

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Лабораторная работа № 2.1

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

Цель работы: изучение метода измерения сопротивления с использованием амперметра и вольтметра; измерение удельного сопротивления проводника.

Оборудование: установка для измерения удельного сопротивления проволоки, микрометр.

Общие сведения

Из закона Ома для участка цепи следует, что сопротивление

$$R = \frac{U}{I}, \quad (2.1.1)$$

где U, I – напряжение и сила тока на участке, соответственно. Таким образом, измерив напряжение с помощью вольтметра и силу тока с помощью амперметра, можно по формуле (2.1.1) рассчитать сопротивление.

Возможны две схемы включения амперметра и вольтметра (рис. 2.1.1). Проведем анализ каждой из них.

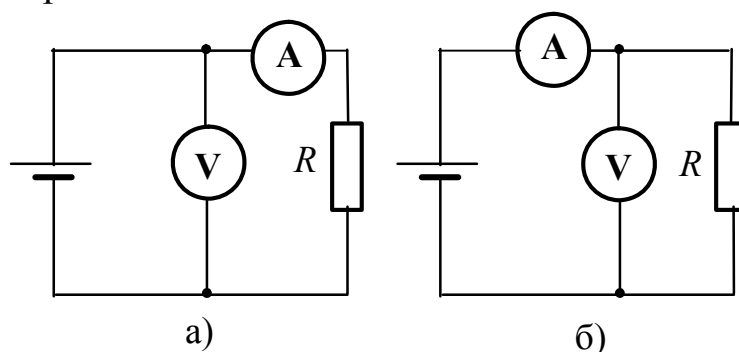


Рис. 2.1.1

«Идеальный амперметр» должен обладать нулевым внутренним сопротивлением, «идеальный вольтметр» – бесконечным внутренним сопротивлением. Если бы в нашем распоряжении были такие приборы, то при использовании обеих схем мы получили бы один и тот же результат. Но реальные амперметры имеют не нулевое внутреннее

сопротивление, а реальные вольтметры – не бесконечное внутреннее сопротивление. Это нужно учитывать, проводя измерения. При использовании схемы (а) амперметр покажет значение тока через измеряемое сопротивление. Но вольтметр измерит напряжение на последовательно соединенных амперметре и сопротивлении. Поэтому, вычислив сопротивление по формуле (2.1.1), мы допустим ошибку. В схеме (б) вольтметр измерит напряжение на сопротивлении, но зато амперметр покажет ток, идущий через параллельно соединенные вольтметр и сопротивление. И в этом случае вычисление по формуле (2.1.1) приведет к неточному результату. Таким образом, использование обеих схем сопровождается методической погрешностью.

Оценим методическую погрешность обоих способов включения амперметра и вольтметра.

Схема (а) (рис. 2.1.1).

Обозначим: U – показания вольтметра; I – показания амперметра; R_A – внутреннее сопротивление амперметра. Тогда по закону Ома

$$U = I(R + R_A).$$

В результате вычислений получим

$$R_{\text{изм}} = \frac{U}{I} = \frac{I(R + R_A)}{I} = R + R_A, \quad (2.1.2)$$

т.е. результат нашего измерения будет отличаться от истинного значения на величину внутреннего сопротивления амперметра R_A . Абсолютная методическая погрешность будет равна $\Delta R = |R - R_{\text{изм}}| = R_A$, относительная методическая погрешность

$$\delta R = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R_A}{R}.$$

Очевидно, что такую схему измерений можно использовать, когда $R \gg R_A$.

Схема (б) (рис. 2.1.1).

Снова полагаем, что U, I – показания вольтметра и амперметра, соответственно, а R_V – внутреннее сопротивление вольтметра. Тогда по закону Ома

$$U = I \frac{RR_V}{R + R_V}.$$

В результате вычислений получим

$$R_{\text{изм}} = \frac{U}{I} = \frac{RR_V}{R + R_V}. \quad (2.1.3)$$

Абсолютная методическая погрешность равна

$$\Delta R = |R - R_{\text{изм}}| = R - \frac{RR_V}{R + R_V} = \frac{R^2}{R + R_V}.$$

Следовательно, относительная методическая погрешность равна

$$\delta R = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R}{R + R_V}.$$

Данную схему можно использовать при условии, что $R \ll R_V$.

