

Теплотехнические измерения

Общие понятия

Температура — мера кинетической энергии, обусловленной тепловым движением молекул тела или системы, т. е. потенциалом теплового потока.

Тепло — энергия, обусловленная разностью температур между телом или системой и окружающей средой.

Тепло передается от одного тела или системы к другому следующим (или несколькими) способами :

теплопроводностью — передачей тепла от одного тела другому;

конвекцией — движением среды;

излучением — с помощью электромагнитных волн.

Теплоемкость — количество тепла, необходимого для повышения температуры тела или системы на один градус.

Удельная теплоемкость — отношение теплоемкости тела к его массе.

Термическое сопротивление — мера способности тела препятствовать прохождению через него теплового потока.

Тепловое равновесие — состояние между телом и окружающей средой, когда между ними нет переноса тепла.

Точка кипения — температура, при которой наступает равновесие между жидким и парообразным состояниями вещества.

Точка замерзания — температура равновесия между твердой и жидкой фазами.

Для воды точка кипения соответствует 100°C , а точка замерзания или льда 0°C .

Температурные шкалы

Согласно *Международной системе единиц (МСЕ)*, термодинамическая шкала определяется двумя реперными точками и измеряется в кельвинах (К).

Абсолютный ноль (0 К) — теоретический минимум температуры для любого вещества

Тройная точка воды (273,16К) — соответствует температуре равновесия, в которой одновременно могут существовать вода, лед и пар (при определенных условиях).

Температурные шкалы:

Кельвина (К), Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), Ренкина ($^{\circ}\text{R}$) и Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$)

$$T = (T_C + 273,15), \text{ K};$$

$$T_R = \left(\frac{9}{5} T\right), \text{ } (^{\circ}\text{R});$$

$$T_F = \frac{9}{5} (T - 273,15), \text{ } (^{\circ}\text{F}),$$

где

T — температура в кельвинах;

T_C — температура в градусах Цельсия;

T_R — температура в градусах Ренкина;

T_F — температура в градусах Фаренгейта.

Резистивные детекторы температур

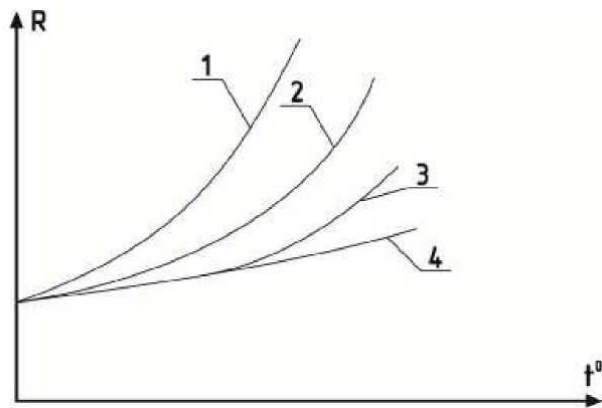
— изменение сопротивления проволоки или пленки из металла в зависимости от температуры.

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

где R_0 — сопротивление при температуре 0°C ;

t — температура, $^\circ\text{C}$;

α — температурный коэффициент сопротивления.



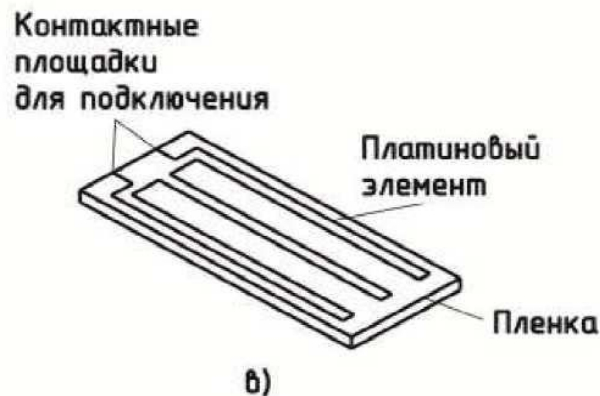
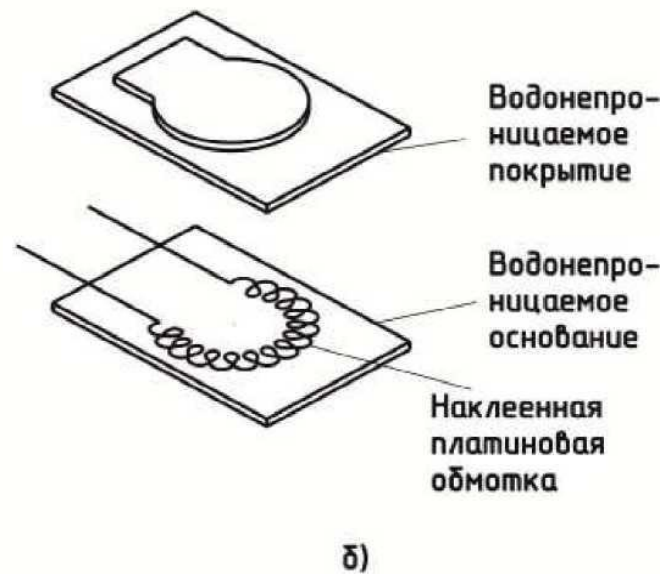
Характеристики зависимости сопротивления некоторых металлов от температуры:

1 — никель; 2 — вольфрам; 3 — медь;
4 — **платина**.

