

Лабораторная работа 1.1.1

Измерение удельного сопротивления нихромовой проволоки

8 сентября 2023 г.

1. Цели и задачи

- Измерить геометрические размеры тонкой проволоки круглого сечения, изготовленной из нихромового сплава, с помощью линейки, штангенциркуля и микрометра.
- Определить угловой коэффициента наклона зависимости напряжения на проволоке от тока через неё, измеряемых с помощью аналоговых и цифровых вольтметров и амперметров.
- Измерить удельное сопротивление проволоки.
- Измерение сопротивление проволоки с помощью моста постоянного тока.
- Исследовать систематические и случайные погрешности проводимых измерений при использовании таких измерительных приборов, как линейка, штангенциркуль, микрометр, амперметр, вольтметр и мост постоянного тока.

2. Оборудование

Отрезок проволоки из нихрома, амперметр, вольтметр, источник ЭДС, мост постоянного тока Р4833, реостат, ключ.

Линейка: $\Delta_{\text{лин}} = \pm 2$ мм — половина цены деления и дополнительная погрешность при определении положений контактов.

Штангенциркуль: $\Delta_{\text{шт}} = \pm 0,1$ мм

Микрометр: $\Delta_{\text{мкм}} = \pm 0,01$ мм

Таблица 1. Характеристики приборов.

	Вольтметр	Амперметр	Мост Р4833
Класс точности	0,03	0,5	0,1
Погрешность ¹	$\pm(0,0003X + 4k)$ В	$\pm 0,25$ мА	$\pm 0,01$ Ом
Внутр. сопротивление	10 МОм	22/75 Ом	—

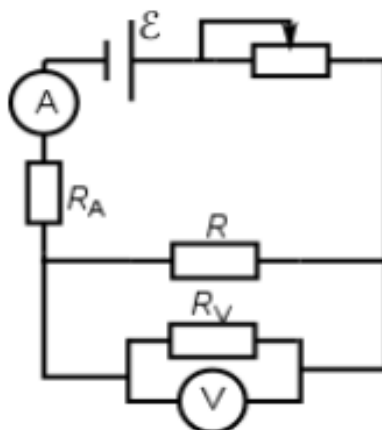


Рис. 1. Схема измерения вольт-амперной характеристики проволоки.

¹Где: X — измеряемая величина, k — единица младшего разряда.

3. Теория

Формула удельного сопротивления:

$$\rho = \frac{RS}{l} = \frac{R \pi d^2}{l \cdot 4} \quad (1)$$

Формула TODO:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_i (d_i - \langle d \rangle)^2} \quad (2)$$

Сопротивление проволоки без учёта сопротивления вольтметра:

$$R = \frac{R_V R'}{R_V - R'} \quad (3)$$

Формула расчёта погрешности:

$$\Delta \rho = \rho \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2} \quad (4)$$

4. Результаты измерений

Измерения проводились штангенциркулем и микрометром многократно на разных участках проволоки, измерения приведены в таблице 2.

Таблица 2. Измерения диаметра штангенциркулем и микрометром.

$d_{\text{штан}}, \text{мм}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
$d_{\text{мкр}}, \text{мм}$	0,36	0,365	0,38	0,365	0,36	0,365	0,36	0,365	0,37	0,36

При измерении диаметра штангенциркулем случайная погрешность отсутствует. Следовательно, точность результата определяется только точность штангенциркуля:

$$d_{\text{штан}} = 0,3 \pm 0,1 \text{ мм}$$

$$\langle d_{\text{мкр}} \rangle = 0,365 \text{ мм}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_i (d_i - \langle d \rangle)^2} = 0,006 \text{ мм}$$

Так как случайная погрешность $\sigma \ll \Delta_{\text{мкр}}$, то будем считать, что проволока однородна по диаметру.

$$\Delta d_{\text{мкр}} = \sqrt{\sigma^2 + \Delta_{\text{мкр}}^2} = 0,012 \text{ мм}$$

$$d = 0,365 \pm 0,012 \text{ мм}$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 0,105 \pm 0,005 \text{ мм}^2$$

Таблица 3. Зависимость U от I для разных длин проволоки l .

$l = 20,0 \pm 0,2$ см		$l = 30,0 \pm 0,2$ см		$l = 50,0 \pm 0,2$ см	
U , мВ	I , мА	U , мВ	I , мА	U , мВ	I , мА
11,0	5,0	15,9	5,0	65,3	12,5
30,7	15,0	47,3	15,0	128,4	25,0
52,9	25,0	77,6	25,0	183,6	35,0
74,1	35,0	114,1	35,0	292,5	55,0
117,1	55,0	175,8	55,0	345,2	65,0
160,2	75,0	240,4	75,0	399,8	75,0
139,2	65,0	208,3	65,0	373,6	70,0
106,4	50,0	159,4	50,0	321,1	60,0
85,8	40,0	126,7	40,0	240,7	45,0
63,1	30,0	96,2	30,0	156,2	30,0
41,5	20,0	64,3	20,0	107,0	20,0
20,8	10,0	31,6	10,0	25,1	5,0

Зависимость U от I для разных длин проволоки l показана на графике на Рис. 2.

