

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.1.1

Определение систематических и случайных погрешностей при
измерении удельного сопротивления нихромовой проволоки

Пилюгин Л. С.
Б02-212
15 сентября 2022 г.

1 Аннотация

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

Оборудование: линейка, штангенциркуль, микрометр, кусок проволоки из нихрома, амперметр, вольтметр, источник ЭДС, мост постоянного тока, потенциометр, ключ.

Способы определения сопротивления:

1. наклон графика $U(I)$
2. использование моста

2 Теоритические сведения

Удельное сопротивление проволоки круглого сечения:

$$\rho = R_0 \frac{\pi d^2}{4l},$$

R_0 — сопротивление проволоки, d — её диаметр, l — длина.

По закону Ома напряжение U и ток I в образце связаны соотношением

$$U = RI$$

Для измерения тока и напряжения используется схема, изображённая на рисунке.

Вольтметр неидеален, поэтому надо учесть поправку на его конечное сопротивление R_V .

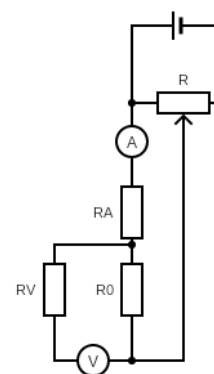
Показания амперметра I_A и вольтметра U_V связаны соотношением

$$V_V = R' I_A$$

R' — сопротивление параллельно соединённых вольтметра и проволоки.

$$R_0 = \frac{R_V R'}{R_V + R'} \approx R' \left(1 + \frac{R'}{R_V} \right)$$

График $U_V(I_A)$ — прямая с наклоном R' .



3 Оборудование и инструментальные погрешности

Линейка: $\Delta_l = \pm 0,5$ мм

Штангенциркуль: $\Delta_{шт} = \pm 0,05$ мм

Микрометр: $\Delta_m = \pm 0,005$ мм

Вольтметр:

Система	Цифровая
Класс точности	0,5
Цена деления	0,1 мВ
Внутреннее сопротивление	10 МОм
Погрешность	0,1 мВ

Амперметр:

Система	Магнито-электрическая
Класс точности	0,5
Предел измерений	750 мА
Число делений	150
Цена деления	5 мА
Чувствительность	30
Внутреннее сопротивление	37 мОм
Погрешность	1 мА

Мост постоянного тока Р4833:

Класс точности	0,1
Разрядность магазина сопротивлений	5 ед.
Исследуемый диапазон измерений	10^{-4} –10, Ом (для множителя $N = 10^{-2}$)
Погрешность измерений в исследуемом диапазоне	± 10 мОм

В диапазоне R_0 от 1 до 10 Ом относительная поправка к сопротивлению (отличие R' от R) составляет около 10^{-6} ($R_0 = 10$ Ом), чем можно пренебречь и считать, что $R' \approx R$.

4 Результаты измерений

4.1 Измерение диаметра d проволоки

Измерения проводились штангенциркулем и микрометром для $N = 10$ различных участков проволоки.

Таблица 1. Измерение диаметра проволоки штангенциркулем

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_{шт}$, мм	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

$$d_{шт} = 0,38 \pm 0,05 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_d = 0,13$$

Таблица 2. Измерение диаметра проволоки микрометром

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_m , мм	0,36	0,37	0,37	0,35	0,37	0,36	0,36	0,37	0,37	0,35

