

Отчет по лабораторной работе 1.1.1
«Определение удельного сопротивления
нихромовой проволоки»

Головинов Г.А. Б02-304

Долгопрудный, 2023

1 Аннотация

Цель работы: Измерить удельное сопротивление тонкой проволоки круглого сечения, изготовленной из нихромового сплава.

Используемые инструменты: Микрометр, амперметр, вольтметр, тонкая нихромовая нить круглого сечения, мост постоянного тока Р4833, источник постоянного тока, реостат.

Сопротивление нихромовой нити определяется двумя способами:

1. С помощью моста постоянного тока
2. С помощью амперметра, вольтметра, реостата и источника постоянного тока, соединенных согласно схеме 1

2 Основные теоретические сведения

Удельное сопротивление однородной проволоки круглого сечения:

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

где R - сопротивление проволоки, d - её диаметр, l - длина.

Диаметр проволоки можно измерить с помощью микрометра, а её длину в данной работе считаем известной. При подключении согласно схеме 1 можно найти сопротивление проволоки, используя следующие соотношения:

$$R_{wire1} = \frac{V}{I} \quad (2)$$

Где V - показание вольтметра, а I - показание амперметра. Так как вольтметр и амперметр не идеальные, сопротивление нити считается с помощью уравнения (3)

$$R_{wire} \approx R_{wire1} \left(1 + \frac{R_{wire1}}{R_V} \right) \quad (3)$$

Так как $R_V = 10\text{M}\Omega$, можно сказать, что $R_{wire} \approx R_{wire1}$. Подставляем полученные значения R_{wire} в уравнение (1) и получим удельное сопротивление проволоки ρ .

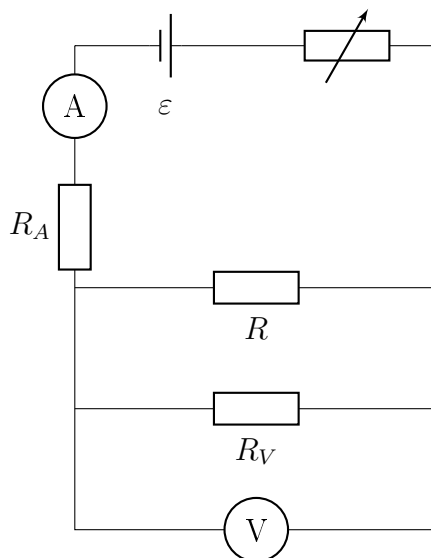


Схема 1

3 Результаты измерений и обработка данных

3.1 Измерение диаметра проволоки

Таблица 1: Результаты измерения диаметра проволоки d

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| d, мм | 0,35 | 0,35 | 0,36 | 0,36 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |

Среднее значение $\langle d \rangle = 0,352$ мм

Стандартное отклонение $\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (d_i - \langle d \rangle)^2} = 0,004216$ мм

Случайная погрешность среднего $\sigma_{\langle d \rangle} = \frac{\sigma_d}{\sqrt{N}} = 0,001333$ мм

С учетом инструментальной погрешности микрометра $\Delta = 0.01$ мм, погрешность измерения диаметра может быть вычислена как

$$\sigma_{\langle d \rangle}^{full} = \sqrt{\sigma_{\langle d \rangle}^2 + \Delta_{\text{МКМ}}^2} \approx 0,0101 \text{ мм}$$

$$d = 0,3520 \pm 0,0101 \text{ мм} \quad (4)$$

3.2 Измерение сопротивления проволоки

Пользуясь методом наименьших квадратов на графике $V(I)$ строим прямые $V = \langle R \rangle I$

Рис. 1: Зависимость измеренного напряжения от силы тока.

