

Отчет по лабораторной работе 1.1.1

Измерение удельного сопротивления проволоки

Максим Осипов, Б03-504

10.09.2025

1 Аннотация

Работа посвящена измерению удельного сопротивления тонкой нихромовой проволоки. Электрическое сопротивление определяется двумя способами: через угол наклона графика зависимости напряжения от тока (с использованием аналоговых и цифровых вольтметров и амперметров) и с помощью моста постоянного тока. Диаметр и длина проволоки измеряются линейкой, штангенциркулем и микрометром. Центральное место в исследовании отводится детальному разбору погрешностей измерений, включая систематические и случайные.

2 Теоретические сведения

Удельное сопротивление материала проволоки круглого сечения изготовленной из однородного материала и имеющей постоянную толщину определяется по формуле:

$$\rho = \frac{R_{\text{пр}} \pi d^2}{l \cdot 4}$$

где $R_{\text{пр}}$ -сопротивление измеряемого отрезка проволоки, l - его длина, d - диаметр. Поэтому измеряем длину, диаметр и электрическое сопротивление проволоки.

Диаметр у проволоки не постоянный поэтому нужно учесть случайную погрешность.

Рисунок 1: Схема для измерения сопротивления

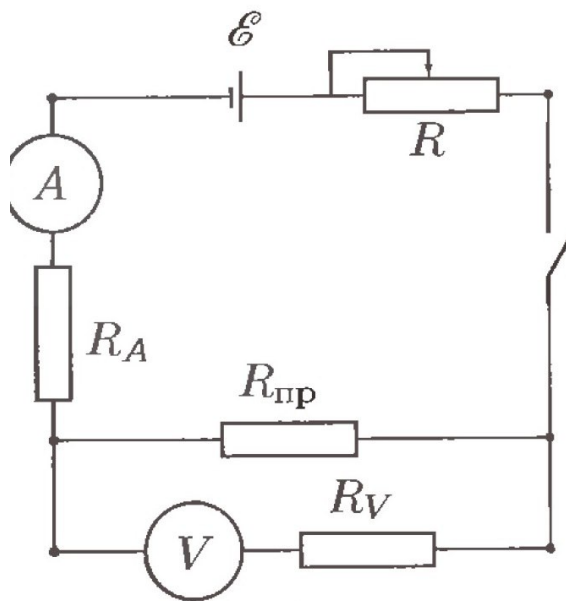


Рисунок 2: Зависимость напряжения от силы тока для проводников разной длины

По закону Ома: $R_{\text{пр}} = \frac{V_a}{I_a}$, где V_a и I_a - показания вольтметра и амперметра. Для измерения используем схему а) из учебника "Лабораторный практикум по общей физике т.1 Гладов" - рис.1, т.к. погрешность в измерениях там меньше чем в схеме б) (расчет будет в соответствующем параграфе). Получаем формулы для расчета: $R_{\text{пр1}} = \frac{V_a}{I_a} = R_{\text{пр}} \frac{R_v}{R_{\text{пр}} + R_v}$. Преобразовываем: $R_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{пр1}}}{1 - (R_{\text{пр1}}/R_v)} \approx R_{\text{пр1}}(1 + \frac{R_{\text{пр1}}}{R_v})$ (Используется приближение, т.к. сопротивление вольтметра

$R_v \gg R_{\text{пр}}, R_{\text{пр1}}).$

График зависимости $V_a(I_a)$ должен представлять прямую, угловой коэффициент которой и будет равен R_1 .

3 Оборудование и системные погрешности

- инека: $\sigma_{\text{лин}} = \pm 0,5$ мм (о ене делени).
- Штангенциркуль: $\sigma_{\text{штан}} = \pm 0,1$ мм (маркировка производителя).
- Микрометр: $\sigma_{\text{микро}} = \pm 0,01$ мм (маркировка производителя).

Table 1: Характеристики приборов

	Амперметр	Вольтметр
система прибора	электромагнитная	цифровая
класс точности	0,5	
предел измерений	0,75А	
число делений шкалы	150	
цена деления	0,5мА/дел	
чувствительность	200дел/А	
внутреннее сопротивление	пренебрежимо мало	10 МОм

4 Результаты измерений и обработка данных

4.1 Измерение диаметра проволоки

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_{\text{штанг}}, \text{ мм}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$d_{\text{микро}}, \text{ мм}$	0,35	0,34	0,36	0,36	0,34	0,35	0,37	0,33	0,35	0,36

Погрешности:

- Среднее значение: $\langle d \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i = 0.348$ мм.
- Стандартное отклонение: $\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - \langle d \rangle)^2} = 0.001$ мм.
- Стандартная погрешность опыта: $\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_d}{\sqrt{n}} = 0.003$ мм.
- Полная погрешность: $\sigma_{\text{полн}} = \sqrt{\sigma_{\text{ср}}^2 + \sigma_{\text{микро}}^2} = 0.005$ мм.

