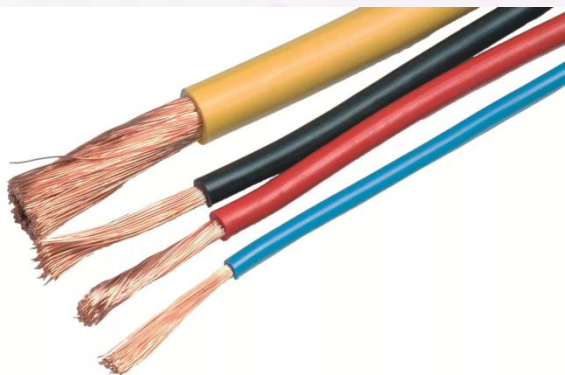


ОСНОВЫ ЭЛЕКТРО- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

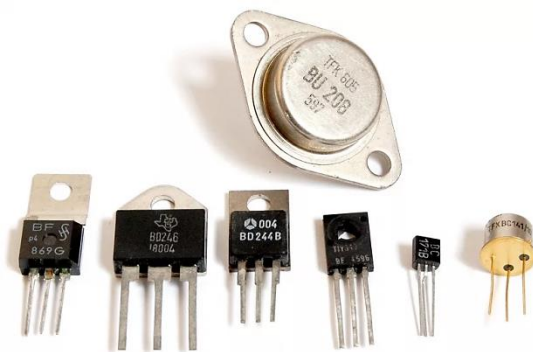
Проводники

Хорошо проводят
электрический ток



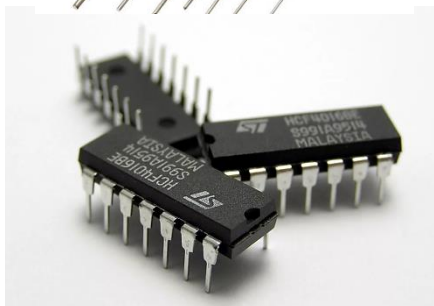
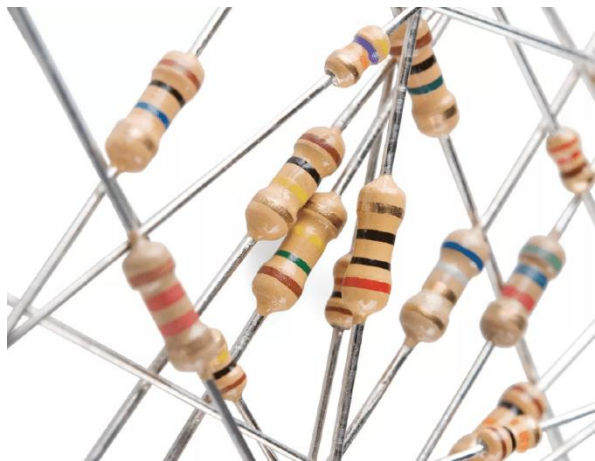
Полупроводники

