

Работа 240В

## УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА

**Цель работы:** измерение удельного сопротивления металлической проволоки (проводника).

**Приборы и принадлежности:** установка с закрепленной на колонне проволокой.

**Объект измерений:** удельное сопротивление проволоки.

**Средства измерений:** микрометр, линейка, вольтметр, миллиамперметр.

### 1. Теоретическая часть

*Электрическое сопротивление  $R$*  – величина, характеризующая противодействие постоянному току, поэтому его называют активным или омическим. Величина электрического сопротивления зависит от химического состава материала, его размеров, формы и температуры проводника.

*Удельное сопротивление проводника  $\rho$*  – физическая величина, равная электрическому сопротивлению цилиндра проводника единичной длины и единичной площади поперечного сечения.

Удельное сопротивление служит основной технической характеристикой при разработке резисторов (активных сопротивлений) и проводящих материалов для электрических цепей, а также для расчётов электрических потерь.

Величина электрического сопротивления зависит от материала, из которого изготовлен проводник (через его удельное сопротивление  $\rho$ ), его длины  $l$  и площади поперечного сечения  $S$ :

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (1)$$

При этом предполагается, что площадь поперечного сечения и электрические свойства проводника постоянны по всей длине. На практике довольно хорошо выполняется предположение об одинаковости свойств, то есть  $\rho$ , по всему объёму проводника.

Площади поперечного сечения и длины проводников определяют экспериментально, что сопровождается ошибками, которые обусловлены погрешностями измерений.

Для экспериментального определения удельного сопротивления  $\rho$  достаточно найти сопротивление проводника и его геометрические размеры. После этого рассчитать  $\rho$ , используя формулу (1):

$$\rho = R \frac{S}{l}. \quad (2)$$

Определить сопротивление  $R$  проводника можно, пользуясь законом Ома для однородного участка цепи, если известны ток  $I$ , протекающий по проводнику, и падение напряжения  $U$  на этом проводнике:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (3)$$

Удельные сопротивления некоторых металлов и сплавов приведены в таблице 1.

*Таблица 1*

Удельные сопротивление некоторых металлов и сплавов

Металл или сплав	Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·мм <sup>2</sup> /м
Медь	0,01724... 0,018
Алюминий	0,0262 ... 0,0295
Сталь	0,103... 0,137
Титан	0,5562 ... 0,7837
Висмут	1,2
Никелин	0,42
Константан	0,5
Нихром	1,05 ... 1,4

Напомним, что ток измеряется в амперах (А), напряжение – в вольтах (В), сопротивление – в омах (Ом). Тогда из формулы (2)

следует, что удельное сопротивление измеряется в Ом·м. Иногда единицы измерения площади и длины не сокращают и измеряют удельное сопротивление, например, в Ом·мм<sup>2</sup>/м (как это сделано в таблице 1).

## **2. Методика проведения измерений и описание установки**

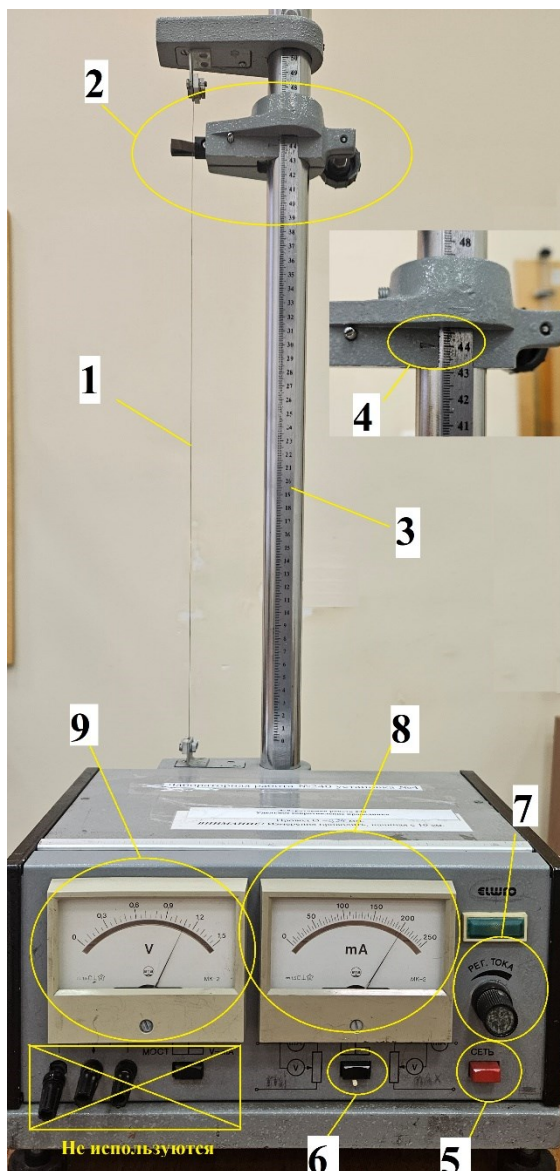
Внешний вид установки представлен на рис. 1.

