

- Проводники
  - Сопротивление
  - Электропроводимость
    - Площадь сечения
- Расчетная работа №1
  - Температура и сопротивление
    - Проводники круглого сечения
- Расчетная работа №2
  - Материалы с высоким сопротивлением
- Расчетная работа №3

## Проводники

---

1. Металлические 1.1. Металлы высокой проводимости 1.2. Сверхпроводники 1.3. Высокотемпературные сверхпроводники 1.4. Криопроводники 1.5. Сплавы высокого сопротивления 1.6. Металлы и сплавы спец. назначения
2. Неметаллические 2.1. Угольные (графитовые) 2.2. Композиционные материалы

## Сопротивление

---

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- $R$  - электрическое сопротивление (Ом)
- $\rho$  - удельное сопротивление (Ом · м)
- $l$  - длина проводника (м)
- $S$  - площадь сечения (м<sup>2</sup>)

$$l = \frac{RS}{\rho}$$

$$S = \frac{\rho l}{R}$$

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

# Электропроводимость

---

Это величина обратная удельному сопротивлению

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

## Площадь сечения

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

## Расчетная работа №1

---

Дано:

- Материал - алюминий
- $l$  - 300m
- $d$  - 1,6mm

Найти:

- $R$
- $R_{80\%}$
- $R_{\frac{1}{3}}$

Решение:

Конечно, используем удельное сопротивление алюминия, равное  $0.0278 \Omega \cdot mm^2/m$ , для пересчета значений.

### 1. Сопротивление всего провода R:

Площадь поперечного сечения  $S$ :

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad S = \frac{\pi \times (1.6 mm)^2}{4} \quad S \approx 2.01 mm^2$$

Сопротивление всего провода:

$$R = \frac{0.0278 \Omega \cdot mm^2/m \times 300 m}{2.01 mm^2} \quad R \approx 4.15 \Omega$$

## 2. Сопротивление провода в 80% от длины (R80%):

Длина провода в 80% от общей длины составляет  $0.8 \times 300 \text{ м} = 240 \text{ м}$ .

$$R_{80\%} = \frac{0.0278 \Omega \cdot \text{мм}^2 / \text{м} \times 240 \text{ м}}{2.01 \text{ мм}^2} \quad R_{80\%} \approx 3.32 \Omega$$

## 3. Сопротивление провода, сложенного в три раза (R1/3):

При сложении провода в три раза, его длина уменьшится в три раза, а площадь поперечного сечения увеличится в три раза.

$$\text{Длина после сложения: } \frac{300 \text{ м}}{3} = 100 \text{ м}$$

$$\text{Новая площадь поперечного сечения: } 3 \times 2.01 \text{ мм}^2 = 6.03 \text{ мм}^2$$

$$R_{1/3} = \frac{0.0278 \Omega \cdot \text{мм}^2 / \text{м} \times 100 \text{ м}}{6.03 \text{ мм}^2} \quad R_{1/3} \approx 0.46 \Omega$$

**Таблица ответов:**

$S$ $\text{мм}^2$	$R$ $\Omega$	$l_{80\%}$ $\text{м}$	$R_{80\%}$ $\Omega$	$l_{\frac{1}{3}}$ $\text{м}$	$R_{\frac{1}{3}}$ $\Omega$
2.01	4.15	240	3.32	100	0.46

# Температура и сопротивление

Удельное сопротивление металлов при нагревании увеличивается.

Удельное сопротивление электролитов и угля при нагревании уменьшается.

Температурный коэффициент сопротивления  $\alpha$  показывает на сколько увеличивается сопротивление проводника в 1 Ом при увеличении температуры на 1 °С.

$$R = R_{\text{станд}} [1 + \alpha(T - T_{\text{станд}})]$$

- $R$  - сопротивление проводника при  $T$  в омах,  $\Omega$ .
- $R_{\text{станд}}$  - стандартное (нормальное) сопротивление проводника при определенных условиях в омах,  $\Omega$ . Это известное сопротивление при стандартной температуре (обычно 20°C).

