

Работа 1.1.1
Определение систематических и случайных
погрешностей при измерении удельного
сопротивления нихромой проволоки

Валеев Рауф Раушанович
группа 825

6 сентября 2018 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 – 0,1 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 $\Rightarrow d_1 = (0,4 \pm 0,1)$ мм

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

$$\sigma_{\text{сист}} = 0,01 \text{ мм}, \sigma_{\text{сл}} = \frac{1}{N} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (d - \bar{d})^2} = \frac{1}{10} \sqrt{2,4 \cdot 10^{-4}} \approx 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{сист}}^2 + \sigma_{\text{сл}}^2} \approx 0,01 \text{ мм}$$

$$d_2 = (0,364 \pm 0,1) \text{ мм}$$

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

3. Определим площадь поперечного сечения проволоки:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,364)^2}{4} \approx 0,104 \text{ мм}^2$$

Погрешность находим по формуле:

$$\left(\frac{\sigma_s}{S}\right)^2 = \frac{2 \sigma_{d_2}}{d_2} \Rightarrow \frac{\sigma_s}{S} = \frac{\sqrt{2} \sigma_{d_2}}{d_2} \Rightarrow \sigma_s = \frac{\sqrt{2} \sigma_{d_2} S}{d_2} \approx 4,04 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2$$

4. см. табл. 2
5. Очевидно, что надо мерять способом показанным на рис. 1а, так как:
для схемы на рисунке 1а: $R_{\text{пр}}/R_V = 5/400 = 0,0125$, т.е. 1,25
а для схемы на рисунке 1б: $R_A/R_{\text{пр}} = 1,2/5 = 0,24$, т.е. 24

6. Собираем схему рис. 1

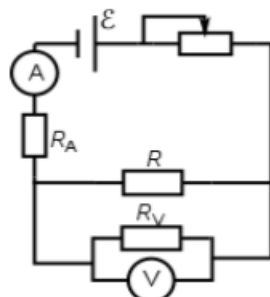


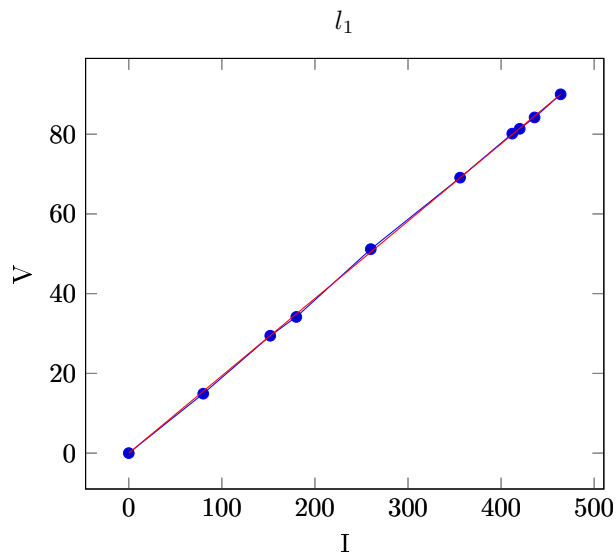
Рис. 1. Схема измерения
вольт-амперной характе-
ристики проволоки

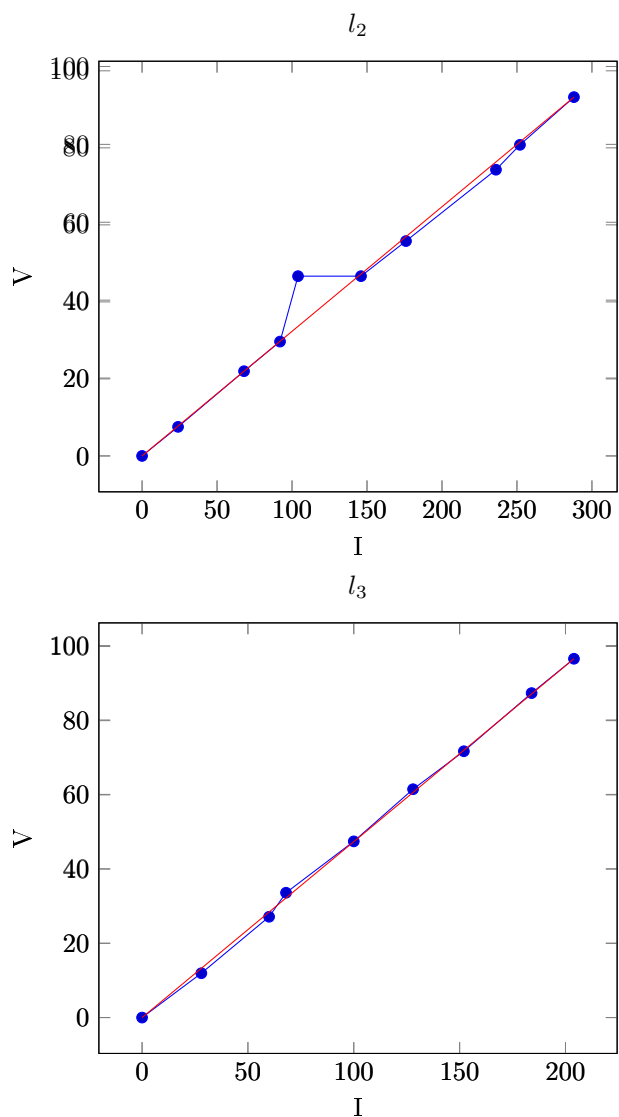
7. Опыт проводим для трех величин: $l_1 = (50 \pm 0,1)$ см, $l_2 = (30 \pm 0,1)$ см, $l_3 = (20 \pm 0,1)$ см.

