

# Отчёт о выполнении лабораторной работы

## 1.1.1

### Определение удельного сопротивления нихромовой проволоки

Автор:  
Трунов Владимир  
Б01-103

# 1 Введение

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

**В работе используются:** линейка, штангенциркуль, микрометр, отрезок проволоки из нихрома, амперметр, вольтметр, источник ЭДС, мост постоянного тока, реостат, ключ.

В работе используются следующие методы измерения сопротивления:

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

## 2 Теоретические сведения

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

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

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 на *рис. 1*.

Т.к. используемый вольтметр неидеален необходимо сделать поправку на его сопротивление  $R_V$ .

Показания амперметра  $I_A$  и вольтметра  $V_B$  связаны следующим 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:

$$R = \frac{R_V R'}{R_V - R'} \approx R' \left( 1 + \frac{R'}{R_V} \right) \quad (2)$$

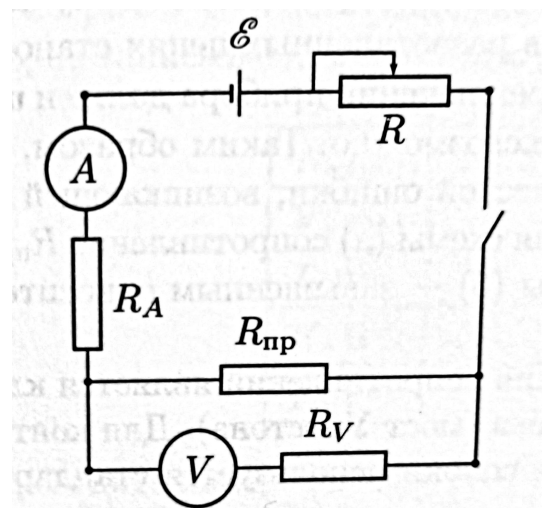


Рис. 1: Схема цепи

### 3 Оборудование и экспериментальные погрешности

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

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

**Вольтметр:**

Система	Магнито-электрическая
Класс точности	0,5
Предел измерений	0,75 мА
Цена деления	$5 \cdot 10^{-3}$ В = 5 мВ
Чувствительность	200 дел./В
Внутреннее сопротивление	5 кОм
Погрешность при считывании со шкалы	$\pm 2,5$ мВ
Максимальная погрешность по классу точности	$\pm 3,75$ мВ

**Амперметр:**

Система	Цифровая
Предел измерения	2 А
Разрядность дисплея	5 ед.
Внутреннее сопротивление	$R_A = 1,4$ Ом
Погрешность	$\Delta = (0,002 \cdot X + 2k)$ $X$ - величина $K$ - единица младшего разряда ( $k = 0,01$ мА)

В диапазоне измерения  $R$  от 1 до 10 Ом относительная поправка к сопротивлению согласно ф-ле (2) составляет  $\approx 10^{-4}\%$  (при  $R' = 10$  Ом и  $R_V = 5$  кОм). Поэтому эта поправка пренебрежимо мала и не оказывает значительного влияния на последующие измерения. Поэтому далее будем считать, что

$$R \approx R'$$

**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:

Среднее значение диаметра  $\bar{d} = \frac{\sum d_i}{N} = 0,357$  мм.

Случайная погрешность измерения  $\sigma_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum (d_i - \bar{d})^2} \approx 0,001$  мм.

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

Таблица 1: Измерение диаметра проволоки микрометром

С учётом инструментальной погрешности  $\Delta_{\text{МКМ}} = 0,01$  мм погрешность диаметра может быть вычислена как  $\sigma_d^{\text{полн}} = \sqrt{\sigma_d^2 + \Delta_{\text{МКМ}}^2} \approx 0,01$  мм.

Окончательные результаты измерения диаметра проволоки:

- Штангенциркулем:  $d = 0,4 \pm 0,05$  мм
- Микрометром:  $0,357 \pm 0,01$  мм ( $\varepsilon = 2,7\%$ )

## 4.2 Измерение сопротивления проволоки

Результаты измерений зависимостей показания вольтметра  $V_B$  от показаний амперметра  $I_A$  в схеме на рис. 1 представлены в Таблице 2. Соответствующие графики зависимостей изображены на рис. 2.