Между двумя неподвижными кронштейнами закреплена проволока **1**, удельное сопротивление которой нужно измерить. Текущая длина проволоки устанавливается с помощью контактного зажима подвижного кронштейна **2**, который перемещается по колонне **3** с нанесенной миллиметровой шкалой. Значение длины проволоки определяется по риску **4** на подвижном кронштейне.

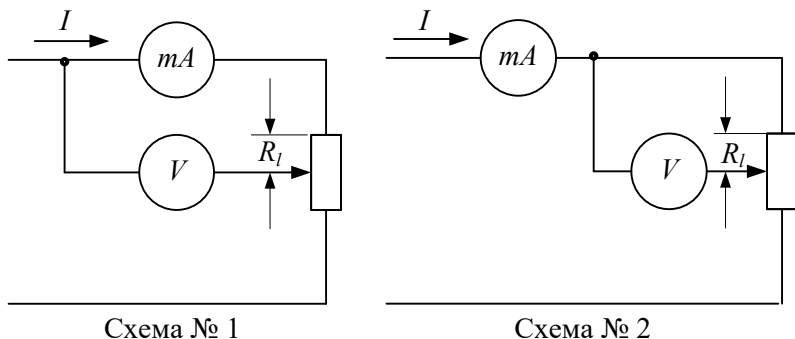
Прибор включается в сеть кнопкой **5**. Кнопка **6** служит для переключения режимов измерения (в лабораторной работе эта кнопка должна быть всегда нажата). Ручкой **7** регулируется ток через проволоку, который измеряется амперметром **8**. Вольтметр **9** показывает напряжение на проволоке при текущей ее длине.

Методика измерений заключается в следующем. При перемещении кронштейна **2** с контактным зажимом изменяется длина проволоки  $l$ , входящая в формулу (1). Тем самым изменяется ее сопротивление и при одном и том же токе через проволоку согласно формуле (3) напряжение будет изменяться пропорционально сопротивлению.

Примечание (справочное). При измерении сопротивления методом «амперметра-вольтметра» возникает погрешность, определяемая способом подключения амперметра и вольтметра к исследуемому участку цепи. Если кнопка **6** отжата, то измерение происходит по схеме № 1 – метод с точным измерением тока, если нажата – по схеме № 2 – с точным измерением напряжения. Две схемы измерения неизвестного сопротивления методом амперметра – вольтметра приведены на рис. 2.



**Рис. 1.** Внешний вид лабораторной установки для измерения удельного сопротивления проводника



**Рис. 2.** Схемы измерения неизвестного сопротивления,  $mA$  – (миллиамперметр),  $V$  – (вольтметр)

В работе используется схема № 2, поэтому кнопка **6** должна быть нажата.

### 3. Порядок выполнения работы

#### а) проведение измерений в лаборатории

1. Убедитесь, что установка выключена (кнопка 5).
2. С помощью микрометра измерьте диаметр проволоки **1** по всей длине в 7 точках, равномерно распределенных на длине проволоки от 0,1 м до 0,4 м с шагом 0,05 м.

Результаты измерений (в мм) занесите в таблицу 2.

Таблица 2

$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$

3. Включите установку, нажав кнопку **5**. Убедитесь, что кнопка **6** нажата.

4. Установите ручкой **7** величину тока (ток показывается на шкале миллиамперметра **8**) по указанию преподавателя (или выберите базовое значение тока равное 0,2 А).

5. Передвигая подвижный кронштейн **2**, установите длину проводника  $l = 0,1$  м.

6. Снимите показание значения величины падения напряжения  $U$  на вольтметре **9**.