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 точность до погрешностей мы ее провести можем, то, ищем график прямой $V = f(I)$ по формуле

$$V = \frac{\langle VI \rangle}{\langle I^2 \rangle} x$$





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

10. По формулам

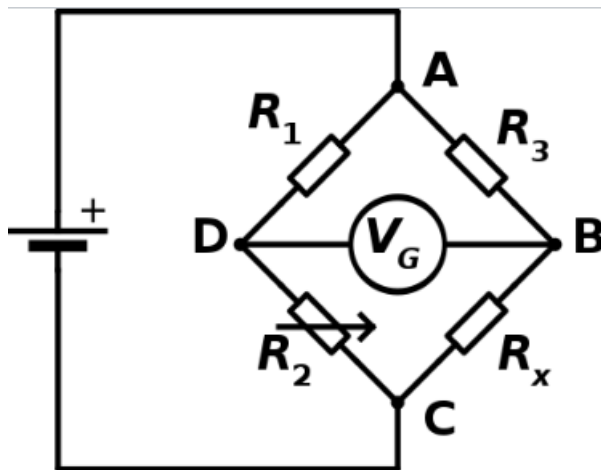
$$\sigma_{R_{\text{ср}}}^{\text{случ}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \sqrt{\frac{\langle V^2 \rangle}{\langle I^2 \rangle} - R_{\text{ср}}^2}$$

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

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

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

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: $\rho = (1,08 \pm 0,04) \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

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 $(1,12-0,97) \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Полученное значение наиболее близко к значению $1,06 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ для сплава с содержанием 78 процентов Никеля, 20 процентов Хрома и 2 Марганца (проценты по массе).

Таблица 1: Результаты измерения диаметра проволоки

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_1 , мм	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
d_2 , мм	0,37	0,36	0,36	0,36	0,37	0,36	0,37	0,37	0,36	0,36
	$\overline{d_1} = 0,4$ мм					$\overline{d_2} = 0,364$ мм				

Таблица 2: Основные характеристики амперметра и вольтметра

	Вольтметр	Амперметр
Система	Магнитоэлектрическая	Электромагнитная
Погрешность	Класс точности: 0,5	0,002X + 2к, где X - значение измеряемой величины, а к - 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	10
V, мВ	464	420	356	180	80	0	152	260	412	436
σ_V , мВ	0,93	0,84	0,71	0,36	0,16	0	0,3	0,52	0,82	0,87
I, мА	90	81,35	69,1	34,16	14,91	0	29,44	51,17	80,14	84,2
σ_I , мА	0,2	0,18	0,16	0,09	0,05	0,0002	0,08	0,12	0,18	0,19

Таблица 4: Результаты ВАХ для l_2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V, мВ	288	236	146	92	24	0	68	104	176	252
σ_V , мВ	0,58	0,47	0,3	0,18	0,05	0	0,14	0,21	0,35	0,5
I, мА	93,17	74,32	46,68	29,69	7,55	0	22	34,52	55,79	80,78
σ_I , мА	0,21	0,17	0,11	0,06	0,02	0,0002	0,05	0,07	0,13	0,18

Таблица 5: Результаты ВАХ для l_1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V, мВ	204	152	100	60	0	28	68	128	184
σ_V , мВ	0,41	0,3	0,2	0,12	0	0,06	0,14	0,26	0,37
I, мА	96,46	71,6	47,37	27,1	0	11,92	33,56	61,39	87,23
σ_I , мА	0,21	0,14	0,11	0,07	0,0002	0,04	0,08	0,14	0,19

Таблица 6: Средние величины

	$\langle V \rangle$	$\langle I \rangle$	$\langle I^2 \rangle$	$\langle V^2 \rangle$	$\langle IV \rangle$
l_1	276	53,45	100777,6	3783,9	19537,6
l_2	138,6	44,45	27891,6	2863,52	8936,21
l_3	92,4	43,66	13396,8	3005,56	6344,81

Таблица 7: Результаты измерения сопротивления проволоки

l_1	l_2	l_3
$R_0 = 5,1472 \text{ Ом (по P4833)}$	$R_0 = 3,0999 \text{ Ом (по P4833)}$	$R_0 = 2,0857 \text{ Ом (по P4833)}$
$R_{\text{ср}} = 5,16 \text{ Ом}$	$R_{\text{ср}} = 3,12 \text{ Ом}$	$R_{\text{ср}} = 2,11 \text{ Ом}$
$\sigma_R^{\text{случ}} = 0,07 \text{ Ом}$	$\sigma_R^{\text{случ}} = 0,008 \text{ Ом}$	$\sigma_R^{\text{случ}} = 0,008 \text{ Ом}$
$\sigma_R^{\text{сист}} = 0,015 \text{ Ом}$	$\sigma_R^{\text{сист}} = 0,014 \text{ Ом}$	$\sigma_R^{\text{сист}} = 0,012 \text{ Ом}$
$\sigma_R = 0,07 \text{ Ом}$	$\sigma_R = 0,017 \text{ Ом}$	$\sigma_R = 0,014 \text{ Ом}$

l, м	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	$\sigma_\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
0,5	1,07	0,04
0,3	1,08	0,04
0,2	1,09	0,04