Описание установки и метода измерений

Целью данной работы является определение удельного сопротивления сплава нихром. Известно, что сопротивление проводника постоянного поперечного сечения равно

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.1.4)$$

где ρ – удельное сопротивление материала; l , S – длина и площадь поперечного сечения проводника, соответственно. Тогда удельное сопротивление

$$\rho = \frac{RS}{l}. \quad (2.1.5)$$

Если взять проволоку круглого сечения, то

$$\rho = \frac{R\pi d^2}{4l}, \quad (2.1.6)$$

где d – диаметр проволоки. Таким образом, для определения удельного сопротивления необходимо измерить сопротивление проволоки, ее диаметр и длину.

Лабораторная установка (рис. 2.1.2) состоит из блока питания, миллиамперметра и вольтметра, установленных в одном корпусе. К корпусу прикреплена стойка. В нижней и верхней частях стойки имеются неподвижные зажимы 2, в которых закреплена исследуемая проволока 1. По стойке может перемещаться подвижный зажим 3, имеющий контакт с проволокой. На стойке имеется линейка с миллиметровыми делениями, по которой измеряется расстояние между под-

вижным и нижним неподвижным зажимами. Это расстояние определяет длину той части проволоки, сопротивление которой R_x измеряется.

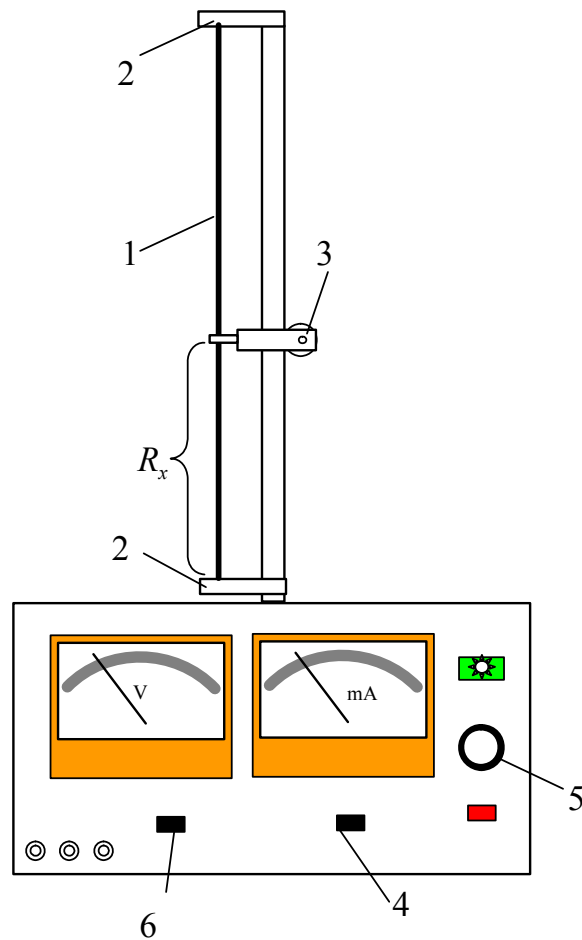


Рис. 2.1.2

В установке предусмотрена возможность включения амперметра и вольтметра по двум схемам (рис. 2.1.3). Переключение с одной схемы на другую производится с помощью кнопки 4. Ручкой 5 можно регулировать силу тока, идущего по проволоке. Кнопкой 6 можно подключить исследуемую проволоку к выводам в нижней левой части прибора. В данной работе кнопка 6 все время должна находиться в нажатом состоянии.

