

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
Факультет аэрофизики и космических исследований

Отчет о выполнении лабораторной работы 1.1.1  
Измерение удельного сопротивления нихромовой проволоки

Коломоец А.А.  
Группа Б03-504

Сентябрь 2025

## Содержание

Аннотация.....	2
Теоретические сведения.....	2
Оборудование.....	2
Ход работы.....	3
Вывод.....	6

## Аннотация

**Цель работы:** проверить применимость закона Ома для исследуемого образца и измерить его удельное сопротивление.

## Теоретические сведения

Удельное сопротивление проволоки круглого сечения можно измерить по формуле:

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

Где  $R_{np}$  - сопротивление проволоки,  $d$  - диаметр,  $l$  - длина.

Общее сопротивление параллельно соединенных проволоки и вольтметра равно:

$$R'_{np} = \frac{U_v}{I_a} \quad (2)$$

Где  $I_a$  - сила тока через амперметр,  $U_v$  - напряжение на вольтметре.

Сопротивление проволоки в этом случае можно считать следующим образом:

$$R_{np} = \frac{R_v R'_{np}}{R_v - R'_{np}} \quad (3)$$

Где  $R_v$  - сопротивление вольтметра.

## Оборудование

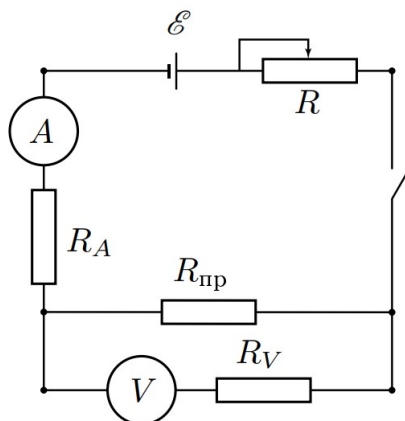


Рисунок 1. Схема цепи

При проведении эксперимента использовались:

1. Отрезок нихромовой проволоки
2. Соединительные провода
3. Вольтметр
4. Амперметр
5. Источник ЭДС
6. Мост постоянного тока Р4833
7. Реостат
8. Линейка
9. Микрометр
10. Штангенциркуль

## Основные характеристики приборов

(Таблица 1)

	Вольтметр	Миллиамперметр
Система	Электромагнитная	Аналоговая
Класс точности		0,5
Предел измерений $x_n$		0,3 А
Число делений шкалы $n$		150
Цена деления $x_n/n$		2 мА
Чувствительность $n/x_n$		500 дел/А
Абсолютная погрешность $\Delta x_M$	0,1 мВ	1,5 мА
Внутреннее сопротивление прибора	10 МΩ	Пренебрежимо мало

## Ход работы

Точность измерения с помощью штангенциркуля — 0,1 мм. Точность измерения с помощью микрометра — 0,01 мм.

### Измерение диаметра проволоки

(Таблица 2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_{шт}, мм$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$d_{мк}, мм$	0,36	0,35	0,35	0,36	0,36	0,35	0,36	0,36	0,36	0,35

$d_{шт}$  - диаметр, измеренный штангенциркулем.  $d_{мк}$  - диаметр, измеренный микрометром.

$$\overline{d_{шт}} = 0,4 \text{ мм} \quad \overline{d_{мк}} = 0,356 \text{ мм}$$

При измерении проволоки штангенциркулем случайная погрешность отсутствует, тогда точность результата определяется только систематической погрешностью:

$$d_{шт} = (0,4 \pm 0,1) \text{ мм.}$$

Измерения микрометром содержат и систематическую и случайную погрешность

$$\sigma_{сисм} = 0,01 \text{ мм}, \quad \sigma_{сл} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^n (d_i - \overline{d})^2} = \frac{1}{10} \sqrt{0,024} \approx 0,015 \text{ мм.}$$

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{сисм}^2 + \sigma_{сл}^2} = \sqrt{0,01^2 + 0,015^2} \approx 0,018 \text{ мм.}$$

$$d_{мк} = \overline{d_{мк}} \pm \sigma_d = (0,356 \pm 0,018) \text{ мм.}$$

Определим площадь поперечного сечения проволоки:

$$S = \frac{\pi d_{мк}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (3,56 \cdot 10^{-2})^2}{4} \approx 0,99 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$$

$$\sigma_s = 2 \frac{\sigma}{d} S = 2 \left( \frac{0,018}{0,356} \right) \cdot 1 \cdot 10^{-3} \approx 10^{-4} \text{ см}^2$$

$$S = (0,99 \pm 0,10) \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$$

### Измерение показаний вольтметра и амперметра

(Таблица 3)