Занимают по проводимости
промежуточное положение



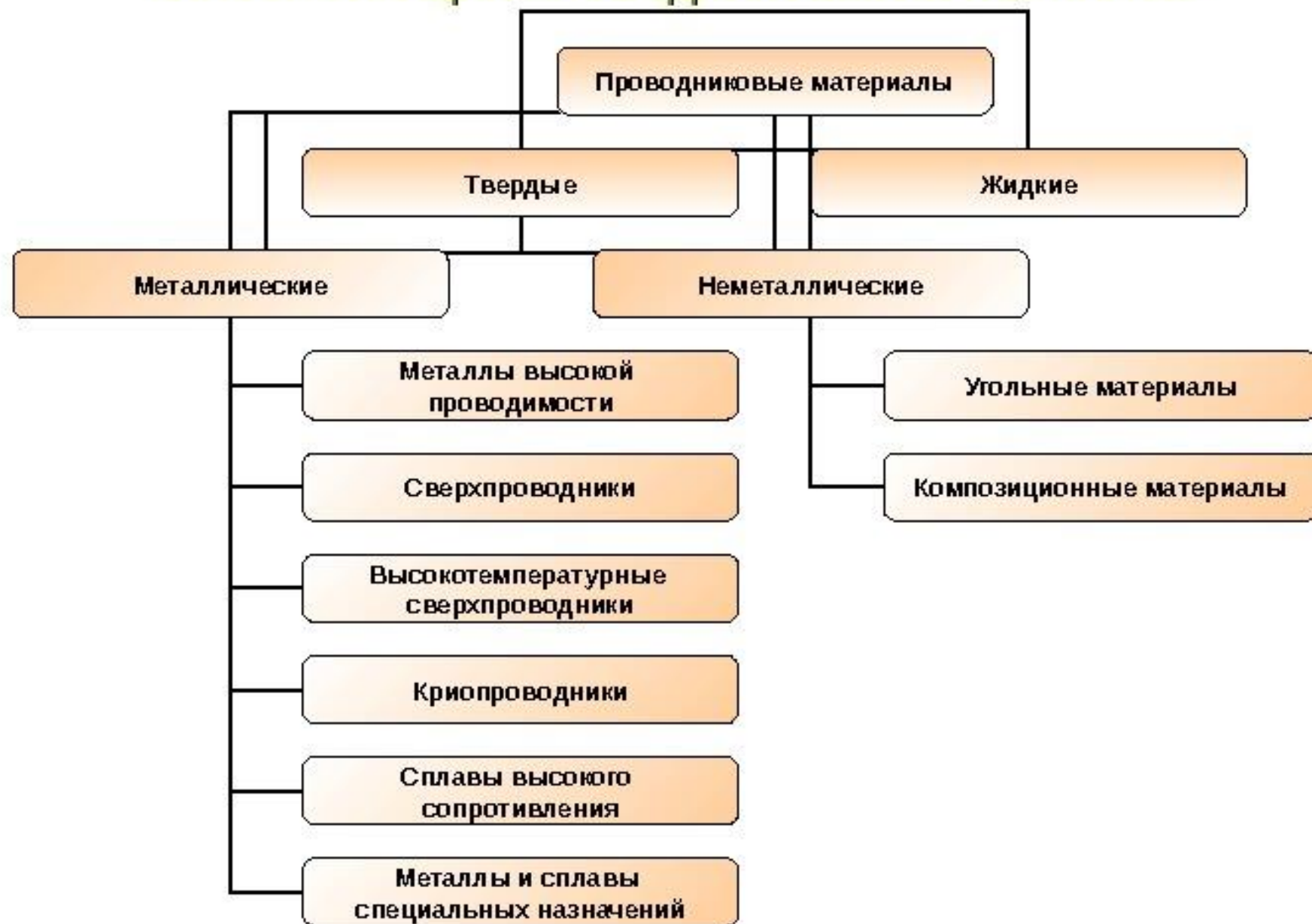
Диэлектрики

Практически не проводят
электрический ток



Проводниковые материалы

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ



Температуры плавления металлов

Металл	Обоз- начение	Температура плавления, °C
Медь	Cu	1083
Серебро	Ag	961
Золото	Au	1063
Вольфрам	W	3400
Олово	Sn	231.9
Свинец	Pb	327.4
Германий	Ge	936
Железо	Fe	1539
Кобальт	Co	1494
Никель	Ni	1455
Цинк	Zn	906
Ртуть	Hg	- 38.89
Натрий	Na	886
Титан	Ti	1665
Алюминий	Al	657

Температуры плавления некоторых сплавов

Сплав	Состав	Температура плавления, °C
Сталь	Железо (Fe), углерод (C)	1150-1200
Чугун	Железо (Fe), углерод (C)	1320-1700
Бронза	Медь (Cu) олово(Sn)	
Сплав Вуда	Свинец (Pb) олово (Sn) висмут (Bi) кадмий (Cd)	60

Электрическое сопротивление — физическая величина, характеризующая свойства проводника препятствовать прохождению электрического тока и равная отношению напряжения на концах проводника к силе тока, протекающего по нему

Чем ниже сопротивление проводника тем выше ток, электрическая энергия расходуемая на преодоление сопротивления превращается в тепловую энергию

Электрическое сопротивление
проводника прямо
пропорционально
произведению удельного
сопротивления материала из
которого сделан проводник на его
длину, и обратно
пропорционально его сечению.

***Сопротивление
проводника зависит от:***

1- его длины,

2- площади поперечного сечения

***3- от вещества из которого он
изготовлен,***

**Удельное сопротивление -
физическая величина которая
определяет сопротивление
проводника из данного вещества
длиной 1м, и площадью
поперечного сечения 1мм²**

- Удельное сопротивление обозначается
буквой – ρ (Ом • м/мм²)