7. Перемещая подвижный кронштейн **2** с шагом 4 см (до предельного значения  $l = 0,38$  м), повторите п. 6 (итого 8 измерений).  
Результаты занесите в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты измерения напряжения

Сила тока:  $I =$  \_\_\_\_\_ А

№	$l$ , м	$U$ , В	$R$ , Ом
1	0,10		
2			
...			
8	0,38		

### б) обработка результатов измерений

8. По результатам измерений диаметра проволоки (таблица 2) определите его среднее значение:

$$\langle d \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i. \quad (4)$$

9. Величину погрешности измерения диаметра проволоки  $\Delta d$  определите по формуле:

$$\Delta d = \alpha(n, P) \Delta \bar{d}_n, \quad (5)$$

где  $\Delta \bar{d}_n$  – средняя квадратическая ошибка:

$$\Delta \bar{d}_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \langle d \rangle)^2}{n(n-1)}}, \quad (6)$$

$\alpha(n, P)$  – коэффициент Стьюдента;  $n$  – число измерений;  $P$  – доверительная вероятность. Для числа измерений  $n = 7$  и доверительной вероятности  $P = 0,95$  коэффициент Стьюдента  $\alpha = 2,4$  (см. таблицу в [1, стр. 21]).

10. Рассчитайте значения сопротивлений по формуле (3) для каждого значения длины и занесите результаты в правый столбец таблицы 3.

11. По полученным данным постройте график зависимости сопротивления  $R$  от длины проводника  $l$ . Для этого отложите на графике точки, соответствующие измеренным значениям, и проведите через них прямую линию (см. [1, стр. 28-29]).

12. Определите тангенс угла наклона этой прямой к горизонтали. Согласно формуле (1) этот тангенс равен

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\rho}{S} = \frac{4\rho}{\pi \langle d \rangle^2}, \quad (7)$$

поэтому среднее значение удельного сопротивления можно определить как

$$\langle \rho \rangle = \frac{\pi \langle d \rangle^2}{4} \operatorname{tg} \alpha. \quad (8)$$

13. Рассчитайте относительную погрешность определения удельного сопротивления  $\delta\rho$  по формуле

$$\delta\rho = \frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{2\Delta d}{\langle d \rangle} + \frac{\Delta l}{l_{\min}} + \frac{\Delta U}{U_{\min}} + \frac{\Delta I}{I}, \quad (9)$$

где  $\Delta d$  определяется по формуле (5);  $\langle d \rangle$  – по формуле (4);  $\Delta l$  – приборная погрешность линейки (половина цены деления);  $l_{\min}$  – минимальное измеренное значение длины (0,1 м);  $\Delta U$ ,  $\Delta I$  – приборные погрешности вольтметра и амперметра, определяемые через класс точности приборов:

$$\Delta U = \frac{\gamma_V}{100} U_{\max}; \quad \Delta I = \frac{\gamma_A}{100} I_{\max}.$$

где  $U_{\max}$ ,  $I_{\max}$  – максимальные значения на шкалах вольтметра и амперметра соответственно;  $\gamma_V$  и  $\gamma_I$  – классы точности вольтметра и амперметра соответственно;  $U_{\min}$  – минимальное значение напряжения, полученное в измерениях (по таблице 3);  $I$  – значение тока, на котором проводились измерения (над таблицей 3).

14. Определите величину абсолютной погрешности:

$$\Delta\rho = \langle \rho \rangle \delta\rho. \quad (10)$$

15. Запишите окончательный результат измерений в виде

$$\rho = \langle \rho \rangle \pm \Delta\rho. \quad (11)$$

16. По полученным результатам, пользуясь справочными данными, представленными в таблице 1, определите материал, из которого изготовлена проволока.

#### **4. Контрольные вопросы**

1. Что называется удельным сопротивлением проводника? В каких единицах оно измеряется?
2. Как изменяется сопротивление проводника: а) при изменении его длины при постоянном сечении? б) при изменении его диаметра при постоянной длине?
3. Как должно меняться отношение длины проводника к его диаметру для того, чтобы его электрическое сопротивление оставалось постоянным?
4. В каких диапазонах изменяются значения удельного сопротивления известных вам металлов и сплавов?
5. Что такое класс точности измерительного прибора?
6. Что такое доверительная вероятность?
7. Поясните, как строился график зависимости сопротивления проводника от его длины?
8. Почему по тангенсу угла наклона графика зависимости сопротивления проводника от его длины можно определить удельное сопротивление проводника?

#### **5. Рекомендуемая литература**

В качестве литературы по теории погрешностей измерений, обработке результатов и построению графиков рекомендуются методические указания [1]. Материалы по электрическому току и сопротивлению [2, §34].

1. Андреев А.И., Селезнёв В.А., Тимофеев Ю.П. Вводное занятие в лабораториях кафедры физики / Под ред. проф. В.А. Никитенко. М.: МИИТ, 2017. 40 с.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики. В 3 т. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика : учебное пособие для вузов / И. В. Савельев. 17-е изд., стер. С.-Пб.: Лань, 2023. 500 с.