

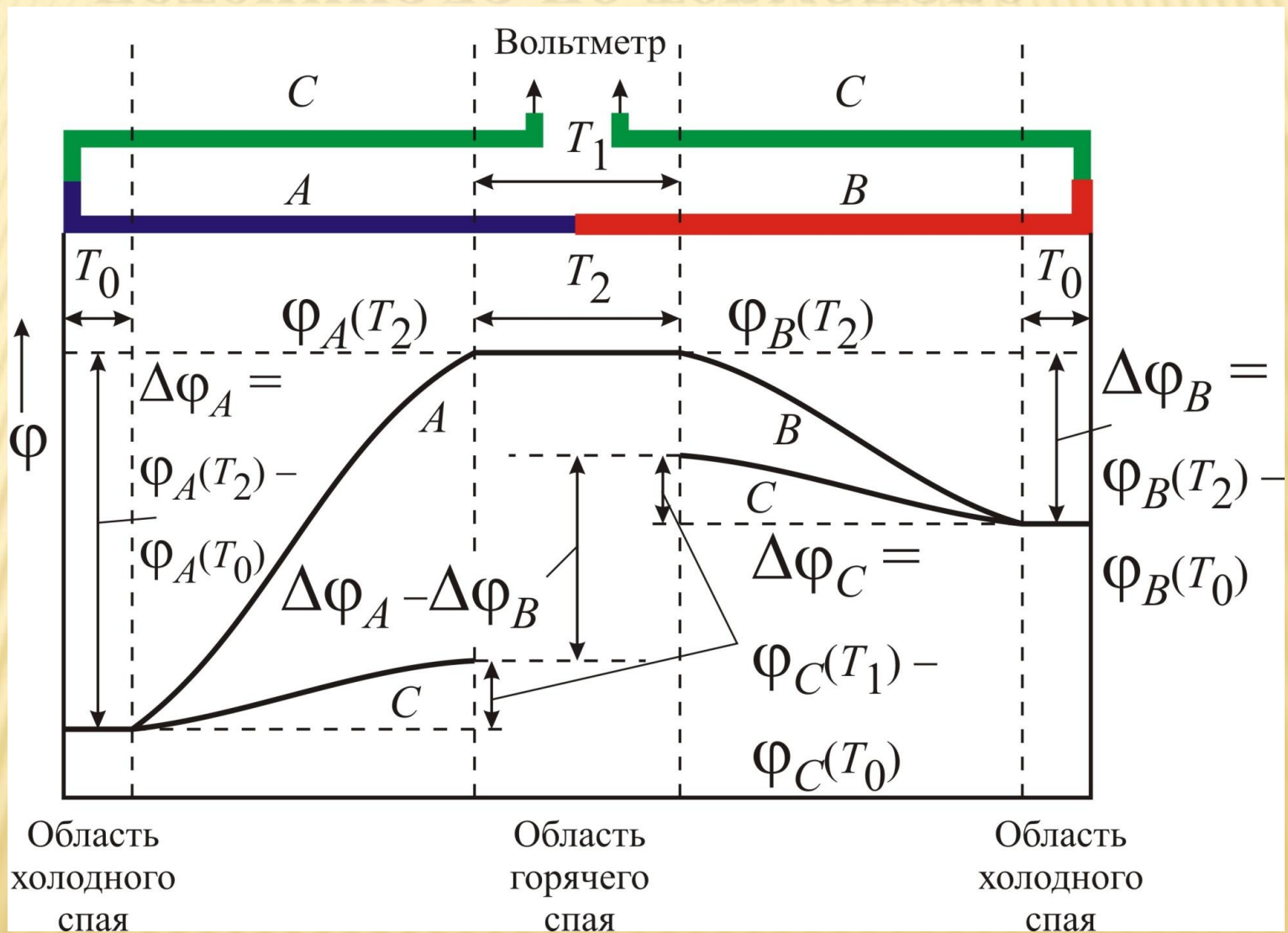
ТЕРМОПАРЫ

Принцип работы и классификация

1. Термо-ЭДС

- ✗ При разности температуры в проводнике возникает градиент химического потенциала электрона на концах проводника. Химический потенциал электрона на горячем конце проводника выше, чем на холодном. В результате возникают явления **термодиффузии** и **теплопроводности**, и электроны диффундируют от горячего конца проводника к холодному.
- ✗ Избыток электронов, возникший на холодном конце проводника, приводит к градиенту электрического потенциала $\nabla\phi$. Отрицательный заряд на холодном конце нарастает до момента достижения динамического равновесия между числом электронов с большой энергией, диффундирующих от горячего конца к холодному под действием градиента температуры ∇T , и числом электронов, перемещающихся от холодного конца к горячему под действием $\nabla\phi$. Градиент электрического потенциала $\nabla\phi$ существует, пока есть ∇T , и называется **термоэлектрической ЭДС**. Отсюда следует, что **термо-ЭДС не может возникнуть без ∇T**
- ✗ Энергия электронов и их рассеяние зависят от химического состава и структуры материала. В результате, термо-ЭДС разных металлических сплавов сильно отличаются друг от друга, что делает возможным применение этого явления для измерения температуры.

2. Распределение электрического потенциала по термопаре



3. Термопара

- ✗ Действие термопары основано на **эффекте Зеебека**, гласящем, что на стыке двух различных проводников, имеющих разность температур dT , возникает ЭДС:

$$E_{12} = \int_{T_0}^{T_2} \alpha_{12} dT, \quad E_{12} = -E_{21},$$

где $\alpha_{12} = \alpha_1 - \alpha_2$ – коэффициент термо-ЭДС между данными проводниками; α_i – коэффициенты дифференциальной термо-ЭДС 1-го и 2-го проводников.