Пользуясь методом наименьших квадратов, строим аппроксимирующие прямые  $V_B = \bar{R}I_A$ , определяя их угловой коэффициент по формуле

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

$l = 20$ см										
$V_B$ , дел.	145	119	85	54	40	44	55	70	81	142
$V_B$ , мВ	725	595	425	270	200	220	275	350	405	710
$I_A$ , мА	334,16	275,28	194,88	123,62	92,33	102,75	127,91	162,69	186,32	328,03
$l = 30$ см										
$V_B$ , дел.	149	120	91	71	52	59	67	78	94	124
$V_B$ , мВ	745	600	455	355	260	295	335	390	470	620
$I_A$ , мА	227,16	182,61	138,14	107,99	78,89	90,03	101,51	117,83	142,59	189,22
$l = 50$ см										
$V_B$ , дел.	150	136	114	92	77	88	105	130	143	125
$V_B$ , мВ	750	680	570	460	385	440	525	650	715	625
$I_A$ , мА	139,06	125,81	105,1	85,15	71,16	81,32	97,09	120,46	132,55	115,25

Таблица 2: Зависимость  $V_B$  от  $I_A$  для разных длин проволоки  $l$ .

Случайную погрешность определения углового коэффициента вычисляем как

$$\sigma_R^{\text{сл}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left( \frac{\langle V^2 \rangle}{\langle I^2 \rangle} - \bar{R}^2 \right)},$$

где  $n = 10$  – число измерений.

Теперь оценим систематическую погрешность, которая возникает из-за неточности используемых приборов. Полагая, что при всех измерениях относительная погрешность неизменна, оценим погрешность вычисления частного  $R = V/I$  при максимальных значениях  $V$  и  $I$ :

$$\Delta_R^{\text{сист}} \approx R \sqrt{\left( \frac{\Delta_V}{V_{\text{max}}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta_I}{I_{\text{max}}} \right)^2}$$

Тогда полная погрешность измерения  $R$  вычисляется следующим образом:

$$\sigma_R^{\text{полн}} = \sqrt{(\sigma_R^{\text{сл}})^2 + (\Delta_R^{\text{сист}})^2}.$$

Результаты вычислений приведены в *Таблице 3*. Там же представлены результаты измерения сопротивления при помощи моста Р4833.

$l$ , см	$\bar{R}$ , Ом	$\sigma_R^{\text{сл}}$ , Ом	$\sigma_R^{\text{сист}}$ , Ом	$\sigma_r^{\text{полн}}$ , Ом	$\varepsilon$ , %	$R_{\text{мост}}$ , Ом
20	2,170	0,008	0,007	0,011	0,5	$(2,174 \pm 0,010)$
30	3,270	0,009	0,011	0,014	0,4	$(3,276 \pm 0,010)$
50	5,382	0,017	0,018	0,025	0,5	$(5,363 \pm 0,010)$