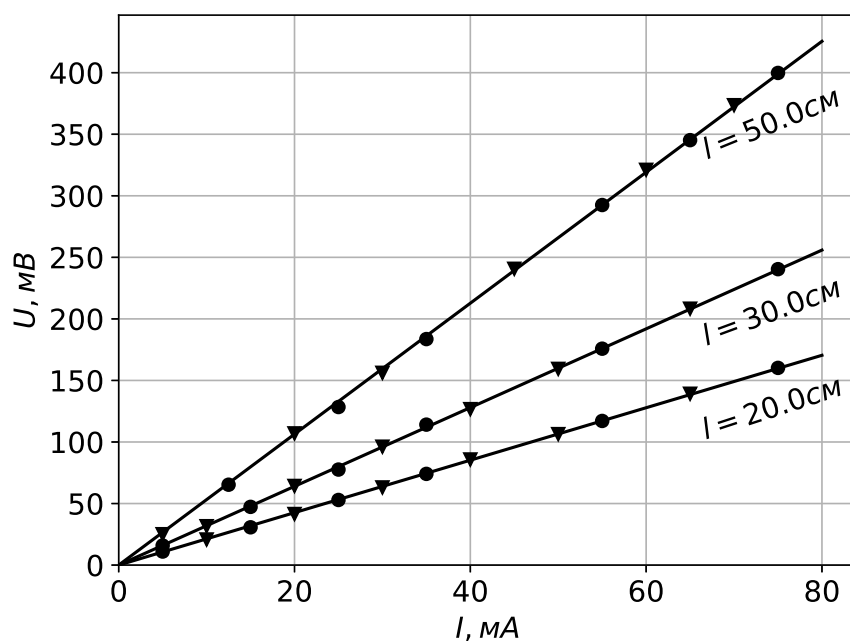


Рис. 2. График зависимости U от I для разных длин проволоки l . Точки на повышение тока отмечены кружками, на понижение — треугольниками. Погрешности не отмечены ввиду их малости.

Погрешность измерения I существенно больше U , поэтому будем использовать метод хи-квадрат для нахождения коэффициента $\frac{1}{R'}$, а в таблице 4 запишем значения сразу R' .

$$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2} \quad W = \sum_i w_i \quad \langle x \rangle' = \frac{1}{W} \sum_i w_i x_i$$

$$\chi^2(k, b) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2} (U_i - RI_i)^2 \quad \frac{1}{R'} = \frac{\langle IU \rangle'}{\langle U^2 \rangle'}$$

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\frac{\langle y^2 \rangle}{\langle x^2 \rangle} - k^2 \right)}$$

Таблица 4. Сопротивление R' , посчитанное методом χ^2 .

$R', \text{Ом}$	$2,13 \pm 0,01$	$3,20 \pm 0,02$	$5,32 \pm 0,03$
$R, \text{Ом}$	$2,13 \pm 0,01$	$3,20 \pm 0,02$	$5,32 \pm 0,03$
$\rho, \text{мкОм} \cdot \text{м}$	$1,115 \pm 0,052$	$1,116 \pm 0,051$	$1,113 \pm 0,051$

Результаты измерения сопротивления на мосте Р4833 приведены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты измерения сопротивления проволоки на мосте Р4833

$l, \text{см}$	20	30	50
$R, \text{Ом}$	2,281	3,309	5,339
$\Delta R, \text{Ом}$	0,010		

Измерения сопротивления оказались немного завышены из-за того, что подключение проволоки к мосту осуществлялось длинными проводами, что не было учтено.

Усредняя результаты 3-х опытов, получаем:

$$\langle \rho \rangle = 1,11 \pm 0,03 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$$

5. Выводы

В работе получено значение удельного сопротивления образца проволоки из нихромового сплава с точностью 2,7%. Табличные значения для нихрома лежат в диапазоне 0,97...1,14 мкОм · м в зависимости от состава. Измеренные значения $\rho = 1,11 \pm 0,03 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ попадают в этот диапазон в пределах одного стандартного отклонения, однако погрешность результата не позволяет определить марку сплава.

Случайная ошибка измерения диаметра оказалась меньше цены деления прибора (микрометра), уточнение значения диаметра за счет многократных измерений невозможно. По той же причине не удалось проверить, насколько однородной является проволока по сечению.