

Работа 1.1.1

Определение систематических и случайных
погрешностей при измерении удельного
сопротивления нихромой проволоки

Муляревич Андрей Игоревич

4 октября 2021 г.

В работе используются: линейка, линейка, штангенциркуль, микрометр, отрезок проволоки из нихрома, амперметр, вольтметр, источник ЭДС, мост постоянного тока, реостат, ключ.

1. Точность измерения с помощью штангенциркуля – 0,05 мм. Точность измерения с помощью микрометра – 0,01 мм.
2. Измеряем диаметр проволоки с помощью штангенциркуля (d_1 , табл. 1) и микрометра (d_2 , табл. 2) на 10 различных участках.

При измерении диаметра проволоки штангенциркулем случайная погрешность отсутствует. Следовательно, точность результата определяется только точностью штангенциркуля $\Rightarrow d_1 = 0.44 \pm 0.05$ мм.

При измерении микрометром есть как систематическая, так и случайная ошибка:

$$\sigma_{\text{сист}} = 0,01 \text{ мм}, \sigma_{\text{сл}} = \frac{1}{N} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (d - \bar{d})^2} = \sqrt{7,45 \cdot 10^{-4}} \approx 0,027 \text{ мм}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{сист}}^2 + \sigma_{\text{сл}}^2} \approx 0,027 \text{ мм}$$

$$d_2 = 0,375 \pm 0,027 \text{ мм}$$

Поскольку погрешность микрометра на порядок меньше погрешности штангенциркуля, для расчета площади поперечного сечения проволоки будем использовать значение, полученное измерением с помощью микрометра.

3. Определим площадь поперечного сечения проволоки:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,364)^2}{4} \approx 0,11 \text{ мм}^2$$

Погрешность находим по формуле:

$$\left(\frac{\sigma_s}{S}\right)^2 = \frac{2 \sigma_{d_2}}{d_2} \Rightarrow \frac{\sigma_s}{S} = \frac{\sqrt{2} \sigma_{d_2}}{d_2} \Rightarrow \sigma_s = \frac{\sqrt{2} \sigma_{d_2} S}{d_2} \approx 0,011 \text{ мм}^2$$

4. см. табл. 2
5. Очевидно, что надо мерять способом показанным на рис. 1а, так как:
для схемы на рисунке 1а: $R_{\text{пр}}/R_V = 5/400 = 0,0125$
а для схемы на рисунке 1б: $R_A/R_{\text{пр}} = 1,2/5 = 0,24$

6. Собираем схему рис. 1

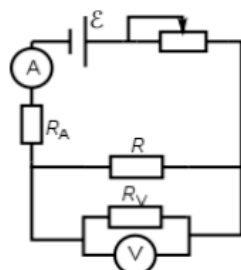
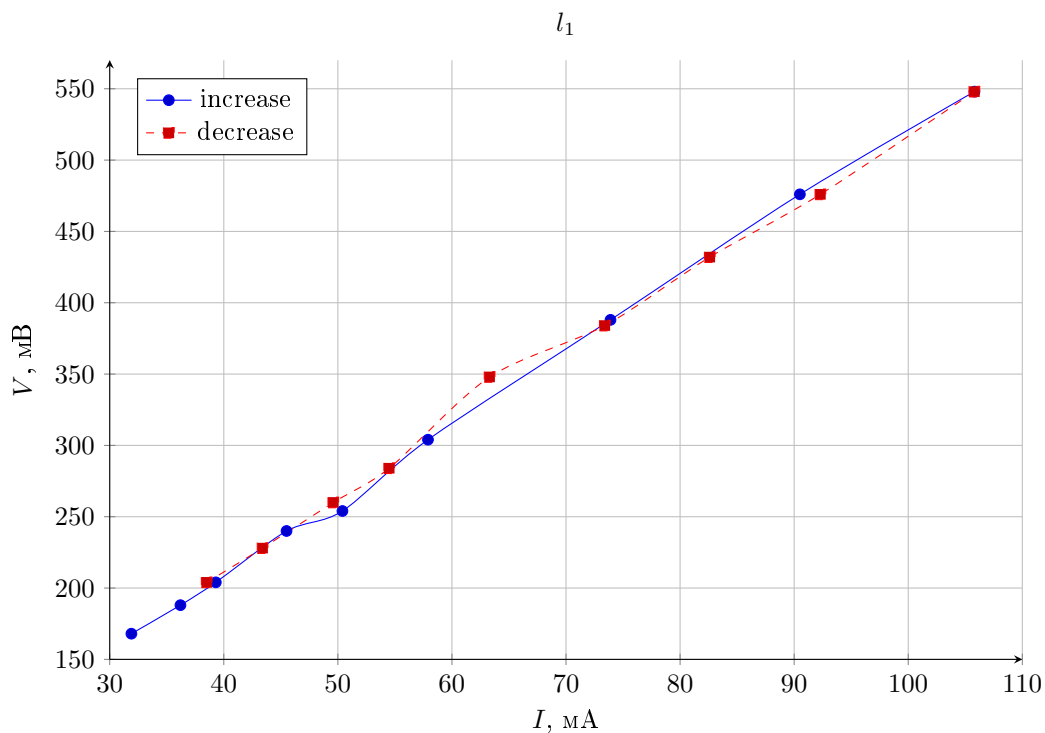


