

Министерство образования и науки Российской Федерации.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный строительный университет»

Кафедра Физики

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ПРОВОДА**

**Методические указания к выполнению лабораторной работы № 57 для студентов  
специальностей 271101, 230400.62, 120700.62, 270800.62, 221700.62, 022000.62**

Нижегород,   
ННГАСУ  
2012

УДК 537.72

Определение удельного сопротивления резистивного провода. Методические указания к выполнению лабораторной работы № 57 для студентов специальностей 271101, 230400.62, 120700.62, 270800.62, 221700.62, 022000.62 / Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т; сост. О.М.Бархатова - Н.Новгород, ННГАСУ, 2012. – 11с.

Рассмотрены два метода измерения сопротивления резистивного провода. На основе этих методов предлагается определить его удельное сопротивление.

Таблиц 1, рис. 7, библиографич. назв. 2.

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Бархатова О.М.  
Редактор: д.ф.-м.н., профессор Бархатов Н.А.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Определение значения удельного сопротивления резистивного провода на основе измерения его сопротивления.

## **ОБЩИЙ ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ И СДАЧИ ОТЧЁТА**

При выполнении заданий по данной работе Вы на практике используете законы, связанные с протеканием электрического тока. Для эффективного усвоения материала порядок работы должен быть следующий:

1. До выполнения лабораторной работы необходимо прочитать данные методические указания и повторить основные теоретические понятия, которые используются в работе.

2. Перед выполнением работы необходимо сдать теоретический допуск. Для удовлетворения минимальным требованиям надо уметь отвечать на вопросы разделов 1, 2, 4 методических указаний. Эти методические указания имеются в библиотеке ННГАСУ, их можно также получить на кафедре или взять на сайте кафедры физики в электронном виде.

3. После сдачи допуска, проводятся необходимые измерения и оформление протокола. Протокол измерений может быть один на бригаду студентов. Он должен быть показан преподавателю, который зафиксирует выполнение работы. Преподаватель назначает Вам дату сдачи работы, к которой Вам следует оформить отчёт (обычно это следующее лабораторное занятие). Отчёт оформляется индивидуально и студент обязан объяснить все этапы выполнения лабораторной работы и расчетов, которые в отчете содержатся. Студенту перед сдачей отчета рекомендуется добиться полной ясности в понимании использованных физических законов и каким образом получаются применяемые формулы.

4. Защита лабораторной работы состоит в ответе на вопросы по отчёту, связанные с практическими измерениями, а также с демонстрацией студентом умения решать задачи по соответствующей теме. При подготовке рекомендуем, во-первых, убедиться, что Вы умеете решать простейшие задачи, а кроме того проанализировать задания в конце данной брошюры. В случае успешной защиты, преподаватель делает в журнале пометку о сдаче лабораторной работы студентом с указанием рейтингового балла.

## **I. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

**Электрическим током** называется любое упорядоченное движение электрических зарядов. Оно происходит в материале обладающем проводящими свойствами, т.е. содержащем носители заряда имеющие возможность движения (свободные заряды). За направление тока обычно

условно принимают направление движения положительных зарядов. Вместе с тем, следует понимать, что движение зарядов обеспечивается существованием электрического поля. В связи с этим скорость тока равна скорости света, при том, что скорость переноса самих зарядов ничтожно мала.

Количественной мерой электрического тока служит **сила тока** – скалярная физическая величина, характеризующая количество электрического заряда, проходящего через единичное сечение проводника в единицу времени.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

Ток, сила и направление которого не изменяются с течением времени, называется постоянным. Для **постоянного тока** можно записать

$$I = \frac{q}{t}, \quad (2)$$

где  $q$  - электрический заряд, проходящий за время  $t$  через поперечное сечение проводника.

Рассмотрим **условия возникновения и существования электрического тока** в проводнике. Поместим проводник в однородное электрическое поле  $\vec{E}_{\text{внешнее}}$  (рис. 1).