- $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления проводника (в  $1/^\circ\text{C}$ ). Этот коэффициент показывает, насколько изменяется сопротивление проводника при изменении температуры на  $1$  градус Цельсия.
- $T$  - текущая температура проводника в градусах Цельсия.
- $T_{\text{станд}}$  - стандартная (нормальная) температура, при значении  $\alpha$

## Проводники круглого сечения

$$R = \rho_{20} \frac{4l_{np}}{\pi d^2 / (1 + \alpha_t(t - 20^\circ))}$$

- $R$  - сопротивление проводника (в омах,  $\Omega$ ).
- $\rho_{20}$  - удельное сопротивление материала проводника при температуре  $20^\circ\text{C}$  (в омах на метр,  $\Omega \cdot m$ ).
- $l_{np}$  - длина проводника между точками, для которых рассчитывается сопротивление (в метрах,  $m$ ).
- $d$  - диаметр проводника (в миллиметрах,  $mm$ ).
- $\alpha_t$  - температурный коэффициент изменения удельного сопротивления проводника с температурой (в  $1/^\circ\text{C}$ ).
- $t$  - текущая температура проводника в градусах Цельсия.

## Расчетная работа №2

---

**Дано:**

- $l$  - 1200 м
- $d$  - 0.35 мм
- $T$  - от 0 до  $500^\circ\text{C}$  с шагов  $50^\circ\text{C}$
- $\rho_{20}$  -  $0.13 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$
- $\alpha_t$  -  $0.00625 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ .

**Решение:**

1. Площадь поперечного сечения проводника  $S$ :

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad S = \frac{\pi \times (0.35 \text{ мм})^2}{4} \quad S \approx 0.096 \text{ мм}^2$$

2. Сопротивление при различных температурах от  $0^\circ\text{C}$  до  $500^\circ\text{C}$  с шагом  $50$  градусов с использованием формулы:

$$R(t) = \rho_{20} \times \frac{4 \times l_{np}}{\frac{\pi \times d^2}{1 + \alpha_t \times (t - 20^\circ)}}$$

$$R(0^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (0 - 20)}} \approx 1418.75 \Omega$$

$$R(50^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (50 - 20)}} \approx 1925.45 \Omega$$

$$R(100^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (100 - 20)}} \approx 2432.14 \Omega$$

$$R(150^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (150 - 20)}} \approx 2938.84 \Omega$$

$$R(200^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (200 - 20)}} \approx 3445.54 \Omega$$

$$R(250^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (250 - 20)}} \approx 3952.23 \Omega$$

$$R(300^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (300 - 20)}} \approx 4458.93 \Omega$$

$$R(350^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (350 - 20)}} \approx 4965.63 \Omega$$

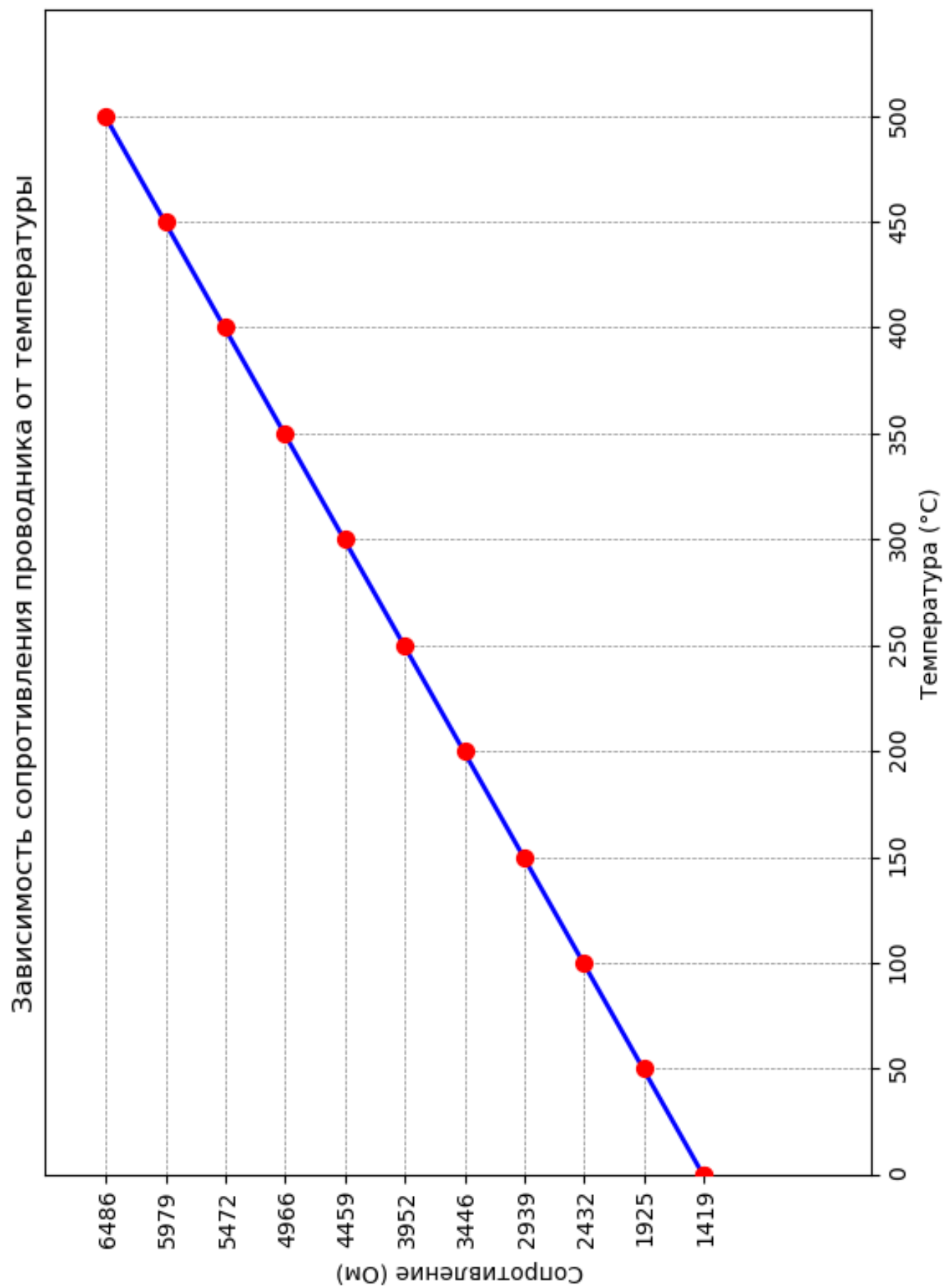
$$R(400^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (400 - 20)}} \approx 5472.33 \Omega$$