Два основных типа платиновых проволочных резистивных преобразователей: погружаемый в среду зонд и монтируемый на поверхности чувствительный элемент.

Проволочные элементы устанавливаются на керамическую основу с минимальным натяжением и покрываются защитным материалом, предотвращающим их от воздействия окружающей среды.

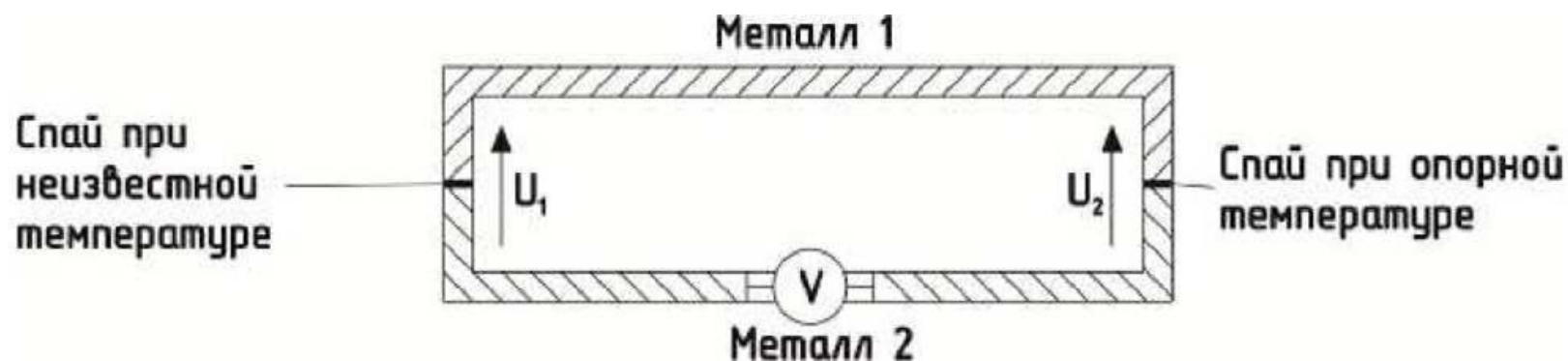
Платиновые резистивные преобразователи обычно включаются в одно из плеч моста Уитстона. При этом невысокое сопротивление прибора (около 100 Ом) создает проблемы при его коммутации с измерительной аппаратурой



Конструкции платиновых проволочных резистивных преобразователей:
 а — проволочный зонд; б — проволочный преобразователь, монтируемый на поверхности чувствительного элемента; в — тонкопленочный преобразователь, устанавливаемый на поверхности чувствительного элемента

Термоэлектрические преобразователи (термопары)

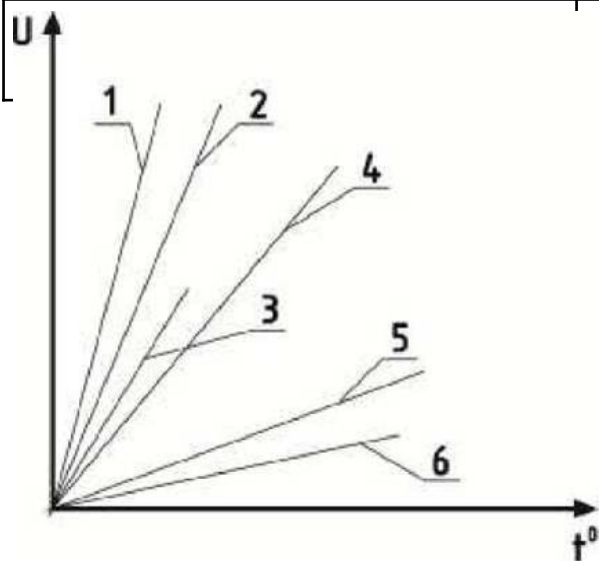
— превращают изменение температуры в изменение тока, возникающего вследствие разности температуры на спае двух разнородных материалов, в котором возникает эффект Зеебека.



Зонд состоит из двух спаев: один размещается в точке, где производится измерение температуры, второй — в точке опорной температуры. Разность потенциалов $U_1 - U_2$, которая образуется на двух спаях зависит от температуры спаев и измеряется вольтметром. Показания вольтметра отображают разность температур между спаями.