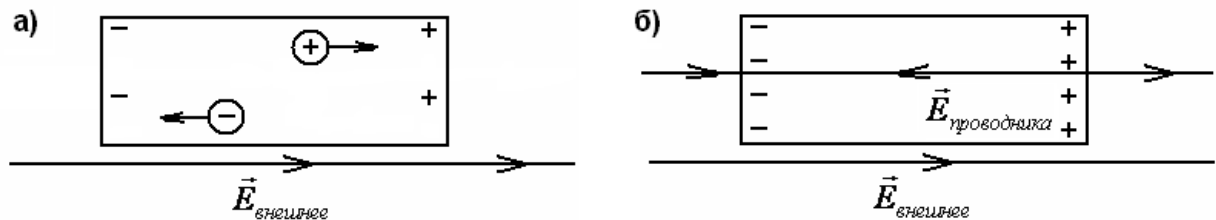


Рис. 1. Проводник в однородном электростатическом поле

Поскольку в проводнике присутствуют свободные носители заряда, они начнут перемещаться в нем под действием кулоновских сил – положительные заряды вдоль приложенного внешнего поля, отрицательные – против поля. В это время в проводнике происходит перераспределение электрического заряда – **поляризация**, и течет **кратковременный ток**. Описанная ситуация представлена на рис. 1а. Таким образом, для **возникновения тока** необходимо просто поместить проводник во внешнее электрическое поле. Однако для устойчивого существования тока этого не достаточно. Поляризация проводника приводит к тому, что свободные носители заряда осядут на границах проводника и внутри проводника возникнет собственное электрическое поле  $\vec{E}_{\text{проводника}}$ , равное по величине приложенному внешнему полю и противоположное ему по направлению. Поскольку количество велико, то количества зарядов всегда будет достаточно для того, чтобы суммарное электрическое поле внутри проводника оказалось равным нулю. Соответственно, возникший было кратковременный ток прекратиться (рис 1б). Следовательно, в чисто электростатическом поле существование постоянного тока в проводнике невозможно. Кстати электрическое поле у его границ возрастет в два раза.

Для поддержания тока в проводнике, необходимо привлечь силы неэлектростатического происхождения, так называемые **сторонние силы**. Их природа может быть химической, механической, и др. В результате действия стороннего поля, заряд, движущийся по замкнутой линии, будет совершать работу, что в чисто электростатическом поле в силу его потенциальности быть не может. Схематически принцип действия сторонних сил показан на рис. 2.

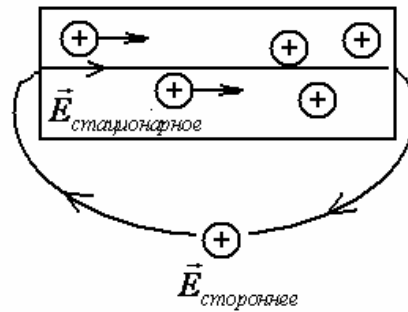


Рис. 2. Стороннее и стационарное электрические поля в проводнике

В результате перемещения носителей заряда под действием стороннего поля, внутри проводника возникнет собственное отличное от нуля электрическое поле, которое называют **стационарным**. Таким образом, только в присутствии сторонних сил возможно существование постоянного электрического тока.

Величина, численно равная работе, совершаемой электростатическими и сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда, называется напряжением на данном участке цепи. При отсутствии сторонних сил напряжение  $U$  совпадает с разностью потенциалов. Немецкий физик Ом экспериментально установил связь между силой тока  $I$ , текущего по однородному металлическому проводнику (т.е. по проводнику, в котором не действуют сторонние силы) и напряжением на концах этого проводника:

$$U = RI \quad (3)$$

Обнаруженная зависимость носит название **закона Ома для участка цепи**: напряжение на концах проводника прямо пропорционально протекающей в нем силе тока. Коэффициентом пропорциональности между этими величинами является **электрическое сопротивление проводника**  $R$ . Его размерность в системе СИ – [Ом]. Согласно формуле (3) 1 Ом – сопротивление такого проводника, в котором при напряжении 1 В на его концах течет ток силой 1 А.