l = 20 см												
U, мВ	59,3	43	32,5	25,1	20,1	15,3	14,7	16,5	19,1	25,6	38,6	59
$I, \text{ дел } 2 \frac{\text{мА}}{\text{дел}}$	14,8	10,7	8,1	6,3	5,0	3,9	3,7	4,1	4,8	6,4	9,7	14,7
I, мА	29,6	21,4	16,2	12,6	10,0	7,8	7,4	8,2	9,6	12,8	19,4	29,4
l = 30 см												
U, мВ	88,3	65,3	50,8	36,3	29,1	23,0	22,2	25,0	28,7	38,1	54,4	88,3
$I, \text{ дел } 2 \frac{\text{мА}}{\text{дел}}$	14,8	11,0	8,6	6,1	4,9	3,9	3,8	4,2	4,8	6,4	9,2	14,8
I, мА	29,6	22,0	17,2	12,2	9,8	7,8	7,6	8,4	9,6	12,8	18,4	29,6
l = 40 см												
U, мВ	143,2	106,8	71,3	54,5	43,4	36,7	34,6	38,9	48,2	71,1	94,7	129,2
$I, \text{ дел } 2 \frac{\text{мА}}{\text{дел}}$	14,3	10,7	7,2	5,4	4,4	3,7	3,5	3,9	4,9	7,1	9,5	13,0
I, мА	28,6	21,4	14,4	10,8	8,8	7,4	7,0	7,8	9,8	14,2	19,0	26,0

### Результаты измерения сопротивления проволоки

(Таблица 4)

L = 20 см	L = 30 см	L = 50 см
$R_0 = 2,056 \Omega$	$R_0 = 3,032 \Omega$	$R_0 = 5,044 \Omega$
$R_{cp} = 1,997 \Omega$	$R_{cp} = 2,989 \Omega$	$R_{cp} = 4,987 \Omega$
$R_{np} = 1,998 \Omega$	$R_{np} = 2,989 \Omega$	$R_{np} = 4,987 \Omega$
$\sigma_{Rnp}^{случ} = 0,036 \Omega$	$\sigma_{Rnp}^{случ} = 0,043 \Omega$	$\sigma_{Rnp}^{случ} = 0,029 \Omega$
$\sigma_{Rnp}^{сисм} = 0,051 \Omega$	$\sigma_{Rnp}^{сисм} = 0,075 \Omega$	$\sigma_{Rnp}^{сисм} = 0,089 \Omega$
$\sigma_R = 0,062 \Omega$	$\sigma_R = 0,086 \Omega$	$\sigma_R = 0,094 \Omega$

Для всех трех величин l внесем в таблицу значение  $R_{np}$ , которое вычисляется по формуле (3):

$$R_{np} = \frac{R_v R'_{np}}{R_v - R'_{np}} = \frac{R_v R_{cp}}{R_v - R_{cp}}$$

$\sigma_A$  и  $\sigma_V$  - среднеквадратичные ошибки при измерении амперметром и вольтметром.

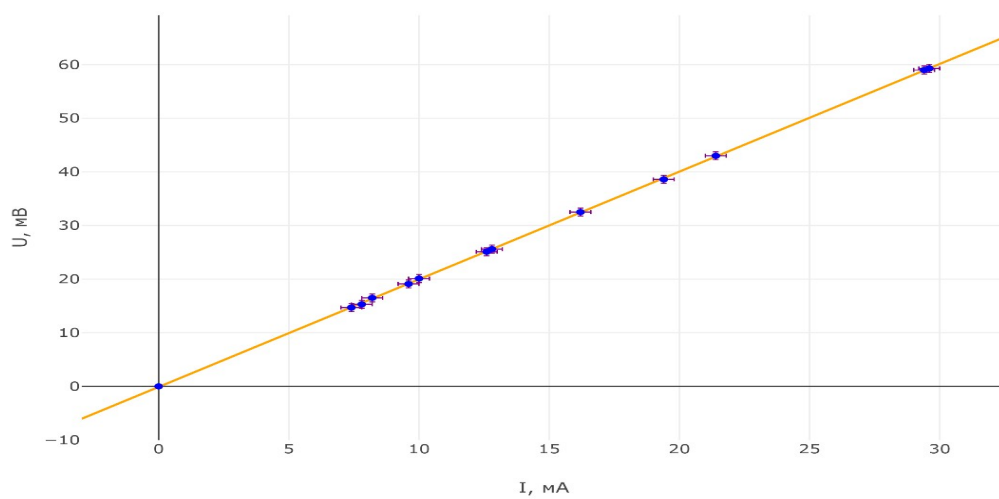
$$\sigma_V = \frac{\Delta x}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ мВ.} \quad \sigma_A = \frac{\Delta x}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ мА.}$$

Рассчитаем  $\sigma_{Rcp}$  для проволоки l = 30 см;  $R_{cp} = 2,989 \Omega$ , U = 88,3 мВ, I = 29,6 мА.