$$R(450^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (450 - 20)}} \approx 5979.02 \Omega$$

$$R(500^\circ C) = 0.13 \times \frac{4 \times 1200}{\frac{\pi \times (0.35 \text{ mm})^2}{1 + 0.00625 \times (500 - 20)}} \approx 6485.72 \Omega$$

**3. График (на всю страницу):**

<br><br>



# Материалы с высоким сопротивлением

**Нихром** X20H80 — Cr 20 %, Ni 80 %. **Нихром** X15H60 — Ni 60 %, Cr 16 %, Fe 24 %

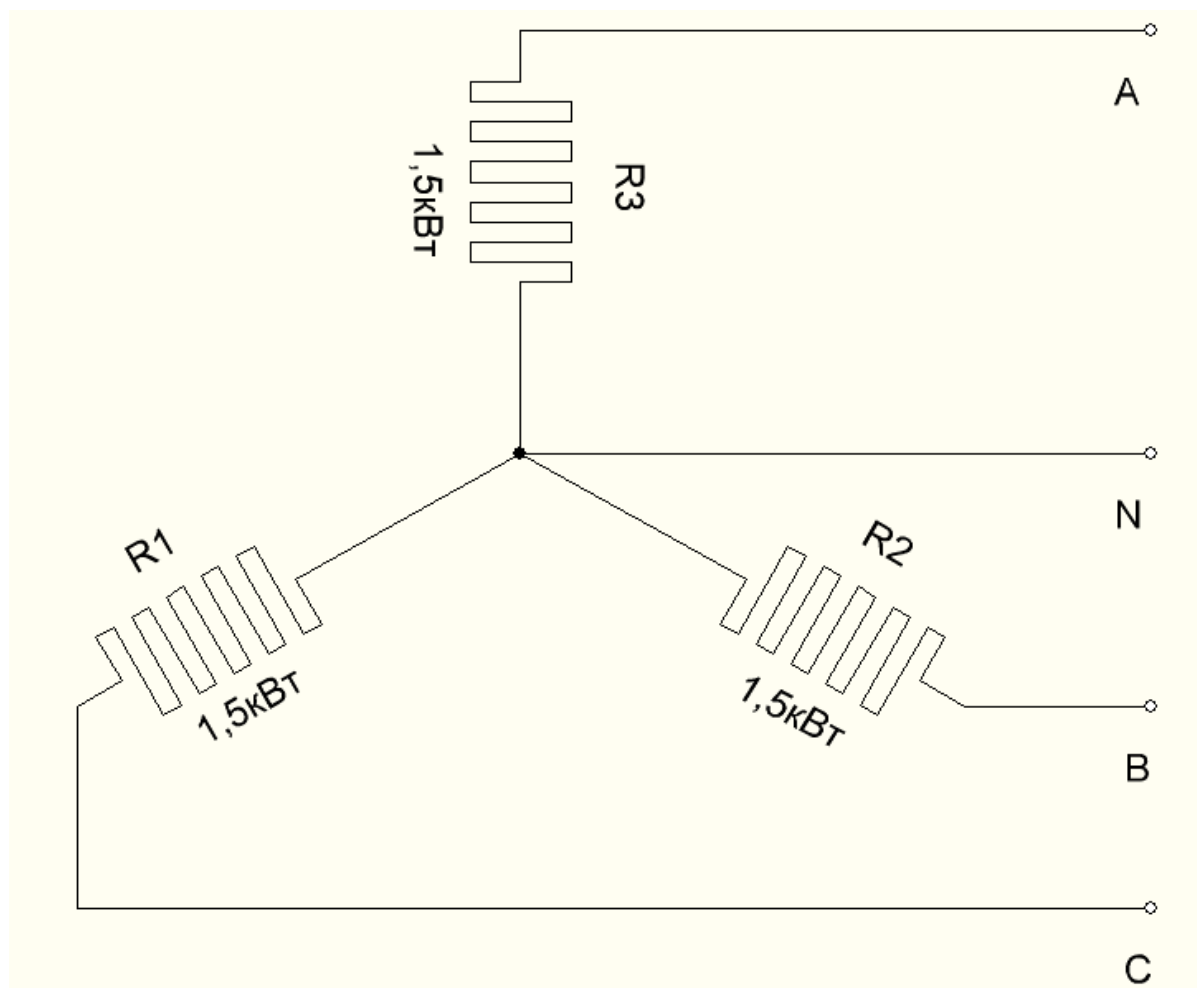
**Фехраль** — прецизионный сплав на основе железа состоящий из следующих элементов: Cr (12—27 %); Al (3,5— 5,5 %); Si (1 %); Mn (0,7 %); остальное — Fe.

**Манганин** - Меди в из составе — от 84 до 86%, марганца — от 11 до 13%, никеля — от 2 до 3%.

**Константан** - никеля — от 39 до 41%, меди — 60-65%, значительно меньше марганца — 1-2%

**Нейзильбер** (от нем. Neusilber — «новое серебро») — сплав меди с 5—35 % никеля и 13—45 % цинка

## Расчетная работа №3



**Дано:**

- Материал - X20H80
- $P = 1500\text{Вт}$
- $U = 380\text{В}$
- $T = 900^\circ\text{C}$

**Найти:**

- $d$  - диаметр провода
- $l$  - длина провода