Таблица 3: Результаты измерения сопротивления проволоки

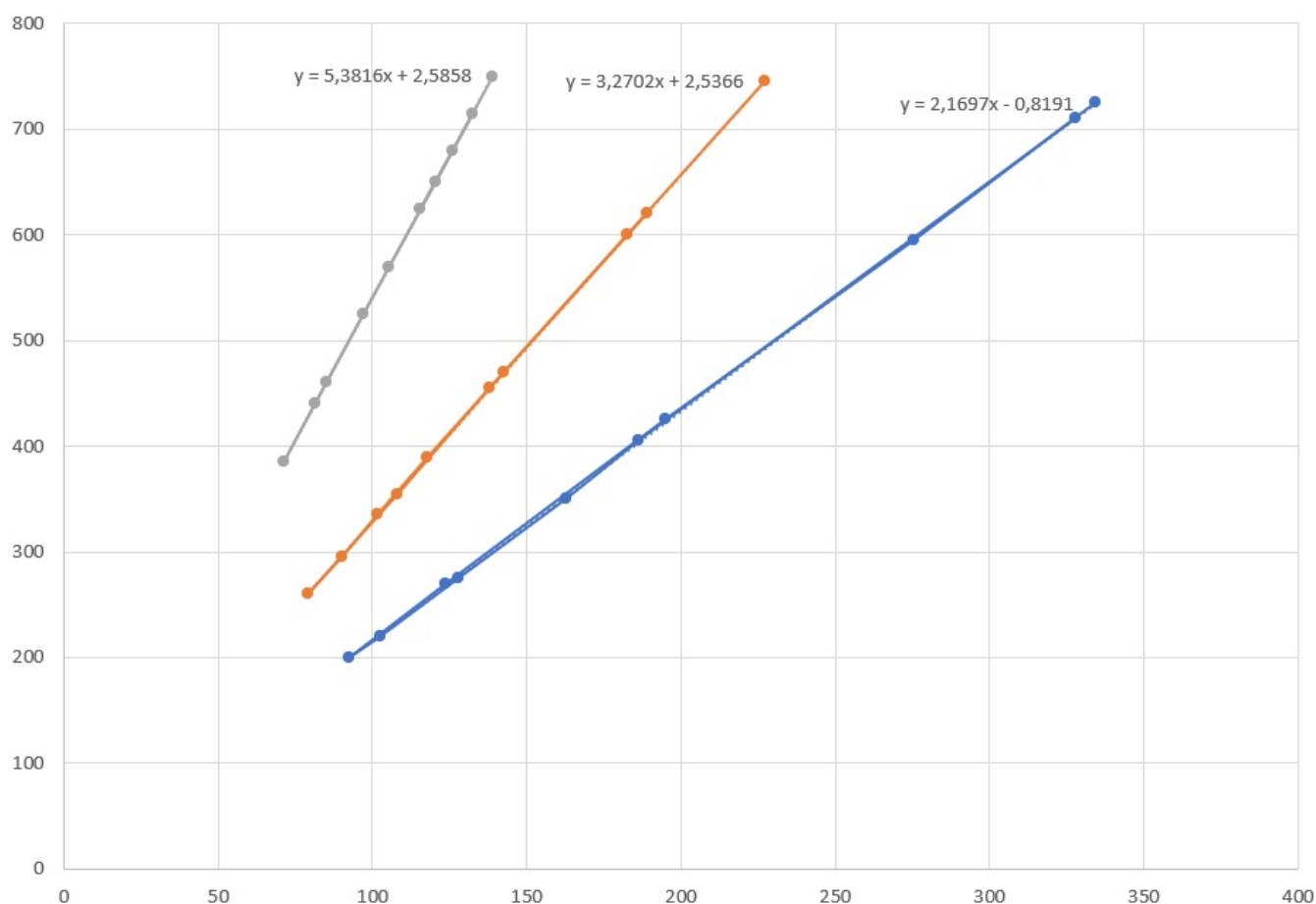


Рис. 2: Результаты измерений напряжения  $V_B$  в зависимости от тока  $I_A$  для проволок разной длины  $l$  и их линейная аппроксимация  $y = kx$ .

Таким образом, относительная погрешность измерения сопротивления достаточно мала и находится на уровне 0,5%. Также вычисленные значения сопротивления достаточно хорошо совпадают с измерениями при помощи моста.

### 4.3 Вычисление удельного сопротивления

По формуле (1) находим удельное сопротивление материала проволоки, используя значения, полученные в п. 4.2. Относительную погрешность вычисления  $\rho$  определяем по следующей формуле и заносим результаты в *таблицу 4*:

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

	$\rho$ , Ом · мм <sup>2</sup> /м	$\sigma_\rho$ , Ом · мм <sup>2</sup> /м	$\varepsilon_\rho$ , %
$l = 20$ см	1,086	0,062	5,7
$l = 30$ см	1,092	0,063	5,8
$l = 50$ см	1,079	0,062	5,7

Таблица 4: *Результат измерения удельного сопротивления*

Усредняя результаты трёх опытов, окончательно получаем:

$$\bar{\rho} = \underline{(1,086 \pm 0,062) \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}} (\varepsilon_\rho = 5,7\%)$$

## 5 Обсуждение результатов и выводы

В ходы работы было получено значение удельного сопротивления нихромовой проволоки с точностью  $\sim 5,7\%$ . Табличные значения для нихрома лежат в диапазоне  $0,99 \dots 1,12$  Ом · мм<sup>2</sup>/м в зависимости от состава различных сплавов. Измеренные значения  $\rho = (1,086 \pm 0,062)$  Ом · мм<sup>2</sup>/м попадают в нужный диапазон, однако они не позволяют точно определить марку сплава.

Следует отметить, что погрешность измерения удельного сопротивления  $\rho$  существенно зависит от погрешности измерения диаметра проволоки (т.е. от точности микрометра или штангенциркуля). Уточнить значение диаметра проволоки позволили многократные измерения по всей ее длине. Но это по-прежнему не гарантирует ее однородность.