

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий.

Отчёт о выполнении лабораторной работы

1.1.1

Определение систематических случайных погрешностей при измерении удельного сопротивления нихромовой проволоки.

Автор:
Устюжанина Мария Алексеевна
Б01-107

1 Введение

Цель работы: измерить удельное сопротивление проволоки, изготовленной из нихромового сплава, и вычислить систематическую и случайную погрешности при использовании измерительных приборов (штангенциркуля, микрометра, мультиметра, амперметра, моста постоянного тока). **Оборудование:** штангенциркуль, микрометр, отрезок проволоки из нихрома, амперметр, мультиметр, источник ЭДС, мост постоянного тока, реостат, ключ.

2 Теоретические сведения

Методы измерения сопротивления:

1. определение углового коэффициента наклона зависимости напряжения на проволоке от тока через неё;
2. измерение с помощью моста постоянного тока.

Удельное сопротивление однородной проволоки круглого сечения можно определить по следующей формуле:

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

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

Согласно закону Ома напряжение V и ток I в образце связаны соотношением

$$V = RI.$$

Для измерения напряжения и тока используем схему, изображенную на рис.1. Так как она приводит к меньшей поправке.

Ввиду неидеальности используемого вольтметра необходимо учесть поправку на его конечное сопротивление R_V . Показания амперметра I_A и вольтметра V_B связаны соотношением:

$$V_B = R' I_A,$$

где R' — сопротивление параллельно соединённых проволоки и вольтметра.

При этом $\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R}$, и $R_V \gg R, R'$.

Таким образом, график зависимости $V_B(I_A)$ должен представлять прямую, угловой коэффициент которой есть R' , откуда сопротивление образца может быть найдено по следующей формуле:

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

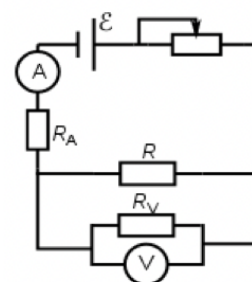


Рис. 1: Схема цепи

3 Оборудование и экспериментальные погрешности

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

Микрометр: $\Delta_{мкм} = \pm 0,005$ мм

Вольтметр(в качестве вольтметра использовался мультиметр): $R_v = 10\text{МОм}$

Амперметр:

Система	Электромагнитная
Класс точности	0,2
Предел измерения	300 мА
Число делений	150 ед.
Цена деления	2 мА
Абс. погрешность	0.5 мА
Внутреннее сопротивление	$R_A = 0,55\text{Ом}$

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 используемом диапазоне	$\pm 0,010$ Ом

4 Результаты измерений и обработка данных

4.1 Измерение диаметра d проволоки

Измерения проводились штангенциркулем и микрометром для $N = 10$ различных участков проволоки. При измерении штангенциркулем получено $d = 0,4$ мм для всех участков. При измерении микрометром были получены следующие показания:

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d, мм	0,37	0,365	0,37	0,365	0,365	0,36	0,36	0,37	0,365	0,37

Таблица 1: Измерение диаметра проволоки микрометром

Среднее значение диаметра $\bar{d} = \frac{\sum d_i}{N} = 0,366$ мм.

Случайная погрешность измерения $\sigma_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum (d_i - \bar{d})^2} \approx 0,0012$ мм.

С учётом инструментальной погрешности $\Delta_{мкм} = 0,005$ мм погрешность диаметра может быть вычислена как $\sigma_{\bar{d}}^{\text{полн}} = \sqrt{\sigma_{\bar{d}}^2 + \Delta_{мкм}^2} \approx 0,005$ мм.

Окончательные результаты измерения диаметра проволоки:

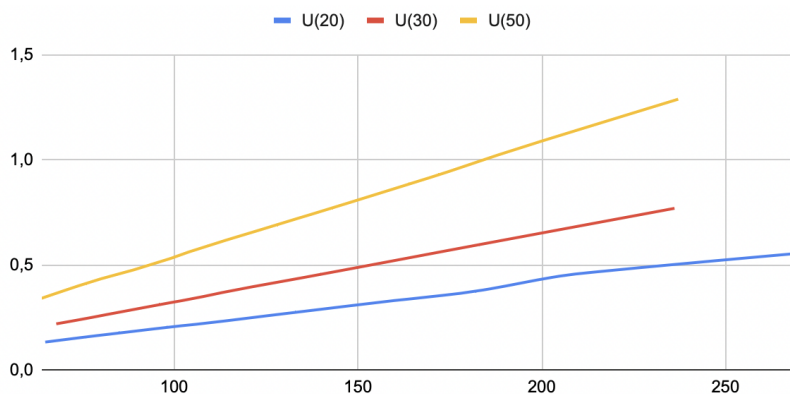
- Штангенциркулем: $d = 0,4 \pm 0,1$ мм
- Микрометром: $(0,366 \pm 0,005 \text{ мм})$