Электрическое сопротивление является собственной характеристикой проводника и определяется его размерами, формой и материалом, из которого он изготовлен. Для цилиндрического проводника сопротивление  $R$  прямо пропорционально его длине  $\ell$  и обратно пропорционально площади его поперечного сечения  $S$ :

$$R = \rho \frac{\ell}{S}. \quad (4)$$

Здесь  $\rho$  – **удельное сопротивление проводника**, характеризующее материал, из которого он изготовлен, и зависящее от температуры как  $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ , где  $\rho_0$  – значение удельного сопротивления при температуре  $0^\circ \text{C}$ ,  $t$  – температура проводника, имеющего значение удельного сопротивления  $\rho$ . Единица измерения удельного электрического сопротивления в системе СИ – [Ом·м]. Величина, обратная удельному сопротивлению, носит название **удельной проводимости проводника**:  $\sigma = 1/\rho$ .

При соединении нескольких проводников значение результирующего сопротивления будет зависеть от типа соединения. Выделяют **два основных типа соединения проводников** – параллельное и последовательное.

**Последовательное соединение проводников** изображено на рис. 3.



Рис. 3. Последовательное соединение проводников

Получим значение результирующего сопротивления  $R_{\text{общ}}$  при данном типе соединения. Поскольку в проводниках не происходит накапливания зарядов, то в каждом из рассматриваемых последовательно соединенных проводников протекает одна и та же сила тока:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = I.$$

Однако, согласно закону Ома, напряжение на каждом проводнике свое и

$$U_1 \neq U_2 \neq U_3 \neq \dots \neq U_n.$$

Общее значение напряжения на концах рассматриваемой цепи можно получить сложением значений напряжений на каждом проводнике:

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n.$$

Используя закон Ома для участка цепи (3), получим:

$$IR_{\text{общ}} = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots + IR_n.$$

Сокращая в последнем выражении силу тока, получим искомое выражение для результирующего сопротивления:

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n. \quad (5)$$

**Параллельное соединение проводников** изображено на рис. 4.

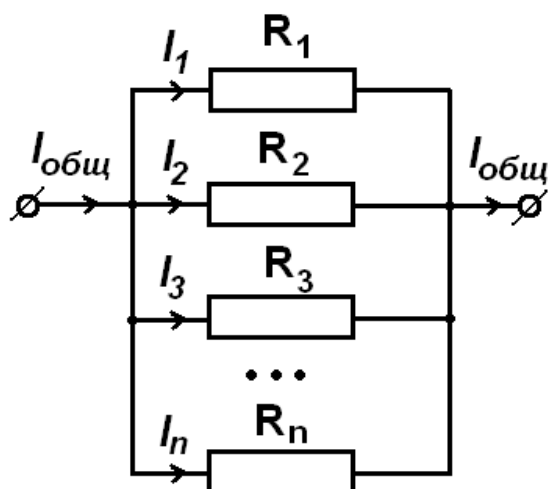


Рис. 4. Параллельное соединение проводников

При данном типе соединения напряжения на каждом из рассматриваемых проводников равны

$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = U ,$$

но результирующая сила тока является суммой сил тока в каждом проводнике в отдельности

$$I_{общ} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n ,$$

поскольку электрический ток в местах соединения двух и более проводников (узлах электрической цепи) разветвляется. Отметим, что величина силы тока, текущего через каждый из проводников при параллельном соединении, определяется значением его электрического сопротивления – в меньших сопротивлениях текут большие токи.

Используя два последних выражения и закон Ома для участка цепи (3), получим:

$$\frac{U}{R_{общ}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_n} .$$

Произведя сокращение, запишем формулу для определения результирующего сопротивления:

$$\frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} . \quad (6)$$

## II. ОПИСАНИЕ ПРИБОРА И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Удельное сопротивление резистивного провода определяется с помощью измерений на лабораторной установке представленной на рис. 5.