$$d_m = 0,364 \pm 0,005 \text{ мм}$$

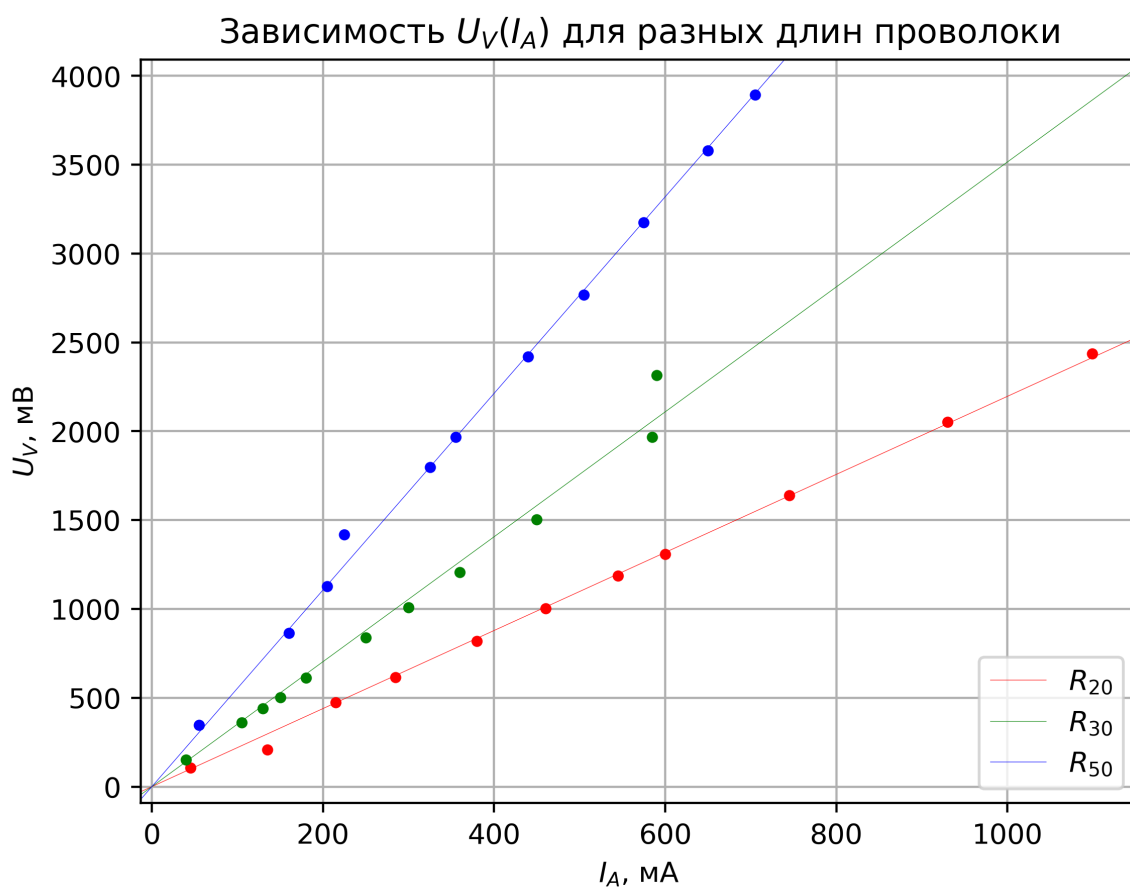
$$\varepsilon_d = 0,013$$

Измерения микрометром точнее, поэтому далее будут использоваться они.

$$S = \pi \frac{d^2}{4} = 0,104 \pm 0,003 \text{ мм}^2$$

Таблица 3. Показания амперметра и вольтметра

$l = 20 \text{ см}$											
$U_V, \text{ мВ}$	106,1	297,8	474	614,3	819,5	1001,7	1187,8	1309,7	1693,3	2051,6	2436
$I_A, \text{ мА}$	45	135	215	285	380	460	545	600	745	930	1099
$l = 30 \text{ см}$											
$U_V, \text{ мВ}$	151,3	360,3	441	501,5	613	838,8	1009,5	1207,4	1504	1967	2314,5
$I_A, \text{ мА}$	40	105	130	150	180	250	300	360	450	585	590
$l = 50 \text{ см}$											
$U_V, \text{ мВ}$	347,3	863,6	1127,5	1417,3	1797,4	1966,5	2420,5	2769	3175	3579,5	3895
$I_A, \text{ мА}$	55	160	205	225	325	355	440	505	575	650	705



4.2 Измерение сопротивления

Показания амперметра и вольтметра для разных длин проволоки приведены в таблице, графики изображены на рисунке.

По МНК находим наилучшие значения для R_0 :

$$\overline{R_0} = \frac{\langle U_V I_A \rangle}{\langle I_A^2 \rangle}$$

Систематическая погрешность измерений будет порядка $R \frac{\Delta I_A}{I_A} \sim 10^{-2}$, что на порядок меньше случайной погрешности, поэтому систематической погрешностью можно пренебречь.

Итого:

$$R_{20} = 2,20 \pm 0,12 \text{ Ом} \quad \varepsilon_{R_{20}} = 0,05$$

$$R_{30} = 3,52 \pm 0,12 \text{ Ом} \quad \varepsilon_{R_{20}} = 0,03$$

$$R_{50} = 5,53 \pm 0,15 \text{ Ом} \quad \varepsilon_{R_{20}} = 0,03$$

Измерения при помощи моста дают следующие результаты:

$$R_{20} = 2,169 \pm 0,01 \text{ Ом} \quad \varepsilon_{R_{20}} = 0,005$$

$$R_{30} = 3,305 \pm 0,01 \text{ Ом} \quad \varepsilon_{R_{20}} = 0,003$$

$$R_{50} = 5,4301 \pm 0,01 \text{ Ом} \quad \varepsilon_{R_{20}} = 0,002$$

Значения R_{20} и R_{50} , измеренные при помощи графика, отличаются от соответствующих значений для моста, но лежат в пределах погрешностей. А вот R_{30} довольно сильно отличается от значения, данного мостом. Это может быть связано с выбросным последним измерением. Если его не учитывать, то $R_{30} = 3,36 \pm 0,11 \text{ Ом}$, что совпадает со значением моста в пределах погрешности.

Далее будут использоваться значения R_0 для моста, т.к. они дают меньшую погрешность.

$$\rho_{20} = (1,13 \pm 0,03) \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{30} = (1,15 \pm 0,03) \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{50} = (1,13 \pm 0,03) \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Окончательно $\rho = (1,14 \pm 0,03) \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ лежит в пределах допустимых значений.

Измерения l дают относительную погрешность $\varepsilon_l = 10^{-3}$. При достигнутых точностях измерений l и d сопротивление можно измерять с точностью не более, чем $2 \cdot \varepsilon_d / 2 \approx 0,01$.

5 Вывод

Значения ρ лежат в пределах допустимых (от 1,05 до 14 Ом·м), точность измерений довольно высока (порядка 1 %). Наибольший вклад в погрешность вносит точность измерения диаметра проволоки.