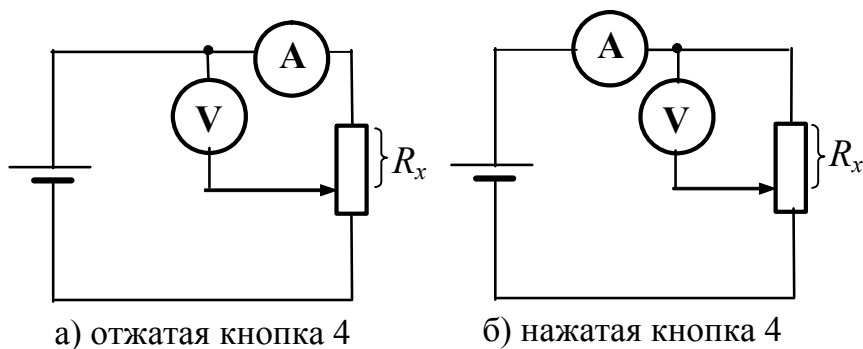


Рис. 2.1.3

Полное сопротивление исследуемой проволоки составляет несколько Ом. Поэтому, производя измерения, нужно учитывать сопротивление контактов, которые вносят дополнительную погрешность. Для того, чтобы исключить влияние контактных сопротивлений, а также влияние внутреннего сопротивления амперметра в схеме (а) (рис. 2.1.3), измерение удельного сопротивления производится следующим образом. Сначала определяются показания вольтметра и амперметра в обеих схемах при различных положениях подвижного зажима (т.е. при различной длине проволоки l). Затем по формуле (2.1.1) вычисляются сопротивления R_x .

Из формулы (2.1.6) следует, что

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

где $k = \frac{4\rho}{\pi d^2}$ – коэффициент пропорциональности между R_x и l . Таким образом, зависимость $R_x(l)$ – линейная, а коэффициент k определяет наклон этой зависимости. Построив график зависимости $R_x(l)$ и определив наклон k этого графика, можно рассчитать удельное сопротивление по формуле

$$\rho = \frac{\pi d^2 k}{4}. \quad (2.1.7)$$

На рис. 2.1.4 показан типичный вид зависимости $R_x(l)$, построенный по результатам измерений. Как правило, результаты измерений не совсем точно лежат на одной прямой. Эту прямую (аппроксимирующую прямую) надо проводить так, чтобы число точек, лежащих выше нее, примерно равнялось числу точек, лежащих ниже нее. Построив прямую, нужно определить ее наклон. Для этого на прямой берутся две любые точки (например, точки A и B) и определяются соответствующие им разности длин $l_B - l_A$ и сопротивлений $R_B - R_A$. Коэффициент наклона рассчитывается по формуле

$$k = \frac{R_B - R_A}{l_B - l_A}. \quad (2.1.8)$$

Затем по формуле (2.1.7) рассчитывается удельное сопротивление.

В примере, приведенном на рис. 2.1.4, видно, что при $l = 0$ сопротивление $R_x \neq 0$. Значение $R_x(0)$ характеризует: для схемы (б) – сопротивление контактов R_k ; для схемы (а) – сумму сопротивления контактов и внутреннего сопротивления амперметра $R_k + R_A$.

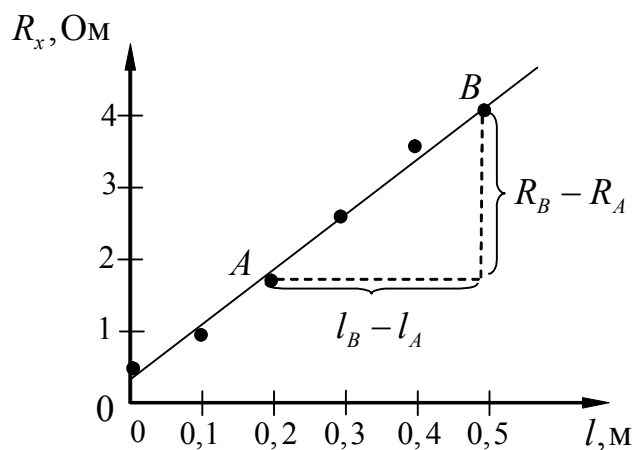


Рис. 2.1.4

Порядок выполнения измерений

1. Подготовить рабочую тетрадь для записи результатов измерений в виде табл. 2.1.1.