4.2 Измерение сопротивления проволоки

Проведем 10 измерений значений тока и напряжения для 3 длин проволоки. Результаты занесем в таблицу:

$l = 20 \text{ см}$										
I_A , дел.	32,5	38	42,5	49	55	66,5	78	91	103,5	135
I_A , мА	35	76	85	98	110	133	156	182	207	27
V_B , В	0,1321	0,1563	0,175	0,2017	0,2248	0,2735	0,3217	0,3746	0,51	
$l = 30 \text{ см}$										
I_A , дел.	34	37,5	42,5	48	52,5	58,5	70	77,5	91,5	118
I_A , мА	68	75	85	96	105	117	140	155	183	236
V_B , В	0,219	0,241	0,274	0,31	0,339	0,381	0,455	0,504	0,596	0,7685
$l = 50 \text{ см}$										
I_A , дел.	32	38	47	54,5	64	71,5	82	86	98	118,5
I_A , мА	64	76	94	109	128	143	164	172	196	237
V_B , В	0,341	0,411	0,503	0,589	0,691	0,771	0,885	0,929	1,067	1,288

Графики зависимостей $U = f(I)$ для всех отрезков проволоки:



Из графиков видно, что нет различия между значениями, полученными при возрастании и при уменьшении тока.

Для каждой длины проволоки находим сопротивление $R_{\text{ср}} = \frac{\langle UI \rangle}{\langle I^2 \rangle}$ и среднеквадратичную случайную ошибку:

$$\sigma_{R_{\text{ср}}}^{\text{случ}} = \frac{1}{\sqrt{10}} \sqrt{\frac{\langle U^2 \rangle}{\langle I^2 \rangle} - R_{\text{ср}}^2},$$

где 10 - число экспериментальных точек.

Возможную систематическую погрешность $R_{\text{ср}}$ найдем по формуле:

$$\sigma_{R_{\text{ср}}}^{\text{сист}} = R_{\text{ср}} \sqrt{\left(\frac{\sigma U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\sigma I}{I}\right)^2},$$

где U , I - максимальные значения силы тока и напряжения, σU , σI - ошибки измерения вольтметром и амперметром:

$$\sigma U = 0,1 \text{ мВ}$$

$$\sigma I = 1 \text{ мА}$$

$$\text{Ошибка измерений } \sigma_R = \sqrt{(\sigma_R^{\text{случ}})^2 + (\sigma_R^{\text{сист}})^2}$$

Результаты в таблице.

4.3 Измерения сопротивления с помощью мультиметра и моста

Измерим сопротивление с помощью мультиметра R_0 и моста "постоянного тока" R'_0 . Занесем результаты в таблицу.

Для всех длин вычислим поправку в измеренное значение по формуле:

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{ср}} + \frac{R_{\text{ср}}^2}{R_V}$$

Занесем результаты в таблицу.

Результаты измерения сопротивления проволоки и погрешность

l, см	20	30	50
$R_{\text{ср}}$	2,079	3,249	5,412
R_0	2,03	3,22	5,4
R'_0	2,2156	3,3977	5,4974
$\sigma_{\text{сист}}$	0,008	0,014	0,023
$\sigma_{\text{случ}}$	0,015	0,004	0,008
$\sigma_{\text{полн}}$	0,017	0,015	0,26

Итоговый результаты измерения сопротивления проволоки и погрешность

l, см	20	30	50
$R_{\text{ср}}$	2,079	3,249	5,412
$\sigma_{\text{полн}}$	0,017	0,015	0,024

Сравнивая результаты измерения сопротивления проволоки с помощью вольтметра и амперметра с результатами, полученными с помощью моста и мультиметра получаем расхождения в значениях, не превышающие погрешности.

4.4 Нахождение удельного сопротивления проволоки

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

И погрешность по формуле:

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

l, см	$\rho, 10^{-6} \text{Ом} \cdot \text{м}$	$\sigma_\rho, 10^{-6} \text{Ом} \cdot \text{м}$
20	1,09	0,17
30	1,14	0,16
50	1,14	0,16

Тогда:

$$\rho = (1,12 \pm 0,17) \cdot 10^{-6} \text{Ом} \cdot \text{м}$$

5 Вывод

Сравним табличное значение с полученным: табличные лежат удельного сопротивления нихромовой проволоки лежат в диапазоне $0,97 \dots 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Полученные значения попадают в этот диапазон.

Использованный в работе метод позволил получить результат с точностью 14,7%.

В ходе работы был подтвержден закон Ома для участка цепи. Установленно, что сопротивление проволоки не зависит от величины I и U , а зависит только от их отношения.

В ходе эксперимента было выявлено, что с увеличением длины проволоки систематическая погрешность увеличивается. В полную погрешность вносят существенный вклад и систематическая, и случайная погрешности.