Table 2: ВАХ проволоки

$l = 20 \text{ см}$		$l = 30 \text{ см}$		$l = 50 \text{ см}$	
$U, \text{ мВ}$	$I, \text{ мА}$	$U, \text{ мВ}$	$I, \text{ мА}$	$U, \text{ мВ}$	$I, \text{ мА}$
141	130	220	130	322	110
166	140	241	150	341	120
181	160	288	170	386	140
216	190	335	200	426	150
232	210	395	280	555	200
266	230	486	290	630	220
301	260	626	370	720	260
368	320	680	400	774	310
470	360	873	510	813	400
681	590	916	660	866	470

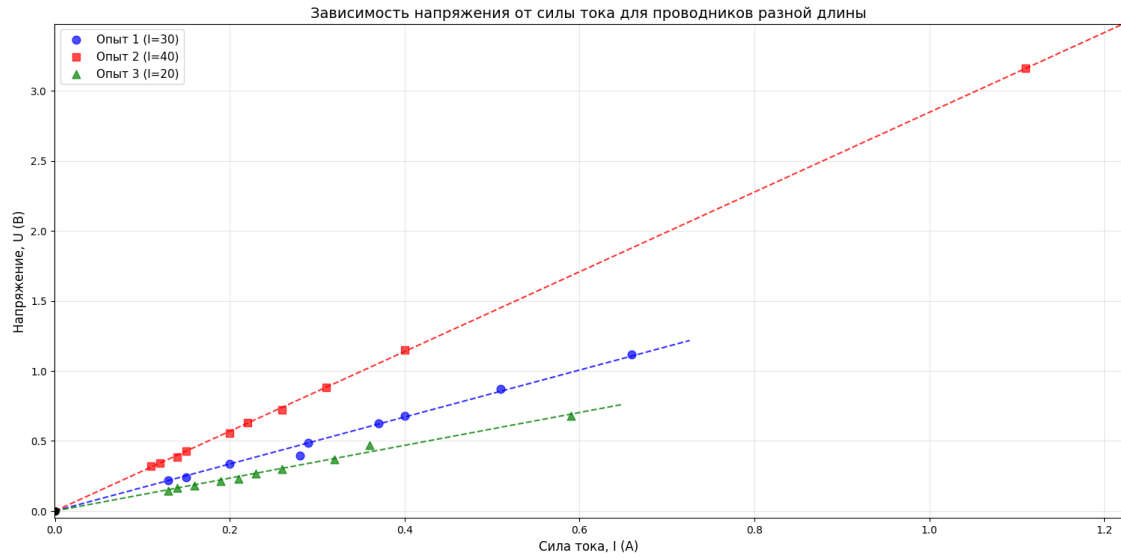


Рисунок 3: Зависимость напряжения от силы тока для проводников разной длины

Результаты исследований зависимостей показаний вольтметра V_a от показаний амперметра I_a представлены графике ВАХ. С помощью метода наименьших квадратов были построены аппроксимирующие прямые $V_B = \langle R \rangle I_A$ по формуле:

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

Погрешность угла наклона в аппроксимации (т.е. погрешность $\langle R \rangle$) найдем как косвенную погрешность наименьших квадратов по формуле: $\sigma_{R_{случ}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\frac{\langle V^2 \rangle}{\langle I^2 \rangle} - \langle R \rangle^2)}$.

Систематическую погрешность найдем как частные производные за значения выбрав наибольшие измерения:

$$\sigma_{R_{сист}} = R \sqrt{\left(\frac{\sigma_V}{V_{max}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_I}{I_{max}} \right)^2}$$

Полную погрешность вычислим по формуле:

$$\sigma_{R_{полн}} = \sqrt{(\sigma_{R_{случ}})^2 + (\sigma_{R_{сист}})^2}$$

Table 3: Сопротивления

l , см	$R_{ср}$, Ом	$\sigma_{R}^{сл}$, Ом	$\sigma_{R}^{сист}$, Ом	$R_{пр}$, Ом	σ_R , Ом	$R_{мост}$, Ом
20	2,34	0,04	0,01	2,34	0,05	2,134
30	3,15	0,02	0,02	3,15	0,03	3,150
50	5,09	0,14	0,01	5,09	0,14	5,196

Поправка $R_{ср}/R_V \ll 1$, поэтому ее погрешность можно не учитывать.

Согласно формуле (1) зависимость $R_{пр}(l)$ должна быть линейной, поэтому применим МНК для анализа данных, представленных в таблице 3. Погрешность найдем как

$$\frac{\sigma_\rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_R}{R} \right)^2 + \left(\frac{2\sigma_d}{d} \right)^2}$$

Результаты для каждой из длин представлены в таблице 4

Table 4: Результаты измерения ρ для каждой из длин проволок

l , см	ρ , 10^{-6} Ом·м	σ_ρ , 10^{-8} Ом·м
20	1.06	5,19
30	1.06	3,29
50	1.08	6,34

Окончательно $\rho = (1.10 \pm 0.04) \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

5 Вывод

В ходе эксперимента было определено удельное сопротивление нихромовой проволоки с точностью порядка 5%. Полученное значение $\rho = (1,07 \pm 0,052) \cdot 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ находится в пределах табличного диапазона для нихромового сплава, который составляет от 0,97 до $1,14 \cdot 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Особое внимание в работе было уделено анализу погрешностей. Сравнительный анализ показал, что случайная погрешность измерений на порядок меньше систематической, что свидетельствует о преобладающем влиянии инструментальной погрешности измерительного оборудования. Наибольший вклад в общую погрешность результата внесла погрешность измерений микрометром, которая и оказалась определяющей для итоговой погрешности определения удельного сопротивления.