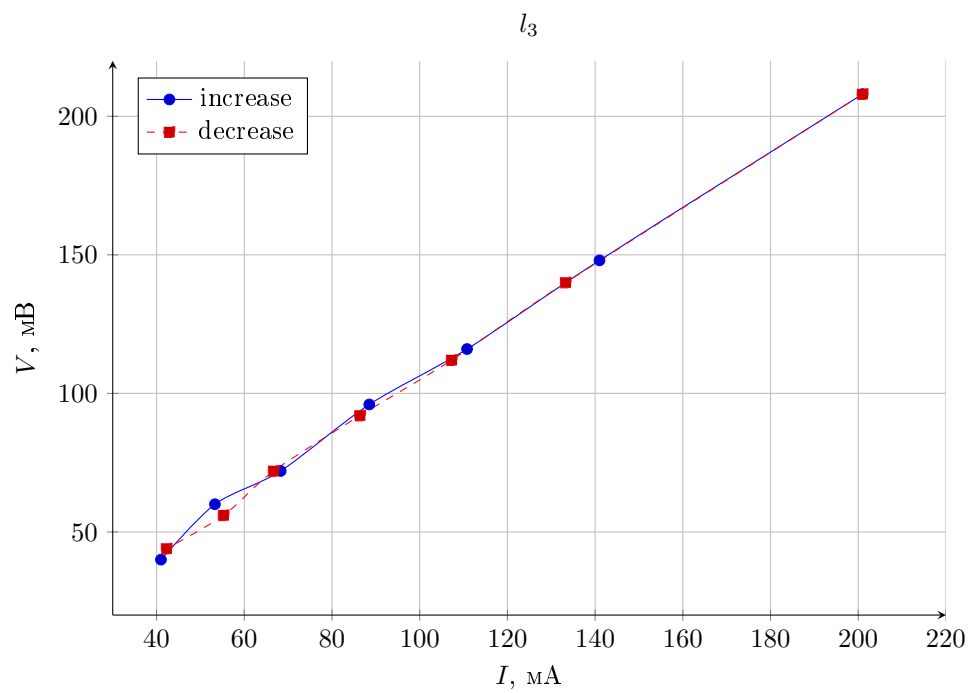
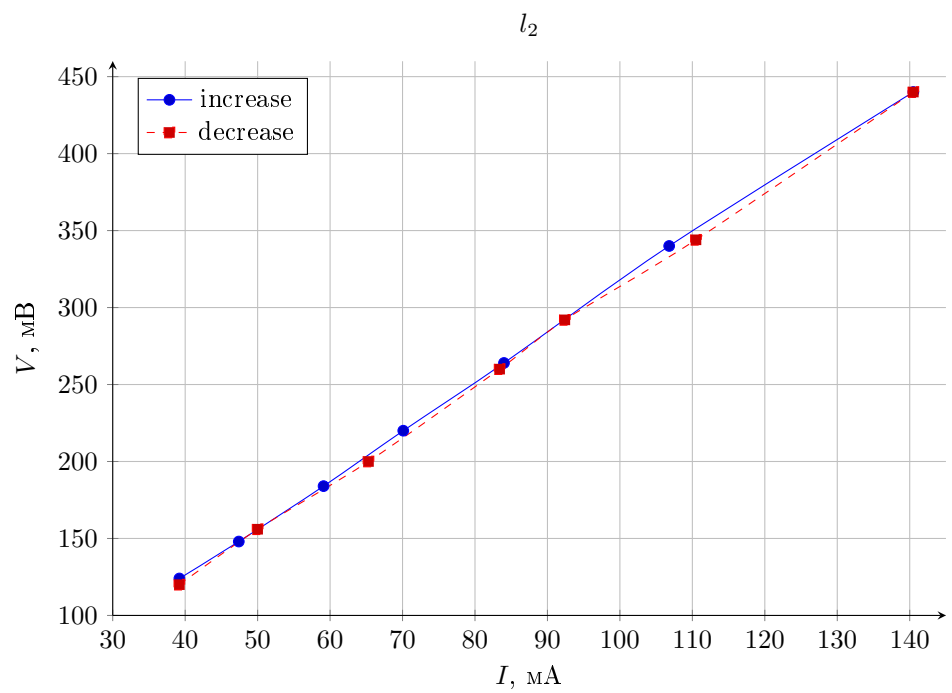
Рис. 1. Схема измерения вольт-амперной характеристики проволоки

