

## Лабораторная работа № 30

Изучение систематических и случайных погрешностей  
на примере измерения  
удельного сопротивления металлов

## Изучение систематических и случайных погрешностей на примере измерения удельного сопротивления металлов

Цель работы: ознакомление с методами оценки результатов измерений и расчета погрешностей

### Методика эксперимента

В данной работе в качестве сопротивления используется нихромовая проволока, натянутая между плоскими прижимными контактами. Вдоль проволоки может перемещаться подвижный контакт, с помощью которого устанавливается длина исследуемого участка. Электрическая схема установки для измерения сопротивления проволоки  $R_{np}$  представлена на рис. 1.

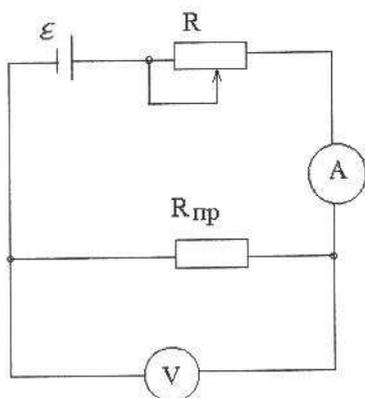


Рис. 1

Пусть  $U$  и  $I$  – показания вольтметра и амперметра. Рассчитанное по этим показаниям сопротивление проволоки

$$R'_{np} = U / I \quad (1)$$

будет отличаться от искомого  $R_{np}$  из-за влияния внутреннего сопротивления вольтметра  $R_V$ . Очевидно, что

$$R'_{np} = R_{np} \cdot R_V / (R_{np} + R_V), \quad (2)$$

из (2) получим

$$R_{np} = R'_{np} / (1 - R'_{np} / R_V). \quad (3)$$

С учетом того, что  $R_{np} \ll R_V$  выражению (3) можно придать вид

$$R_{np} = R'_{np} \cdot (1 + R'_{np} / R_V). \quad (4)$$

Член  $R'_{np} / R_V$ , входящий в выражения (3) и (4), определяет поправку на сопротивление вольтметра, которую в некоторых случаях следует учитывать при измерении  $R_{np}$ .

Задание 1. Определение диаметра и площади поперечного сечения проволоки

1. Ознакомьтесь с устройством микрометра. Измерьте диаметр проволоки на  $5 \div 7$  различных участках. Данные занесите в табл. 1.

Таблица 1

$n$	1	2	3	4	5	6	7
$d, \text{мм}$							
Средние значения				$\langle d \rangle =$		$\langle d^2 \rangle =$	

2. Рассчитайте случайную  $S'_{\langle d \rangle}$  и систематическую  $S''_{\langle d \rangle}$  погрешности измерения диаметра проволоки:  $S'_{\langle d \rangle} = \sqrt{(\langle d^2 \rangle - \langle d \rangle^2) / (n-1)}$ ;  $S''_{\langle d \rangle} = \Delta d / d$ , где  $\Delta d$  – цена наименьшего деления шкалы микрометра.

3. Рассчитайте стандартную  $S_{\langle d \rangle}$  и относительную  $E_{\langle d \rangle}$  погрешности:

$$S_{\langle d \rangle} = \sqrt{S'^2_{\langle d \rangle} + S''^2_{\langle d \rangle}} \quad ; \quad E_{\langle d \rangle} = S_{\langle d \rangle} / \langle d \rangle \quad .$$

4. Результат запишите в виде  $d = \langle d \rangle \pm S_{\langle d \rangle}$ .

5. Рассчитайте площадь поперечного сечения  $\langle s \rangle = \pi \langle d \rangle^2 / 4$  проволоки и погрешности её определения  $S_{\langle s \rangle} = 2 \cdot S_{\langle d \rangle} \cdot \langle s \rangle / \langle d \rangle$ ;  $E_{\langle s \rangle} = S_{\langle s \rangle} / \langle s \rangle$ .

6. Результат запишите в виде  $s = \langle s \rangle \pm S_{\langle s \rangle}$ .

Задание 2. Определение сопротивления и удельного сопротивления нихромовой проволоки

Условия эксперимента:  $\ell = \text{Const}$ ;  $I, U = \text{Var}$ .

Уравнение (1) представим в виде  $U = R'_{np} \cdot I$ , то есть в виде уравнения прямой линии  $y = A + B \cdot x$ , где  $y = U$ ,  $x = I$ ,  $B = R'_{np}$ .

1. По указанию преподавателя выполните Задание 1 или возьмите известные значения для площади поперечного сечения проволоки  $s$ ,  $E_{\langle \ell \rangle}$ .

2. Ознакомьтесь с установкой для измерения сопротивления проволоки.

3. Измерьте линейкой длину  $\ell$  исследуемого участка проволоки между подвижными и неподвижными прижимными контактами. Определите систематическую  $S_{\langle \ell \rangle}$  и относительную  $E_{\langle \ell \rangle}$  погрешности определения длины проволоки  $S_{\langle \ell \rangle} = \Delta \ell / 2$ ;  $E_{\langle \ell \rangle} = S_{\langle \ell \rangle} / \Delta \ell$ , где  $\Delta \ell$  – цена наименьшего деления линейки.