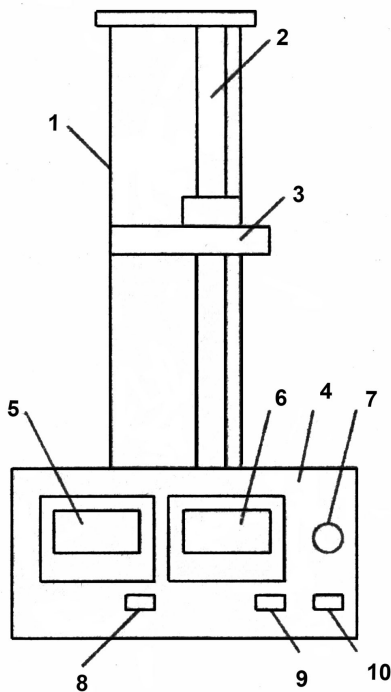


Рис. 5 Лабораторная установка для измерения удельного сопротивления резистивного провода

Здесь на рис. 5: 1 – резистивный провод, 2 – метрическая шкала, 3 – подвижный кронштейн, 4 – измерительная часть прибора, 5, 6 – вольтметр и амперметр, 7 – регулятор тока, 8 – переключатель вида работ, 9 – переключатель для включения соответствующей схемы при измерении техническим методом, 10 – выключатель питания.

Эта установка позволяет реализовать две электрические схемы представленные на рис. 6 и 7 и, соответственно, измерять сопротивление двумя методами

**Измерение сопротивления техническим методом с точным измерением силы тока.** При включении миллиамперметра и вольтметра по схеме, представленной на рис. 6, миллиамперметр показывает силу тока, текущего только через измеряемое сопротивление  $R_{BC} = R_{np}$  отрезка провода BC.

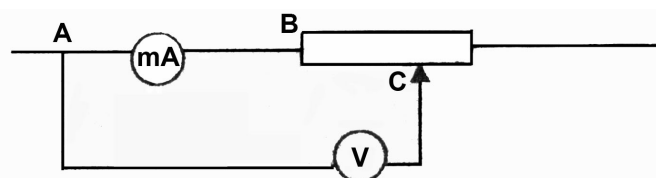


Рис. 6. Электрическая схема для измерения сопротивления методом точного измерения силы тока



По закону Ома для участка цепи ABC:

$$I_A = \frac{U_V}{R}, \quad (7)$$

где  $I_A$  – показание миллиамперметра (сила тока на участке ABC),  $U_V$  – показание вольтметра (напряжение на участке ABC),  $R$  – сопротивление участка ABC.

Сопротивление  $R$  складывается из сопротивления амперметра  $R_A$  и искомого сопротивления провода  $R_{np}$ :

$$R = R_A + R_{np}. \quad (8)$$

Из (7) и (8) получаем:

$$R_{np} = \frac{U_V}{I_A} - R_A. \quad (9)$$

**Измерение сопротивления техническим методом с точным измерением напряжения.** Для измерения сопротивления данным методом, приборы подключаются по схеме, представленной на рис. 7

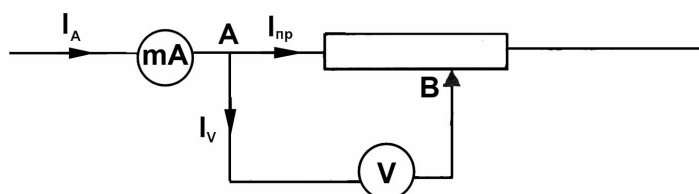


Рис. 7. Электрическая схема для измерения сопротивления методом точного измерения напряжения