7. Опыт проводим для трех величин: $l_1 = (50 \pm 0,1)$ см, $l_2 = (30 \pm 0,1)$ см, $l_3 = (10 \pm 0,1)$ см.
Измерения ведем для возрастающих и убывающих значений тока, все измерения записываем в табл. 3, табл. 4, табл. 5.

8. Строим графики зависимостей $V = f(I)$ для всех трех отрезков проволоки, так как 1 прямая не проходит через все точки, но с точностью до погрешностей мы ее провести можем, то, ищем график прямой $V = f(I)$ по формуле

$$V = \frac{\langle VI \rangle}{\langle I^2 \rangle} R_{\text{пр}}$$





9. Запишем в табл. 6 данные средних значений некоторых величин, которые мы в дальнейшем будем использовать.

10. По формулам

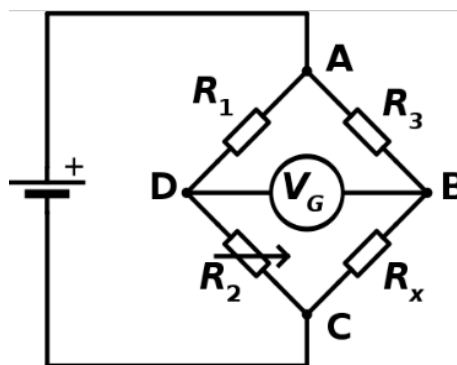
$$\sigma_{R_{\text{ср}}}^{\text{случ}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \sqrt{\frac{\langle V^2 \rangle}{\langle I^2 \rangle} - R_{\text{ср}}^2}$$

$$\sigma_{R_{\text{ср}}}^{\text{сист}} = R_{\text{ср}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_V}{\langle V \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_I}{\langle I \rangle}\right)^2}$$

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_{\text{сист}}^2 + \sigma_{\text{сл}}^2}$$

$$R_{\text{ср}} = \frac{\langle VI \rangle}{\langle I^2 \rangle}$$

Находим сопротивления и погрешности для каждого из участков проволоки. Данные заносим в табл.7. В эту же таблицу заносим результаты измерения сопротивления мостом Уитстона (Р4833), изображенном ниже.



11. по формулам

$$\sigma_\rho = \rho \sqrt{\left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_S}{S}\right)^2}$$

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

находим удельное сопротивление и погрешность для каждой из длин проволоки и заносим эти значения в табл.8.