**Решение:**

1. В соответствии с принципиальной электрической схемой и данными задачи мы имеем дело с 380Вольтами, т.е. 3 фазы (А, В, С) и одна нейтраль (N). Напряжение между одной фазой и нейтралью составляет 220 Вольт. Таким образом мы имеем дело с тремя нагревательными элементами (R1, R2, R3), каждый из которых имеем одинаковую мощность 1500Вт. Следовательно, рассчитаем длину и диаметр провода для одного нагревательного элемента и перемножим на 3, тогда получим общую длину провода.

$$2. I = \frac{P}{U} = \frac{1500}{220} \approx 6.81\text{А}$$

$$3. R = \frac{U}{I} = \frac{220}{6.81} \approx 32.3\Omega$$

4. В соответствии с полученными значениями выбираем из таблицы данные для нихромовой проволоки при температуре нагрева 900 градусов Цельсия. Ближайшим значением, в большую сторону силы тока (7.6А) в таблице будет следующие показатели:

- $d = 0.55\text{ мм}$
- $S = 0.238\text{мм}^2$
- $\rho = 1,11\Omega \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

$$4. l = R \times \frac{S}{\rho} = 32.3 \times \frac{0.238}{1.11} \approx 6.93\text{м}$$

$$5. 6.93 \times 3 \approx 20.78\text{м}$$

**Ответ:** длина провода с диаметром 0.55мм и сечением  $0.238\text{мм}^2$  для одного нагревательного элемента равна 6.93м. А длина провода необходимая для всего нагревательного устройства равна 20.78 метра.