Величина $\alpha \equiv \alpha_i$ считается положительной, если возникающий в проводнике термоток течет от горячего контакта к холодному. В некоторых случаях с изменением температуры α изменяет знак.

- ✗ **Основные требования**, предъявляемые к материалам пары термоэлектродных проводов, – это высокие и стабильные значения термо- ЭДС в диапазоне рабочих температур. Поэтому химический состав таких проводов должен выдерживаться очень точно (**прецизионные сплавы**).
- ✗ У крупных установок с большим числом термопар измерительные и опорные спаи могут быть сильно разнесены. В качестве удлинительной проволоки со стабильными характеристиками в интервале температур от 20 до 100 °С используются **компенсационные провода**.

4. Основные правила обращения с термоэлектрическими цепями

- ✗ **Правило Магнуса.** Термо-ЭДС, возникающая в замкнутой цепи, образованной парой однородных, изотропных проводников, зависит только от температуры спаев и не зависит от распределения температуры по длине проводников.
- ✗ **Правило аддитивности показаний по температуре.**
 $\exists T_1 > T_2 > T_3 \Rightarrow E(T_1, T_2) + E(T_2, T_3) = E(T_1, T_3).$
- ✗ **Правило аддитивности показаний по материалам.** $\exists$ последовательность материалов А-В-С $\Rightarrow E_{AB}(T_1, T_2) + E_{BC}(T_1, T_2) = E_{AC}(T_1, T_2).$

5. Примеры термопар

- ✗ **Константан** (МНМц40-1,5) применяется для создания медь-константановых термопар (диапазон рабочих температур: $-250 \div 300$ °С) и компенсационных проводов, например, к отрицательным электродам платинородий-платиновых термопар.
- ✗ Из медно-никелевых сплавов к термоэлектродным относится также **копель** (МНМц43-0,5); из сплавов на основе никеля – **алюмель** (НМцАК2-2-1), **хромель Т** (НХ9,5) и **хромель К** (НХ9).
- ✗ **Копель** используется, например, для хромель-копелевых ($-50 \div 800$ °С), железо-копелевых ($0 \div 760$ °С) и медь-копелевых термопар.
- ✗ **Хромель Т** – для хромель-алюмелевых термопар ($-50 \div 1300$ °С).
- ✗ **Хромель К** – для компенсационных проводов.
- ✗ Для измерения высоких температур в инертной среде до 2500 °С широко используются **вольфрам-рениевые** термопары (W–26 % Re/W и др.).
- ✗ Для работы в агрессивных средах применяются термопары из благородных металлов, например, **платинородий-платиновые** Pt–10 % Rh/Pt, Pt–13 % Rh/Pt ($100 \div 1600$ °С); **платинородий-платинородиевая** Pt–30 % Rh/Pt–6 % Rh ($300 \div 1800$ °С).

6. Типы термопар по ГОСТ Р 8.585-2001

Тип по [1]	Обозначение	Состав (+ / -)	ΔT , °C
R	ТПП(R)	Pt -13%Rh / Pt	-50 – 1768
S	ТПП(S)	Pt -10%Rh / Pt	-50 – 1768
B	ТПР	Pt -30%Rh / Pt-6%Rh	250 – 1820
J	ТЖК	Fe / константан	-210 – 760
T	ТМК(T)	Cu / константан	-200 – 400
E	ТХК _Н	хромель / константан	-200 – 1000
K	ТХА	хромель / алюмель	-200 – 1372
N	ТНН	нихросил / нисил	-200 – 1300
A (A-1, A-2, A-3)	ТВР	W-5%Re / W-20%Re	0 – 2500 (A-1) 0 – 1800 (A-2, A-3)
L	ТХК	хромель / копель	-200 – 800
M	ТМК(M)	Cu / копель	-200 – 100

✖ Это самые распространённые термопары. На практике используется большее количество термопар, характеризующихся, например, большей чувствительностью в некотором диапазоне температур, коррозионной стойкостью и/или другими особыми свойствами.

✖ [1] МЭК 60584-3 (1989—06) Термопары.

7. Особенности применения

- ✗ Поскольку термо-ЭДС зависит от химического состава, структуры (кристаллической, зёрненной, дефектной) и напряжённого (деформированного) состояния материала, то различные механические, термические, радиационные и химические воздействия на материал термопары приводят к изменению показаний. Чем сильнее воздействие, тем меньше срок службы термопары.
- ✗ Изменение термо-ЭДС термопар ХА во время эксплуатации при высоких температурах в воздухе – результат двух процессов: роста зёрен при рекристаллизации и окисления легирующих примесей.
- ✗ Использование ТХА при высоких температурах без защитной арматуры в агрессивных средах, содержащих H_2 , S_2 , CH_4 , CO , CO_2 , может приводить к занижению показателей **на 150 °С через 300 часов эксплуатации.**
- ✗ Термопара НН в 2–5 раз стабильнее ТХА, а также более коррозионностойкая.
- ✗ Наиболее коррозионно-стойкие термопары ПП и ПР.
- ✗ Термопары ВР показывают высокую химическую стойкость при высоких температурах только при работе в вакууме, водороде, среде инертного газа.

8. Компенсационные провода

- ✗ Удлинительные и/или компенсационные провода применяются для удешевления термопар с целью их значительного удлинения.
- ✗ Удлинительные провода изготавливают из сплавов того же химического состава, что и термопара из неблагородного металла.
- ✗ В компенсационных проводах химический состав отличается от состава термопар.
- ✗ Сплав ТП (МН0,6К0) для ТПР. Сплавы МТ (Cu-Ti) и НМ (Ni-Cu) для ТХА. Сплавы КП (МК4) и КПР (МНМц) для ТПР. Сплавы МН-1,2 и МН-2,4 в сочетании с медной проволокой М1 для ТВР.