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

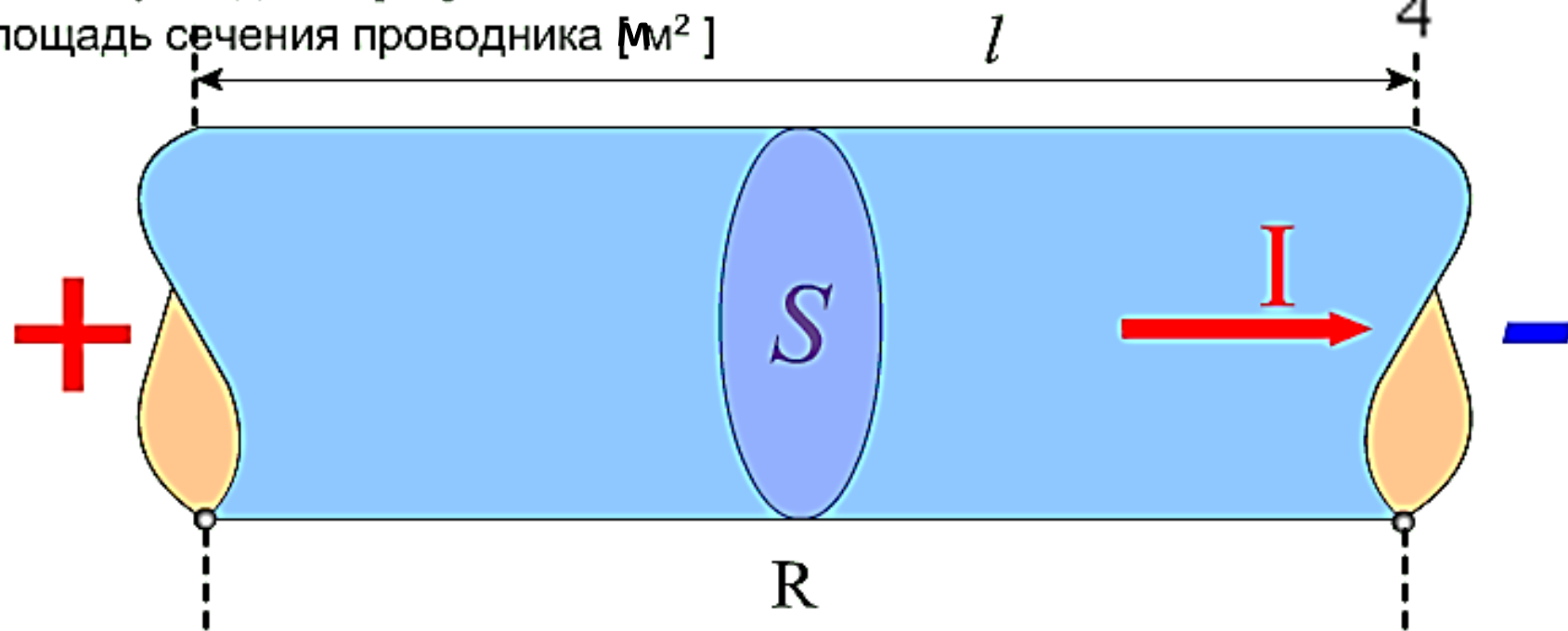
R - электрическое сопротивление проводника [Ом]

ρ - удельное сопротивление проводника [Ом·м]

l - длина проводника [м]

S - площадь сечения проводника [м²]

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



Получим еще несколько разновидностей формул:

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

S – площадь поперечного сечения

R – сопротивление проводника

ρ – удельное сопротивление проводника

l – длина проводника

Электрическая проводимость (электропроводность) количественно характеризует способность проводника пропускать электрический ток.

Единица проводимости в СИ - *сименс* (См):

1 См - проводимость участка электрической цепи сопротивлением 1 Ом.

Величину, обратную удельному сопротивлению называют *удельной электрической проводимостью*.

$$\gamma = 1 / \rho$$

γ - Электрическая проводимость

ρ - Удельное сопротивление (Ом • м/мм²)

Справочные данные

Материал проводника	Удельное сопротивление ρ , (Ом·мм ²)/м	Удельная проводимость γ , м/(Ом·мм ²)	Температурный коэффициент α , 1/°C
Проводниковая медь	0,0176	57	0,004
Алюминий	0,0278	35	0,0045
Латунь	0,04	25	0,002
Вольфрам	0,0612	16,34	0,0047
Стальная проволока	0,13	7,7	0,00625
Манганин	0,42	2,4	0,000006
Константан	0,49	2,0	0,000005
Нихром	0,98	1,01	0,0003
Фехраль	1,2	0,83	0,00028

Задача.

Определить сопротивление(R) медного провода длиной 260 метров если его диаметр (d) 1,8 мм

Дано:

$$d = 1,8 \text{ мм}$$

$$l = 260 \text{ м}$$

$$\rho_{\text{(медь)}} = 0,0176 \text{ Ом} \cdot \text{м} / \text{мм}^2$$

S = площадь поперечного сечения провода мм^2

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



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

Где $d=1,8\text{мм}$

Сечение провода равно:

$$S = \frac{3,14 \cdot 1,8^2}{4} = 2,5\text{мм}^2$$

Справочные данные

Материал проводника	Удельное сопротивление ρ , (Ом·мм ²)/м	Удельная проводимость γ , м/(Ом·мм ²)	Температурный коэффициент α , 1/°C
Проводниковая медь	0,0176	57	0,004
Алюминий	0,0278	35	0,0045
Латунь	0,04	25	0,002
Вольфрам	0,0612	16,34	0,0047
Стальная проволока	0,13	7,7	0,00625
Манганин	0,42	2,4	0,000006
Константан	0,49	2,0	0,000005
Нихром	0,98	1,01	0,0003
Фехраль	1,2	0,83	0,00028

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

$$R = 0,0176 \cdot \frac{260}{2,5} = 1,76 \text{ Ом}$$

Ответ : Сопротивление медного провода длиной 260 метров равно $R = 1,76 \text{ Ом}$

Задача.