Таблица 2.1.1

	Схема (а) (отжатая кнопка 4)			Схема (б) (нажатая кнопка 4)		
$l, \text{ м}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$R_{x1}, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$R_{x2}, \text{ Ом}$

2. Получить у преподавателя допуск к выполнению работы и указания по значениям длины проволоки l , для которых вы будете проводить измерения.

3. Получить у дежурного лаборанта микрометр.

4. Включить лабораторную установку.

5. С помощью регулятора 5 установить силу тока в пределах 200–240 мА.

6. Устанавливая подвижный зажим на заданных преподавателем значениях l , произвести измерения напряжения и силы тока для обеих схем. Результаты записать в табл. 2.1.1.

7. С помощью микрометра измерить диаметр проволоки d в пяти точках. Результаты записать в табл. 2.1.2. Инструментальную погрешность $\Delta d_{\text{ин}}$ принять равной цене деления нониуса микрометра.

9. Предъявить результаты измерений преподавателю.

10. Выключить установку и сдать микрометр дежурному лаборанту.

Таблица 2.1.2

$\Delta d_{\text{ин}} = \dots$ мм

№ изм.	d_i , мм
1	
2	
3	
4	
5	

Обработка результатов измерений

Схема (а) (рис. 2.1.3):

1. Вычислить R_{x1} по формуле (2.1.1) для каждого значения длины l . Результаты записать в таблицу 2.1.1. При расчетах необходимо силу тока выразить в амперах.

2. Построить график зависимости $R_{x1}(l)$ (см. рис. 2.1.4). Для этого отобразить графически все полученные значения сопротивлений и провести аппроксимирующую прямую.

3. Рассчитать наклон k_1 зависимости $R_{x1}(l)$. Для этого, выбрать две точки A и B , наиболее точно лежащие на аппроксимирующей прямой, и вычислить наклон по формуле (2.1.8).

Схема (б) (рис. 2.1.3): выполнить расчеты R_{x2} и k_2 по пунктам 1 ÷ 3.

4. Вычислить $\langle k \rangle = \frac{k_1 + k_2}{2}$, $\Delta k = \frac{k_1 - k_2}{2}$, $\delta k = \frac{\Delta k}{\langle k \rangle}$.

5. Вычислить $\langle d \rangle$, Δd , δd , используя метод Корнфельда (см. Приложение 2).

5. Вычислить среднее значение удельного сопротивления $\langle \rho \rangle$ по формуле (2.1.7), используя средние значения $\langle k \rangle$ и $\langle d \rangle$.

6. Вычислить относительную погрешность удельного сопротивления по формуле

$$\delta\rho \approx \sqrt{(2\delta d)^2 + (\delta k)^2}.$$

7. Вычислить абсолютную погрешность

$$\Delta\rho = \langle\rho\rangle \cdot \delta\rho.$$

8. Записать окончательный результат для ρ . Сравнить его с табличным значением.

Контрольные вопросы

1. Что называется электрическим сопротивлением? От чего оно зависит? В каких единицах измеряется сопротивление?

2. Выведите формулу для сопротивления последовательного соединения проводников.

3. Выведите формулу для сопротивления параллельного соединения проводников.

4. Что такое удельное сопротивление? Каковы характерные значения удельного сопротивления металлических проводников? Как удельное сопротивление металлов зависит от температуры?

5. Изобразите схемы, с помощью которых можно измерить электрическое сопротивление.

6. Выведите формулу относительной методической погрешности для схемы, используемой, когда $R \ll R_V$.

7. Выведите формулу относительной методической погрешности для схемы, используемой, когда $R \gg R_A$.

8. Оцените по результатам ваших измерений сопротивление контактов и внутреннее сопротивление амперметра. Какую из схем целесообразно использовать для измерения сопротивления проволоки, исследуемой в данной работе?

9. Расскажите о методе измерения удельного сопротивления, используемом в данной работе.