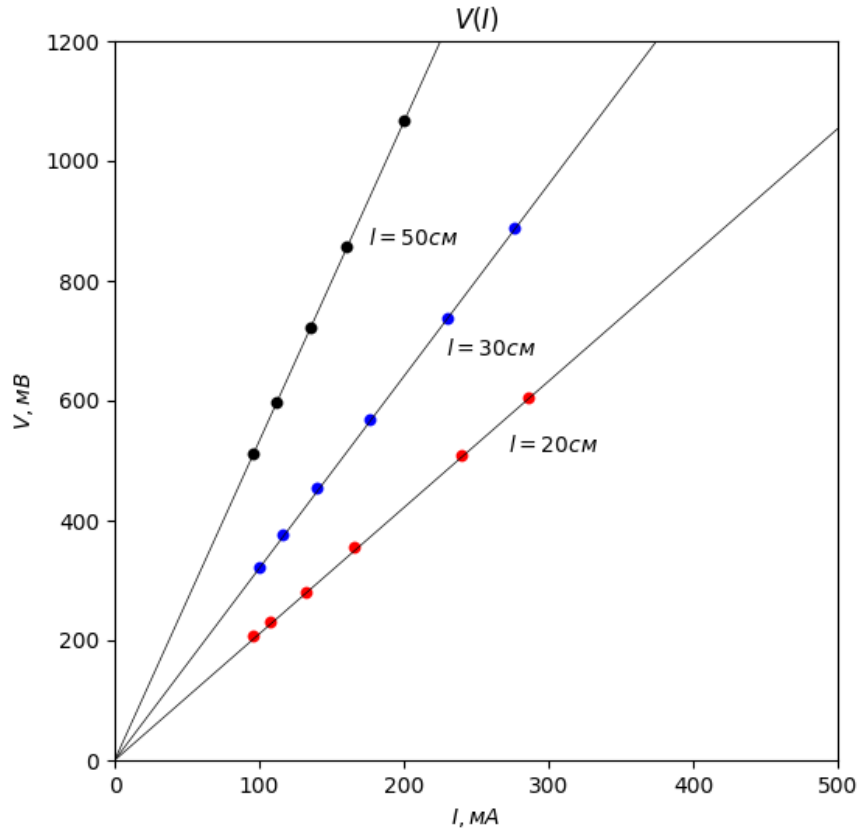


Таблица 2: Результаты измерения V , I для разных длин проволоки

| | | | | | | | |
|-------|-----------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| | $l = (50, 0 \pm 0, 2) \text{ см}$ | | | | | | |
| V, мВ | 512 | 598 | 723 | 857 | 1067 | 1371 | 1550 |
| I, мА | 96 | 112 | 135 | 160 | 200 | 258 | 290 |
| | $l = (30, 0 \pm 0, 2) \text{ см}$ | | | | | | |
| V, мВ | 322 | 377 | 454 | 569 | 739 | 889 | |
| I, мА | 100 | 116 | 140 | 176 | 230 | 276 | |
| | $l = (20, 0 \pm 0, 2) \text{ см}$ | | | | | | |
| V, мВ | 206 | 231 | 281 | 355 | 510 | 606 | |
| I, мА | 96 | 108 | 132 | 166 | 240 | 286 | |

Получим $\langle R_1 \rangle = 5,3258\Omega$, $\langle R_2 \rangle = 3,2025\Omega$, $\langle R_3 \rangle = 2,1076\Omega$ (5)

Случайная погрешность определения углового коэффициента вычисля-

ем как $\sigma_R^{rnd} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\frac{\langle V^2 \rangle}{\langle I^2 \rangle} - \langle R \rangle^2 \right)}$

Систематическая погрешность, обусловленная инструментальными погрешностями приборов $\Delta_R^{sys} \sim R \sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V_{max}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I_{max}} \right)^2}$

Полная погрешность сопротивления R не превышает $\sigma_R^{full} \leq \sqrt{(\sigma_R^{rnd})^2 + (\Delta_R^{sys})^2}$

Таблица 3: Результаты измерения сопротивления проволоки двумя способами

| l , см | $\langle R \rangle$, Ω | σ_R^{rnd} , Ω | Δ_R^{sys} , Ω | σ_R^{full} , Ω | R_{bridge} , Ω |
|----------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 50 | 5,3258 | 0,1380 | 0,0919 | 0,1658 | $5,3400 \pm 0,0100$ |
| 30 | 3,2025 | 0,1691 | 0,0581 | 0,1788 | $3,2360 \pm 0,0100$ |
| 20 | 2,1076 | 0,1263 | 0,0370 | 0,1316 | $2,1552 \pm 0,0100$ |

Полученные с помощью графика значения R немного ниже контрольных значений R_{bridge} , однако все отклонения находятся в пределах $\pm \sigma_R^{full}$

3.3 Вычисление удельного сопротивления проволоки

Подставляя в уравнение (1) сопротивление R , получим удельное сопротивление ρ проволоки.

Таблица 4: Результаты вычисления удельного сопротивления нити

| l , см | ρ , $10^{-6} \Omega \cdot \text{м}$ |
|----------|--|
| 50 | $1,0365 \pm 0,0409$ |
| 30 | $1,0388 \pm 0,0635$ |
| 20 | $1,0255 \pm 0,0910$ |

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

Усредняя результаты трёх опытов получим

$$\langle \rho \rangle = (1,0336 \pm 0,0651) \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{м} \quad (\varepsilon_\rho = 6,2984\%) \quad (6)$$

4 Обсуждение результатов и выводы

В ходе работы мы получили значение удельного сопротивления нихромовой проволоки круглого сечения с точностью $\varepsilon_\rho \approx 6,3\%$. Табличные

значения $\rho_{\text{табл}}$ лежат в диапазоне $0,99 \dots 1,16 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{м}$ в зависимости от состава сплава, из которого изготовлена нить. Полученные значения $\rho = (1,0336 \pm 0,0651) \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{м}$ входят в этот диапазон, однако относительно большая погрешность не позволяет определить марку сплава.

Полученные значения сопротивления R нитей оказались не самыми точными ($\varepsilon_R \approx 3,1\%$), что сильно повлияло на конечную погрешность для удельного сопротивления нити ρ . Одним из объяснений может стать то, что в этой работе мы не учитывали сопротивления других компонентов цепи, например, проводников и их соединений (ржавчина, царапины, неплотный контакт и т.д.). Большое отклонение также может быть объяснено неопытностью автора и недостаточной минимизацией функционала, который предусмотрен в МНК.

На точность результата повлияла также погрешность измерения диаметра проволоки. Случайная погрешность измерения микрометром оказалась меньше, чем цена его деления. Это не позволило уменьшить неточность измерений с помощью их многократного повторения. Кроме того, по нашим данным сложно сказать что-то об однородности диаметра проволоки на всей ее длине.