Определить сопротивление(R) медного провода длиной 260 метров сложенного в двое если его диаметр (d) 1,8 мм

Дано:

$$l = 260 \text{ м}$$

$$\rho_{\text{(медь)}} = 0,0176 \text{ Ом} \cdot \text{м} / \text{мм}^2$$

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

S = площадь поперечного сечения провода мм

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

При сложении провода пополам его длина уменьшается в 2 раза (на 1/2 или 50%) а общее сечение провода увеличивается в 2 раза

$$R = 0,0176 \cdot \frac{130}{5} = 0,45 \text{ Ом}$$

Ответ : Сопротивление медного провода равно $R = 0,45 \text{ Ом}$

Расчетная работа №1

Электроматериаловедение

ТЕМА: Проводниковые материалы и изделия. Расчет сопротивления проводника

1. По полученным данным выданного задания произвести расчет сопротивления провода.(полная запись решения ,округлять до 0,01)
2. Полученные данные занести в таблицу ответов.

S $мм^2$	R (Ом)	$l_{80\%}$ (м)	$R_{80\%}$ (Ом)	$l_{1/3}$ (м)	$R_{1/3}$ (Ом)

Алюминиевый провод имеет длину 300 м и диаметр 1,6 мм. Найти сопротивление всего провода (R) , Сопротивление провода в 80 % ($R_{80\%}$) от длины и сопротивление провода сложенного в три раза . ($R_{1/3}$)

Температура проводника и его сопротивление

- Удельное сопротивление металлов при нагревании увеличивается в результате увеличения скорости движения атомов в материале проводника с возрастанием температуры. Удельное сопротивление электролитов и угля при нагревании, наоборот, уменьшается, так как у этих материалов, кроме увеличения скорости движения атомов и молекул, возрастает число свободных электронов и ионов в единице объема.

Температурный коэффициент сопротивления α показывает на сколько увеличивается сопротивление проводника в 1 Ом при увеличении температуры (нагревании проводника) на 1 °C.

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

Где,

R = Сопротивление провода при температуре " T "

R_{ref} = Сопротивление провода при стандартной температуре $T_{\text{станд}}$, обычно 20°C , но иногда 0°C .

α = Температурный коэффициент сопротивления для конкретного проводящего материала.

T = Температура провода в градусах Цельсия.

T_{ref} = Стандартная температура, при которой даны значения α для проводящих материалов.

Материал проводника	Удельное сопротивление ρ , (Ом·мм ²)/м	Удельная проводимость γ , м/(Ом·мм ²)	Температурный коэффициент α , 1/°C
Проводниковая медь	0,0176	57	0,004
Алюминий	0,0278	35	0,0045
Латунь	0,04	25	0,002
Вольфрам	0,0612	16,34	0,0047
Стальная проволока	0,13	7,7	0,00625
Манганин	0,42	2,4	0,000006
Константан	0,49	2,0	0,000005
Нихром	0,98	1,01	0,0003
Фехраль	1,2	0,83	0,00028

Расчет проводников круглого сечения

$$R = \rho_{20} \frac{4l_{np}}{\pi d^2 (1 + \alpha_t (t - 20^0))}$$

Где:

R – сопротивление провода (Ом)

$\rho_{(20)}$ - удельное сопротивление материала при $t = 20$ градусов

$l_{np.}$ – длина провода (м)

π – 3,14

α_t – температурный коэффициент материала провода.

d – диаметр провода (мм).

t – температура провода

- Определить сопротивление(R) медного провода длиной 260 метров если его диаметр (d) при измерении ШЦ-1 составил 1,8 мм нагретого до температуры 280 градусов $^{\circ}\text{C}$

Дано:

$$l = 260 \text{ м}$$

$$\rho_{(\text{медь})} = 0,0176 \text{ Ом} \cdot \text{м} / \text{мм}^2$$

$$\alpha_t = 0,004$$

$$d = 1,8 \text{ мм}$$

Материал проводника	Удельное сопротивление ρ , (Ом·мм ²)/м	Удельная проводимость γ , м/(Ом·мм ²)	Температурный коэффициент α , 1/°C
Проводниковая медь	0,0176	57	0,004
Алюминий	0,0278	35	0,0045
Латунь	0,04	25	0,002
Вольфрам	0,0612	16,34	0,0047
Стальная проволока	0,13	7,7	0,00625
Манганин	0,42	2,4	0,000006
Константан	0,49	2,0	0,000005
Нихром	0,98	1,01	0,0003
Фехраль	1,2	0,83	0,00028

$$R = \rho_{20} \frac{4l_{np}}{\pi d^2 / (1 + \alpha_t (t - 20^0))}$$

$$R = 0,0176 \frac{4 \bullet 260}{3,14 \bullet 1,8^2 / (1 + 0,004(280 - 20))} =$$