Окончательно: $\rho = 1,15 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

Полученное значение удельного сопротивления сравниваем с табличными значениями. В справочнике (Физические величины. М.: Энергоиздат, 1991. С. 444) для удельного сопротивления нихрома при 20 °C в зависимости от массового содержания компонента сплава меняются в промежутке $1,05 - 1,4 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Полученное значение наиболее близко к значению $1,16 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ для сплава с содержанием 77 процентов Никеля, 20 процентов Хрома, 2 Марганца и 1 Железа(проценты по массе).

Таблица 1: Результаты измерения диаметра проволоки

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_1 , мм	0,45	0,45	0,40	0,40	0,45	0,50	0,45	0,4	0,45	0,45
d_2 , мм	0,38	0,41	0,36	0,37	0,40	0,41	0,39	0,36	0,32	0,35
	$\bar{d}_1 = 0,44$ мм					$\bar{d}_2 = 0,37$ мм				

Таблица 2: Основные характеристики амперметра и вольтметра

	Вольтметр	Амперметр
Система	Магнитоэлектрическая	Электромагнитная
Погрешность	Класс точности: 0,5	$0,002X + 2k$, где X - значение измеряемой величины, а k - единица младшего разряда
Предел измерений x_n	0,6 В	автоматически настраивается в зависимости от силы тока
Число делений шкалы n	150	—
Цена делений x_n/n	4 мВ/дел	—
Чувствительность n/x_n	250 дел/В	—
Абсолютная погрешность Δx_M	1,5	—
Внутреннее сопротивление прибора (на данном пределе измерений)	400 Ом	1,2 Ом

Таблица 3: Результаты ВАХ для l_1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V , мВ	168	188	204	240	244	304	388	476	548
V' , мВ	548	476	432	384	348	284	260	228	204
I , мА	31.9	36.2	39.3	45.5	50.4	57.9	73.9	90.5	105.8
I' , мА	105.8	92.3	82.6	73.4	63.3	54.5	49.6	43.4	38.5

Таблица 4: Результаты ВАХ для l_2

	1	2	3	4	5	6	7
V , мВ	124	148	184	220	264	340	440
V' , мВ	440	344	292	260	200	156	120
I , мА	39.2	47.4	59.1	70.1	84.0	106.8	140.5
I' , мА	140.5	110.5	92.4	83.4	65.3	50.0	39.2

Таблица 5: Результаты ВАХ для l_3

	1	2	3	4	5	6	7
V , мВ	40	60	72	96	116	148	208
V' , мВ	208	140	112	92	72	56	44
I , мА	41.0	53.3	68.3	88.5	110.8	141.0	201.0
I' , мА	201.0	133.3	107.3	86.4	66.7	55.3	42.3

Таблица 6: Средние величины

	$\langle V \rangle$, мВ	$\langle I \rangle$, мА	$\langle I^2 \rangle$, мА ²	$\langle V^2 \rangle$, мВ ²	$\langle IV \rangle$, мА · мВ
l_1	324	63	4523	121804	23415
l_2	252,3	80,6	7581	74426	23753
l_3	104,6	100	12573	13739	13141

Таблица 7: Результаты измерения сопротивления проволоки

l_1	l_2	l_3
$R_0 = \text{Ом (по P4833)}$	$R_0 = \text{Ом (по P4833)}$	$R_0 = \text{Ом (по P4833)}$
$R_{\text{ср}} = 5,17 \text{ Ом}$	$R_{\text{ср}} = 3,13 \text{ Ом}$	$R_{\text{ср}} = 1,05 \text{ Ом}$
$\sigma_R^{\text{случ}} = 0,11 \text{ Ом}$	$\sigma_R^{\text{случ}} = 0,04 \text{ Ом}$	$\sigma_R^{\text{случ}} = 0,01 \text{ Ом}$
$\sigma_R^{\text{сист}} = 0,012 \text{ Ом}$	$\sigma_R^{\text{сист}} = 0,01 \text{ Ом}$	$\sigma_R^{\text{сист}} = 0,01 \text{ Ом}$
$\sigma_R = 0,11 \text{ Ом}$	$\sigma_R = 0,041 \text{ Ом}$	$\sigma_R = 0,01 \text{ Ом}$

l, см	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	$\sigma_\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
50	0,114	0,002
30	0,115	0,001
10	0,115	0,001