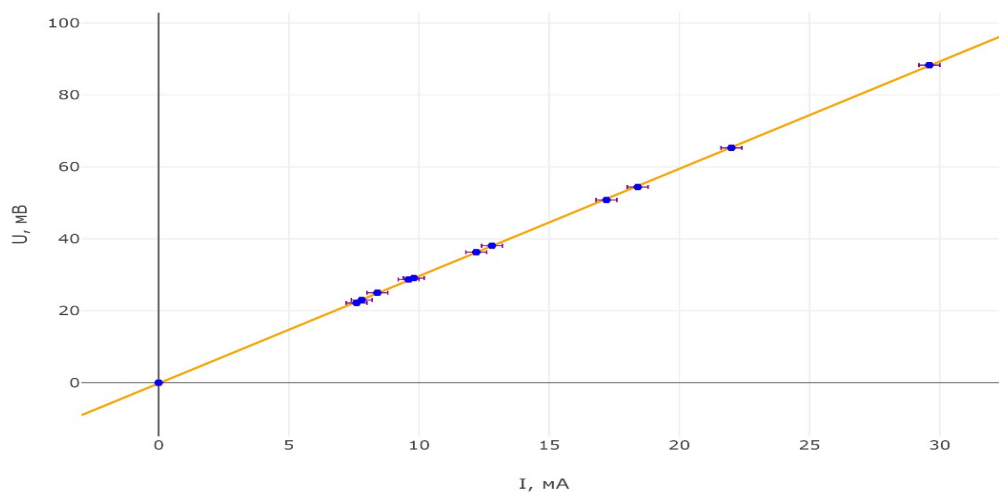
$$\sigma_{Rcp}^{сисм} = R_{cp} \sqrt{\left(\frac{\sigma_v}{U}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_A}{I}\right)^2} = 2,989 \sqrt{\left(\frac{0,05}{88,3}\right)^2 + \left(\frac{0,75}{29,6}\right)^2} \approx 0,075 \Omega$$

На странице 5 представлены графики зависимостей U(I) для трех длин проводников.

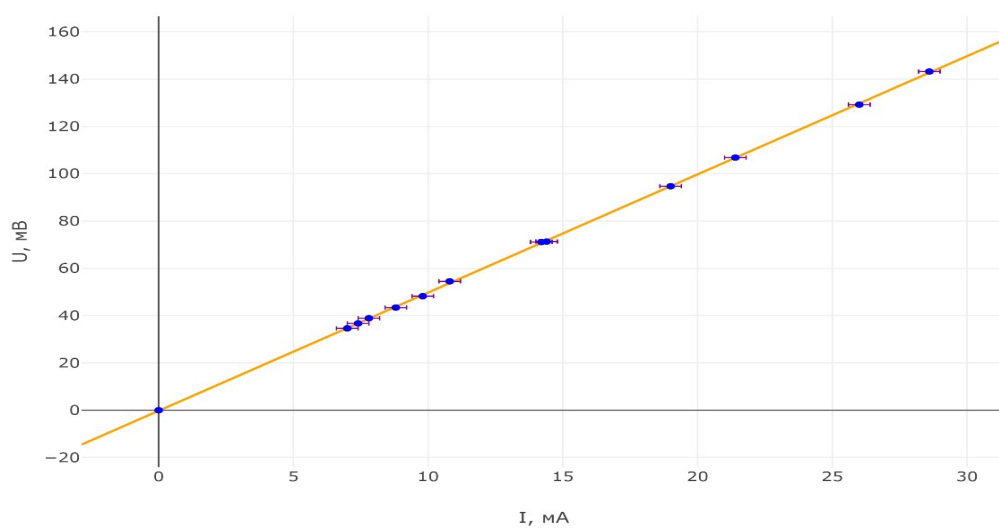
$l = 20 \text{ cm}$



$l = 30 \text{ cm}$



$l = 50 \text{ cm}$



Случайную погрешность определения углового коэффициента вычисляем так:

$$\sigma_{Rnp}^{случ} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left( \frac{U_{cp}^2}{I_{cp}^2} - R_{cp}^2 \right)}$$

Теперь можем вычислить полную погрешность.

$$\sigma_R = \sqrt{(\sigma_{Rcp}^{случ})^2 + (\sigma_{Rcp}^{сист})^2}$$

Далее перенесем все данные в таблицу 4.

### Вычисление удельного сопротивления проволоки

Расчет удельного сопротивления проволоки производится по формуле (1)

Относительная погрешность вычисления  $\rho$  считается по формуле

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

(Таблица 5)

l, см	$\rho, 10^{-4} \Omega \cdot \text{см}$	$\sigma_{\rho}, 10^{-6} \Omega \cdot \text{см}$
20	0.997	6.356
30	0.979	6.848
50	0.988	5.896

Окончательно:  $\rho = (0,988 \pm 0,064) \cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{см} (\varepsilon = 6,4 \%)$

## Вывод

Основной вклад в погрешность  $\rho$  вносит погрешность измерения диаметра проволоки, которая приблизительно равна 3%, но так как из-за возведения в квадрат она удваивается, то вклад в погрешность получается примерно 6%. Погрешность остальных измерений достаточно мала по сравнению с измерением диаметра (меньше 2%), поэтому точнее всего необходимо выполнять измерение диаметра проволоки. В качестве альтернативного способа можно находить площадь сечения по массе проволоки, ее плотности и длине. Можно будет измерить массу достаточно большого мотка проволоки (несколько метров) для достижения наибольшей точности.