$$= \underline{3,67 \text{ OM}}$$

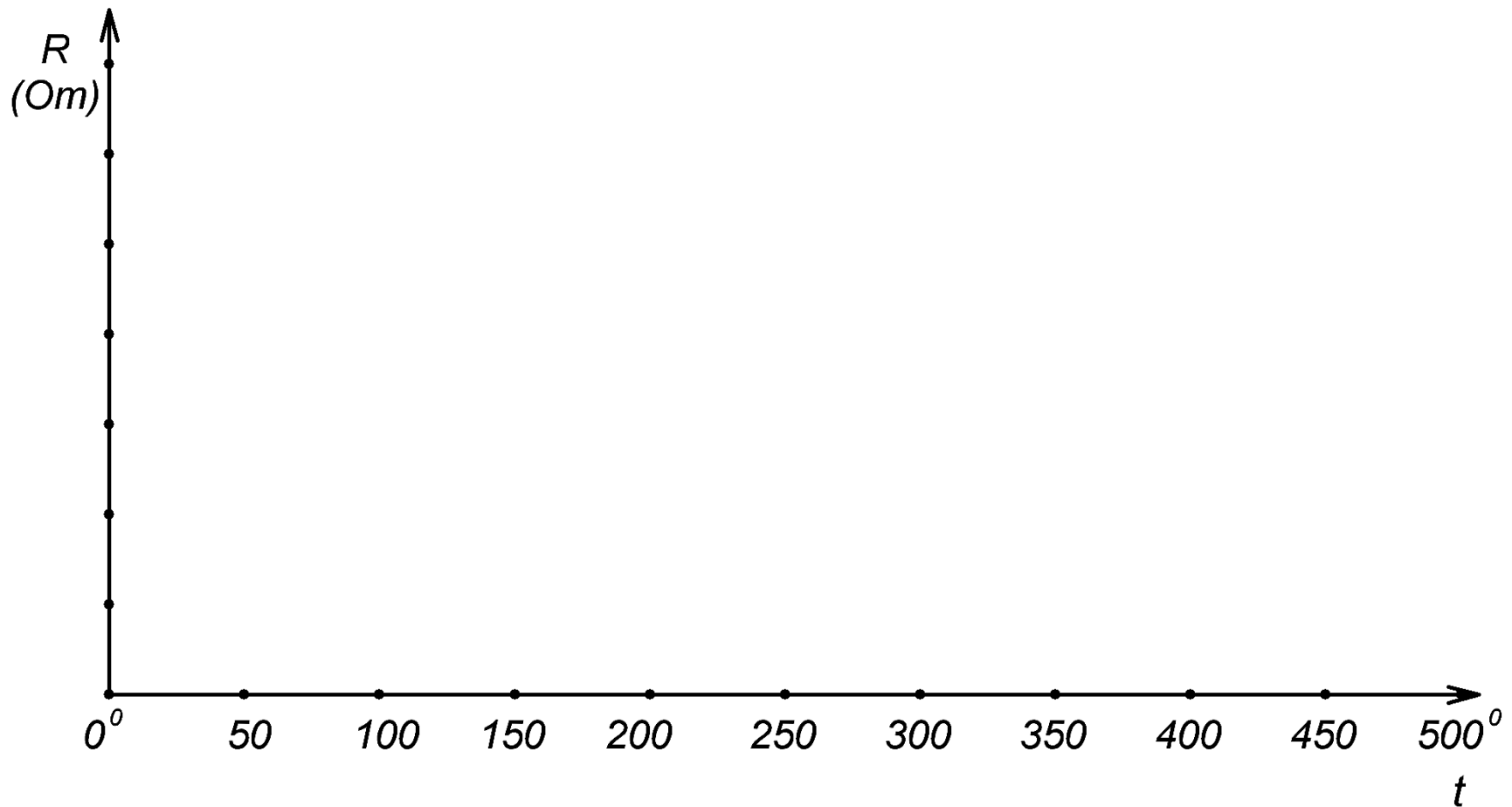
Расчетная работа №2

Электроматериаловедение

ТЕМА: Расчет сопротивления проводника в зависимости от температуры

1. По данным задания произвести расчет сопротивления провода при изменении его температуры (полная запись решения, округлять до 0,1)
2. По полученным данным построить график зависимости температуры провода от его сопротивления.

Стальной провод имеет длину 1200 м и диаметр 0,35 мм. Найти сопротивление всего провода (R), при температуре от 0 – 500 $^{\circ}\text{C}$ шаг изменения температуры 50 градусов. Построить график зависимости изменения сопротивления проводника от повышения температуры



Материалы с высоким сопротивлением

Нихром Х20Н80
0,8 мм.
1000 г./250 м.

Нихром Х20Н80
0,3 мм.
300 г.

Нихром Х20Н80
0,3 мм.
100 г.

Нихром Х20Н80
0,4 мм.
250 г.

Нихром Х20Н80
0,5 мм.
600 г./300 м.

Нихром Х20Н80
0,3 мм.
200 г.

0,5 мм.
600 г./300 м.

