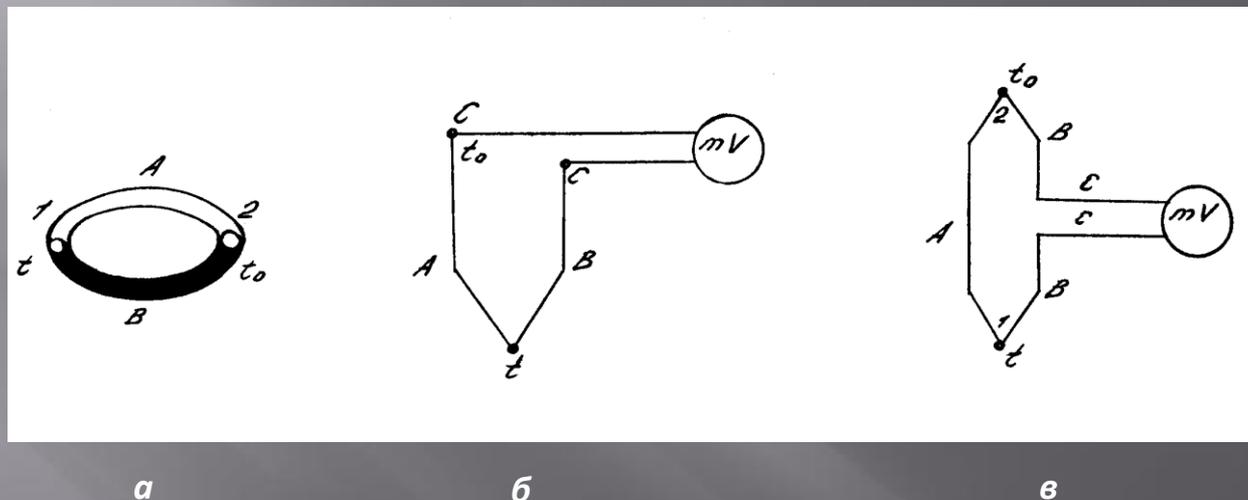
которое заключается в следующем:

- ▣ Возникновение электродвижущей силы (э.д.с.), ( $E_T$ ), в замкнутой электрической цепи, составленной из последовательно соединенных разно-родных проводников, если места их контакта поддерживать при различных температурах.

# Природа термо э.д.с. (ТЭДС) является суммой нескольких ЭДС:

- **1. ЭДС Пельтье** - появляется в спаях двух разнородных проводников, благодаря неодинаковому числу свободных электронов, приходящихся на единицу объема в различных металлах.
- **2. ЭДС Томпсона**, возникает в каждом проводнике при неравномерном распределении электронов, вызванном разностью температур различных участков длины проводника.
- **3. Преимущественная** диффузия носителей тока в проводнике от нагретого конца к холодному (объемная составляющая Т. ЭДС).
- **4.** Зависимость контактной разности потенциалов от температуры (**контактная Т. ЭДС**).
- **5. Увеличение числа электронов фононами**, которые перемещаются преимущественно от горячего конца к холодному и взаимодействуя с электронами, заставляют их двигаться в том же направлении (фононы - волны, возникающие за счет колебаний узлов кристаллической решетки).

# Принципиальная схема и способы подключения термопары



а - Схема термопары;

б - подключение измерительного прибора в свободный конец;

в - в термоэлектрод.

# Характеристики термопар

- ▣ При подборе материалов для изготовления термопар следует учитывать:
- ▣ 1. Материалы должны хорошо воспроизводить свои свойства;
- ▣ 2. Не должны иметь полиморфных превращений в диапазоне измеряемых температур;
- ▣ 3. Обладать большой Т.ЭДС;
- ▣ 4. Быть механически прочными и однородными по составу;
- ▣ 5. Иметь высокую электрическую проводимость;
- ▣ 6. Должны иметь малый температурный коэффициент сопротивления.

По используемым материалам термопары делятся на две группы:

- ▣ 1. Термопары из **благородных металлов** и их сплавов.
- ▣ 2. Термопары из **неблагородных металлов** и их сплавов.

# Платинородий-платиновая термопара (ПП)

- ▣ Имеются две разновидности термопар такого типа.
  - положительный электрод состоит из сплава 90% платины и 10% родия, отрицательный - из платины
  - положительный электрод из сплава 87% платины и 13% родия, а отрицательный тот же.

Термопары работают в интервале температур 200-1600 °С.

Применяются для определения международной температурной шкалы, для высокоточных измерений температуры в интервале 400-1500 °С и в тех случаях, когда нельзя применить термопары с более низкой температурой плавления

# Хромель-алюмелевая термопара (ХА)

- ▣ ХА - термопара относится к числу наиболее употребительных термопар. По сравнению с другими термопарами из неблагородных металлов она обладает большей стойкостью к окислению и пригодна для измерения температур от 150 до 1100°C.
- ▣ Чувствительность термопары составляет 4 мкВ на градус. Т.ЭДС изменяется по линейному закону в координатах температу-ры - ЭДС. Роль положительного электрода в такой термопаре выполняет проволока из сплава хромель: 89,0 % Cr, 9,8 % Ni, 1,0 % Fe и 0,2 % Mn, а отрицательного - из сплава алюмель: 94 % Ni, 0,5 % Fe, 2,0 % Al, 2,5 % Mn, 1,0 % Si.
- ▣
- ▣

## Хромель-копелевая термопара (ХК)

- ▣ Положительный электрод выполнен из хромеля, отрицательный - из сплава копель: 43-44% Ni и 56-57% Cu. Хромель-копелевая термопара позволяет измерять температуру длительно до 600°C и кратковременно до 800°C. Она успешно работает как в относительной, так и в восстановительной среде, а также в вакууме. Т.ЭДС такой термопары весьма велика и составляет 67 мВ при 800°C.

# Железо-копелевая термопара (ЖК)

- ▣ Положительный электрод - чистое железо, отрицательный - сплав копель. Пределы измерения те же, что и у хромель-копелевой термопары, условия работы аналогичны. Т.ЭДС такой термопары меньше, чем у ХК и составляет  $30,9 \text{ мВ}$  при  $500^\circ\text{C}$ . Существенным недостатком ЖК термопары является коррозия железного электрода.



# Медь-копелевая термопара (МК)

- ▣ МК термопара используется для измерения низких температур от  $-100$  до  $+350^{\circ}\text{C}$ . Роль положительного электрода выполняет чистая проводнико-вая медь, отрицательного - сплав копель.

# Вопросы к лекции

- ▣ 1. Какие методы измерения температуры используются при термообработке силикатов?
- ▣ 2. Принцип работы пирометров излучения.
- ▣ 3. Что представляет собой термопара, как она обозначается на схеме?
- ▣ 4. Принцип работы термопары.
- ▣ 5. Какие материалы используются для изготовления термопар? Какие требования к ним предъявляются?
- ▣ 6. Какие особенности термопары из благородных металлов (обозначение, интервал измеряемых температур, среды, в которых могут применяться)?
- ▣ 7. Как получить спай для термопары из благородных и неблагородных металлов?