Типичные термопары

<i>Первичный материал</i>	<i>Вторичный материал</i>
никель 90%, хром 10%	константан (58% медь, 40% никель, 2% марганец)
железо	константан
никель 90%, хром 10%	никель 94%, марганец 3%, алюминий 2%, кремний 1%
платина	платина 87%, родий 13%
платина	платина 90%, родий 10%



константан

Напряжения для различных термопар:

1 — никель-хром / констант;

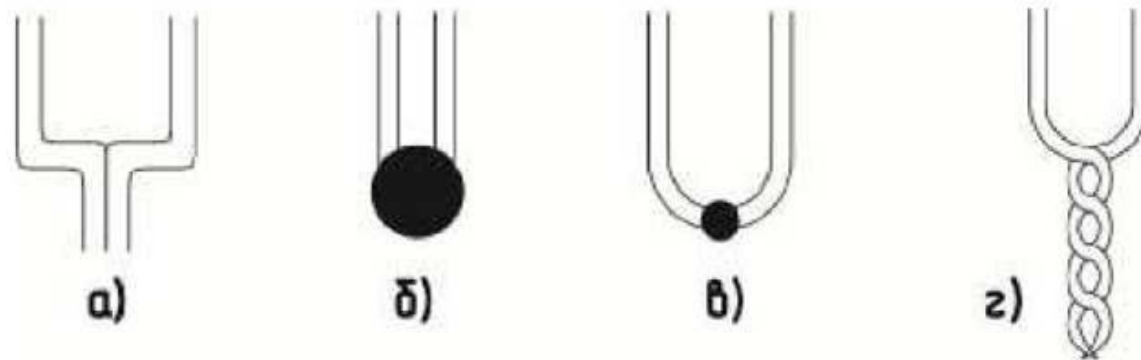
2 — железо / констант;

3 — медь / констант;

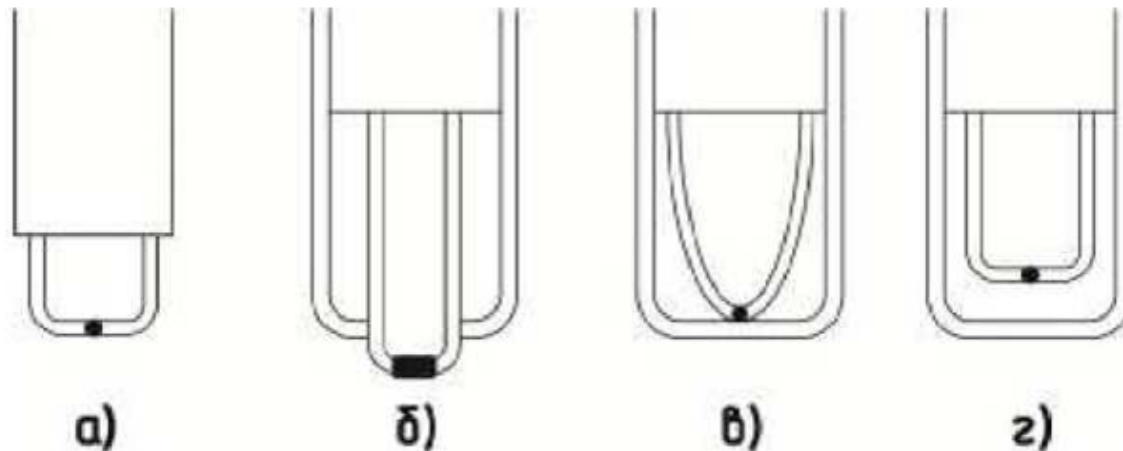
4 — никель-хром / никель-марганец-алюминий-

кремний; 5 — платина-родий / платина; платина-родий / платина;

6 — медь/константан



Формы спаев в термопарных температурных измерительных преобразователях: а — сваренные внахлест; б — развальцованные; в — сваренные встык; г — витые провода



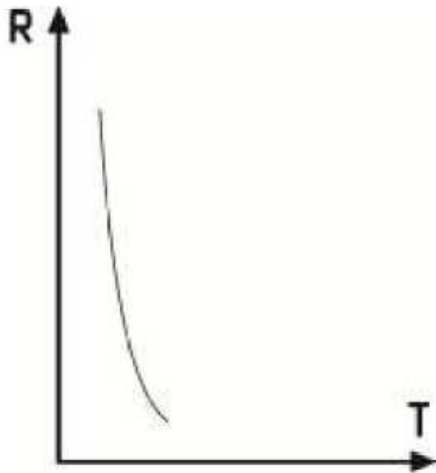
Типы термопарных зондов: а — открытый и незаземленный; б — открытый и заземленный; в — закрытый и заземленный; г — закрытый и незаземленный

Термисторы

— полупроводниковый резистивный прибор, сопротивление которого зависит от температуры. Диапазон температур от -50 до $+300^{\circ}\text{C}$.

$$R_T = A \exp(B/T),$$

где R_T — сопротивление; A — постоянная, значение которой для разных материалов различно; B — характеристическая температура прибора; T — температура, К.



По сравнению с резистивными преобразователями характеристики термисторов:

- более крутые, т. е. температурный коэффициент сопротивления у них существенно больше, чем в металлах;
- падают с увеличением температуры, т. е. температурный коэффициент сопротивления отрицательный.

Термисторные преобразователи с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления известны как NTC-термисторы (Negative Temperature Coefficient).

Существуют термисторы с положительным коэффициентом сопротивления PTC-термисторы (Positive Temperature Coefficient). Они чаще применяются не для измерения температуры, а, в частности, для предупреждения перегрева ($R = R_1 \exp(B/T - 1/T_1)$),

где R_1 известное сопротивление при некоторой температуре T_1