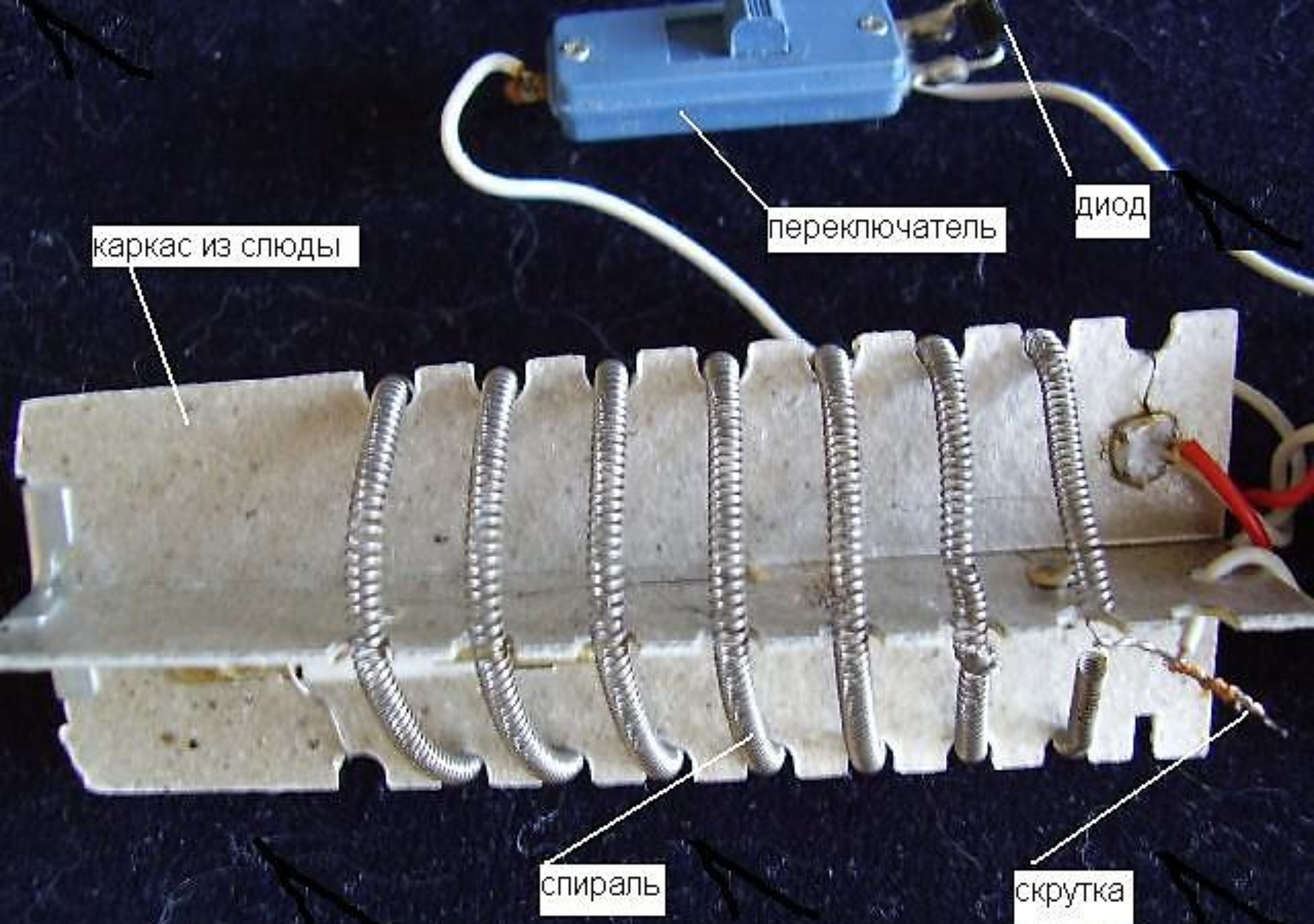
Нихром Х20Н80
0,8 мм.
1000 г./250 м.

Нихром — общее название группы сплавов, состоящих, в зависимости от марки сплава, из 55—78 % никеля, 15—23 % хрома, с добавками марганца, кремния, железа, алюминия.

Нихром Х20Н80 — Cr 20 %, Ni 80 %.

Нихром Х15Н60 — 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.

26—28 % Хром, ~65-68 % Железо,

Х27Ю5Т 5—5,8 % Алюминий, 0,15—0,4 %

Титан



Константан

Константан, в отличие от манганина, содержит больше никеля — от 39 до 41%, меньше меди — 60-65%, значительно меньше марганца — 1-2%, - это тоже медно-никелевый сплав. Температурный коэффициент сопротивления у константана приближается к нулю — это главное достоинство данного сплава.



Манганин

Для изготовления точных сопротивлений традиционно используют манганины. Манганины состоят из никеля, меди и марганца. Меди в их составе — от 84 до 86%, марганца — от 11 до 13%, никеля — от 2 до 3%. Самый же популярный из манганинов сегодня содержит 86% меди, 12% марганца и 2% никеля.