Результат запишите в виде  $\ell = \langle \ell \rangle \pm S_{\langle \ell \rangle}$ .

4. Включите установку. Изменяя ток с помощью реостата, запишите показания амперметра и вольтметра для 5 ÷ 7 опытов в табл. 2.

Таблица 2

$n$	1	2	3	4	5	6	7
$I, \text{А}$							
$U, \text{В}$							

5. Постройте график зависимости  $U = f(I)$  и с его помощью определите величину сопротивления  $\langle R'_{np} \rangle$  – угловой коэффициент.
6. Рассчитайте систематическую погрешность измерения  $\langle R'_{np} \rangle$ :

$$S_{\langle R'_{np} \rangle} = \sqrt{(S_U / U)^2 + (S_I / I)^2},$$

где  $S_U = \Delta U / 2 = (k \cdot A_{max}) / (2 \cdot 100)$ ;

$$S_I = \Delta I / 2 = (k \cdot A_{max}) / (2 \cdot 100);$$

$\Delta U, \Delta I$  – абсолютные погрешности вольтметра и амперметра;

$k$  – класс точности прибора;

$A_{max}$  – верхний предел измерений прибора .

7. По (4) рассчитайте искомое  $R'_{np}$ . Ввиду малости величины поправки  $R'_{np} / R_V$  считаем  $S_{\langle R'_{np} \rangle} = S_{\langle R_{np} \rangle}$ . Результат запишите в виде:

$$R'_{np} = \langle R'_{np} \rangle \pm S_{\langle R'_{np} \rangle}, \quad R_{np} = \langle R_{np} \rangle \pm S_{\langle R_{np} \rangle}.$$

Найдите относительную погрешность  $E_{\langle R_{np} \rangle} = S_{\langle R'_{np} \rangle} / \langle R_{np} \rangle$ .

8. Измерьте сопротивление проволоки с помощью мультиметра или моста постоянного тока  $R_{изм} = \dots$ . Сравните полученные результаты.

Определите удельное сопротивление проволоки  $\langle \rho \rangle = \langle R_{np} \rangle \cdot \langle s \rangle / \langle \ell \rangle$

и стандартную погрешность  $S_{\langle \rho \rangle} = \sqrt{E_{\langle R_{np} \rangle}^2 + E_{\langle s \rangle}^2 + E_{\langle \ell \rangle}^2}$ .

Окончательный результат запишите в виде  $\rho = \langle \rho \rangle \pm S_{\langle \rho \rangle}$ .

Определите с какой точностью следует измерять сопротивление проволоки при достигнутой точности измерения ее длины и диаметра.

### Задание 3. Определение удельного сопротивления нихромовой проволоки

Условия эксперимента:  $I = Const$ ;  $\ell, U = Var$ .

Оценим величину поправки в (4) при измерениях с учетом того, что  $R_{np} = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_V = 500 \text{ Ом}$ :  $R_{np} / R_V = (5/500) \cdot 100 = 1\%$ .

Так как погрешность измерения площади сечения составляет примерно 6%, то будем пренебрегать поправочным членом в (4). Тогда

$$R_{np} = R'_{np} = U / I = \rho \cdot \ell / s, \quad (5)$$

Уравнение (5) представим в виде  $U = (\rho I / s) \cdot \ell$ , то есть уравнения прямой линии  $y = A + B \cdot x$ , где

$$U = y, \quad \ell = x, \quad B = \rho \cdot I / s. \quad (6)$$

1. По указанию преподавателя выполните Задание 1 или возьмите известное значение площади поперечного сечения проволоки  $s$ .

2. Ознакомьтесь с установкой для измерения сопротивления проволоки. С помощью подвижного контакта установите длину исследуемого участка проволоки примерно 10 см . Включите установку и установите в цепи ток (100 мА ÷ 200 мА). Измерьте напряжение на данном участке провода.
3. При выбранном токе проведите не менее 5 ÷ 7 измерений  $U = f(I)$  при различных  $\ell$ , равномерно увеличивая длину исследуемого участка с помощью подвижного контакта. Данные занесите в табл. 3.

Таблица 3

$n$	1	2	3	4	5	6	7
$\ell$ , м							
$U$ , В							

4. Постройте график зависимости  $U$  от  $\ell$ , покажите его преподавателю и дальнейшую обработку проведите по указанию преподавателя.

#### Обработка экспериментальных данных

##### А. Графический метод

1. Из графика зависимости  $U$  от  $I$  определите угловой коэффициент  $B$ .
2. По (6) рассчитайте  $\langle \rho \rangle$ .

##### Б. Аналитический метод

1. Рассчитайте  $B$  и  $S_B$ .
2. Рассчитайте  $\langle \rho \rangle$  по (6) и погрешность  $S_{\langle \rho \rangle} = (S_B/B) \cdot \langle \rho \rangle$ .
3. Окончательный результат представьте в виде  $\rho = \langle \rho \rangle \pm S_{\langle \rho \rangle}$ .

#### Контрольные вопросы

1. Измерение сопротивлений методом вольтметра-амперметра. Укажите возможные источники погрешностей этого метода.
2. Опишите принцип действия моста постоянного тока.

12.02.2010