Нейзильбер (от нем. *Neusilber* — «новое серебро») — сплав меди с 5—35 % никеля и 13—45 % цинка. Благодаря содержанию цинка сплав несколько дешевле аналогичного по внешнему виду и механическим свойствам МНЦ 15-20 (Ni — 15 %, Zn — 20 %, остальное — Cu)



Материал	Плотность, 10^3 кг/м^3	Температура плавления, °C	Наибольшая рабочая температура, °C	Удельное электрическое сопротивление при 20 °C, $10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$	Температурный коэффициент сопротивления при 20 °C, 1/град	Применение
Нихром	8,2	1360	1000	1,1	$1,7 \cdot 10^{-4}$	Лабораторные и промышленные печи с рабочей температурой до 900 °C
Фехраль	7,6	1450	850	1,2	$5 \cdot 10^{-4}$	Бытовые электронагревательные приборы и промышленные электропечи с рабочей температурой до 650 °C
Константан	8,8	1270	450—500	0,5	$(0,2—5) \cdot 10^{-3}$	Реостаты и резисторы приборов низкого качества точности. Нагревательные элементы с температурой до 450 °C
Манганин	8,3	940	250—300	0,46	$\pm(3—6) \cdot 10^{-3}$	Эталонные и образцовые сопротивления, магазины сопротивлений и сопротивления приборов высокой точности
Нейзильбер	8,4	1050	200—250	0,35	$2,9 \cdot 10^{-6}$	Реостаты

расчет диаметра и длины нагревательного элемента

Исходные данные:

Устройство мощностью $P = 800$ Вт; напряжение сети $U = 220$ В; температура нагревателя 800 °С. В качестве нагревательного элемента используется нихромовая проволока Х20Н80.



1. Сначала необходимо определить силу тока, которая будет проходить через нагревательный элемент:

$$I = P / U = 800 / 220 = 3,63 \text{ А.}$$

2. Теперь нужно найти сопротивление нагревателя:

$$R = U / I = 220 / 3,63 = 61 \text{ Ом;}$$

3. Исходя из значения полученной в п. 1 силы тока, проходящего через **нихромовый нагреватель**, нужно выбрать диаметр проволоки. И этот момент является важным. Если, например, при силе тока в 6 А использовать нихромовую проволоку диаметром 0,4 мм, то она сгорит. Поэтому, рассчитав силу тока, необходимо выбрать из таблицы соответствующее значение диаметра проволоки. В нашем случае для силы тока 3,63 А и температуры нагревателя 800 °С выбираем нихромовую проволоку с диаметром $d = 0,35$ мм и площадью поперечного сечения $S = 0,096$ мм².

Общее правило выбора диаметра проволоки можно сформулировать следующим образом: необходимо выбрать проволоку, у которой допустимая сила тока не меньше, чем расчетная сила тока, проходящего через нагреватель. ***С целью экономии материала нагревателя следует выбирать проволоку с ближайшей большей (чем расчетная) допустимой силой тока.***

Допустимая сила тока, проходящего через нагреватель из нихромовой проволоки, соответствующая определенным температурам нагрева проволоки, подвешенной горизонтально в спокойном воздухе нормальной температуры

Диаметр нихромовой проволоки, мм	Площадь поперечного сечения нихромовой проволоки, мм ²	Температура нагрева нихромовой проволоки, °C						
		200	400	600	700	800	900	1000
		Максимальная допустимая сила тока, А						
5	19,6	52	83	105	124	146	173	206
4	12,6	37,0	60,0	80,0	93,0	110,0	129,0	151,0
3	7,07	22,3	37,5	54,5	64,0	77,0	88,0	102,0
2,5	4,91	16,6	27,5	40,0	46,6	57,5	66,5	73,0
2	3,14	11,7	19,6	28,7	33,8	39,5	47,0	51,0
1,8	2,54	10,0	16,9	24,9	29,0	33,1	39,0	43,2
1,6	2,01	8,6	14,4	21,0	24,5	28,0	32,9	36,0
1,5	1,77	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30,0	33,0
1,4	1,54	7,25	12,0	17,4	20,0	23,3	27,0	30,0
1,3	1,33	6,6	10,9	15,6	17,8	21,0	24,4	27,0
1,2	1,13	6,0	9,8	14,0	15,8	18,7	21,6	24,3
1,1	0,95	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1	21,5
1,0	0,785	4,85	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8	19,2
0,9	0,636	4,25	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5	16,5
0,8	0,503	3,7	5,7	8,15	9,15	10,8	12,3	14,0
0,75	0,442	3,4	5,3	7,55	8,4	9,95	11,25	12,85
0,7	0,385	3,1	4,8	6,95	7,8	9,1	10,3	11,8
0,65	0,342	2,82	4,4	6,3	7,15	8,25	9,3	10,75
0,6	0,283	2,52	4	5,7	6,5	7,5	8,5	9,7
0,55	0,238	2,25	3,55	5,1	5,8	6,75	7,6	8,7
0,5	0,196	2	3,15	4,5	5,2	5,9	6,75	7,7
0,45	0,159	1,74	2,75	3,9	4,45	5,2	5,85	6,75
0,4	0,126	1,5	2,34	3,3	3,85	4,4	5,0	5,7
0,35	0,096	1,27	1,95	2,76	3,3	3,75	4,15	4,75
0,3	0,085	1,05	1,63	2,27	2,7	3,05	3,4	3,85
0,25	0,049	0,84	1,33	1,83	2,15	2,4	2,7	3,1
0,2	0,0314	0,65	1,03	1,4	1,65	1,82	2,0	2,3
0,15	0,0177	0,46	0,74	0,99	1,15	1,28	1,4	1,62
0,1	0,00785	0,1	0,47	0,63	0,72	0,8	0,9	1,0

4. Далее определим длину нихромовой проволоки.

$$R = \rho \cdot l / S,$$

где R - электрическое сопротивление проводника (нагревателя) [Ом], ρ - удельное электрическое сопротивление материала нагревателя [Ом · мм² / м], l - длина проводника (нагревателя) [мм], S - площадь поперечного сечения проводника (нагревателя) [мм²].

Таким образом, получим длину нагревателя:

$$l = R \cdot S / \rho = 61 \cdot 0,096 / 1,11 = 5,3 \text{ м.}$$

В данном примере в качестве нагревателя используется нихромовая проволока Ø 0,35 мм. В соответствии с [ГОСТ 12766.1-90](#) "Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Технические условия" номинальное значение удельного электрического сопротивления нихромовой проволоки марки Х20Н80 составляет 1,1 Ом · мм² / м ($\rho = 1,1$ Ом · мм² / м),

Итогом расчетов является необходимая длина нихромовой проволоки, которая составляет 5,3 м, диаметр - 0,35 мм.

Удельное электрическое сопротивление нихрома (номинальное значение) - по ГОСТ 12766.1-90

Марка сплава	Диаметр, мм	Удельное электрическое сопротивление $\rho_{\text{ном}}$, Ом·мм
X20H80-H	от 0,1 до 0,5 включ.	1,08
	от 0,5 до 3,0 включ.	1,11
	Св. 3,0	1,13
X15H60, X15H60-H	от 0,1 до 3,0 включ.	1,11
	Св. 3,0	1,12
X23Ю5Т	Все диаметры	1,39

Допустимая сила тока, проходящего через нагреватель из нихромовой проволоки, соответствующая определенным температурам нагрева проволоки, подвешенной горизонтально в спокойном воздухе нормальной температуры

Диаметр <u>нихромовой проволоки</u> , мм	Площадь поперечного сечения нихромовой проволоки, мм ²	Температура нагрева нихромовой проволоки, °C						
		200	400	600	700	800	900	1000
		Максимальная допустимая сила тока, А						
5	19,6	52	83	105	124	146	173	206
4	12,6	37,0	60,0	80,0	93,0	110,0	129,0	151,0
3	7,07	22,3	37,5	54,5	64,0	77,0	88,0	102,0
2,5	4,91	16,6	27,5	40,0	46,6	57,5	66,5	73,0
2	3,14	11,7	19,6	28,7	33,8	39,5	47,0	51,0
1,8	2,54	10,0	16,9	24,9	29,0	33,1	39,0	43,2
1,6	2,01	8,6	14,4	21,0	24,5	28,0	32,9	36,0
1,5	1,77	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30,0	33,0
1,4	1,54	7,25	12,0	17,4	20,0	23,3	27,0	30,0
1,3	1,33	6,6	10,9	15,6	17,8	21,0	24,4	27,0
1,2	1,13	6,0	9,8	14,0	15,8	18,7	21,6	24,3
1,1	0,95	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1	21,5
1,0	0,785	4,85	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8	19,2
0,9	0,636	4,25	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5	16,5
0,8	0,503	3,7	5,7	8,15	9,15	10,8	12,3	14,0
0,75	0,442	3,4	5,3	7,55	8,4	9,95	11,25	12,85
0,7	0,385	3,1	4,8	6,95	7,8	9,1	10,3	11,8
0,65	0,342	2,82	4,4	6,3	7,15	8,25	9,3	10,75
0,6	0,283	2,52	4	5,7	6,5	7,5	8,5	9,7
0,55	0,238	2,25	3,55	5,1	5,8	6,75	7,6	8,7
0,5	0,196	2	3,15	4,5	5,2	5,9	6,75	7,7
0,45	0,159	1,74	2,75	3,9	4,45	5,2	5,85	6,75
0,4	0,126	1,5	2,34	3,3	3,85	4,4	5,0	5,7
0,35	0,096	1,27	1,95	2,76	3,3	3,75	4,15	4,75
0,3	0,085	1,05	1,63	2,27	2,7	3,05	3,4	3,85
0,25	0,049	0,84	1,33	1,83	2,15	2,4	2,7	3,1
0,2	0,0314	0,65	1,03	1,4	1,65	1,82	2,0	2,3
0,15	0,0177	0,46	0,74	0,99	1,15	1,28	1,4	1,62
0,1	0,00785	0,1	0,47	0,63	0,72	0,8	0,9	1,0

Расчетная работа №3

Электроматериаловедение

ТЕМА: расчет диаметра и длины провода для нагревательного элемента

Исходные данные:

Устройство мощностью $P = 1500$ Вт; напряжение сети $U = 380$ В; температура нагревателя 900 °С. В качестве нагревательного элемента используется нихромовая проволока Х20Н80.