В этом случае для участка АВ, представляющего собой параллельное соединение сопротивлений отрезка АВ провода  $R_{AB} = R_{np}$  и сопротивления вольтметра  $R_V$ , имеем:

$$\frac{I_{np}}{I_V} = \frac{R_V}{R_{np}}. \quad (10)$$

Учтем, что ток текущий через амперметр, в точке А разветвляется на два тока

$$I_A = I_{np} + I_V \quad (11)$$

где  $I_A$  – ток, текущий через миллиамперметр,  $I_{np}$  – ток, текущий через проводник,  $I_V$  – ток, текущий через вольтметр. Тогда из формул (10) и (11) находим сопротивление проводника:

$$R_{np} = \frac{I_V R_V}{I_A - I_V}. \quad (12)$$

Поскольку из закону Ома для вольтметра следует

$$I_V = \frac{U_V}{R_V}, \quad (13)$$

то для сопротивления провода получаем:

$$R_{np} = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}} \quad (14)$$

или

$$R_{np} = \frac{R_V}{\frac{I_A R_V}{U_V} - 1}. \quad (15)$$

**Определение удельного сопротивления.** Выражение для удельного сопротивления находим из (4):

$$\rho = R_{np} \frac{S}{\ell}. \quad (16)$$

Сечение провода  $S$  равно

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (17)$$

где  $D$  – диаметр провода.

Таким образом, удельное сопротивление провода равно:

$$\rho = R_{np} \frac{\pi D^2}{4\ell}. \quad (18)$$

### III. ЗАДАНИЕ

1. Определить удельное сопротивление провода техническим методом с точным измерением силы тока.
2. Определить удельное сопротивление провода техническим методом с точным измерением напряжения.

### IV. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

№	Задание №1 Точное измерение тока					Задание №2 Точное измерение напряжения				
	$I_A$	$U_V$	$R_{np}$	$\rho$	$\rho_{cp}$	$I_A$	$U_V$	$R_{np}$	$\rho$	$\rho_{cp}$
1										
2										
3										

1. Для данной лабораторной установки записать внутреннее сопротивление миллиамперметра  $R_A$  (указано на приборе), внутреннее сопротивление вольтметра  $R_V$  (указано на приборе), и диаметр провода  $D$  (указано на установке).
2. Передвинуть подвижный кронштейн 3 приблизительно на 0,7 длины провода по отношению к основанию. Определить длину отрезка проводника от основания до подвижного кронштейна по шкале 2.
3. Нажатием клавиши 10 включить напряжение питания.
4. Для выполнения задания I (с точным измерением силы тока) поставить клавишу 9 в отжатое состояние.
5. При помощи регулятора тока 7 установить стрелку миллиамперметра на какое-либо из делений, соответствующее значению тока не менее  $0.7I_{max}$ .

6. Записать в таблицу показания миллиамперметра и вольтметра.
7. Повторить измерения, согласно п. 5 и 6 еще два раза, выставляя различные значения токов. Полученные результаты занести в таблицу.
8. Используя формулы (9) и (18) вычислить сопротивление  $R_{np}$  и удельное сопротивление  $\rho$  для каждого измерения.
9. Вычислить среднее значение удельного сопротивления  $\rho_{cp}$ .
10. При выполнении задания II (с точным измерением напряжения) привести клавишу 9 в нажатое состояние и выполнить измерения по пунктам 5 – 7.
11. Вычислить сопротивление  $R_{np}$  и удельное сопротивление  $\rho$  для каждого измерения. Затем вычислить среднее значение удельного сопротивления  $\rho_{cp}$ .
12. По окончании измерений выключить прибор нажатием клавиши 10.

### **Контрольные вопросы**

1. Проводник во внешнем электростатическом поле. Понятие электрического тока.
2. Условия для возникновения и существования тока.
3. Закон Ома для участка цепи.
4. Сопротивление проводника, удельное сопротивление проводника.
5. Последовательное и параллельное соединение проводников.
6. Изложить метод измерения удельного сопротивления провода техническим методом с точным измерением силы тока.
7. Изложить метод измерения удельного сопротивления провода техническим методом с точным измерением напряжения.
8. Объясните формулу (10), пользуясь свойством параллельного соединения проводников и законом Ома.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд. «Лань». СПб. 2005
2. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. «Книжный мир». СПб. 2003

Оксана Михайловна Бархатова

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ПРОВОДА

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 57 для студентов специальностей 271101, 230400.62, 120700.62, 270800.62, 221700.62, 022000.62

---

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60 х 90. 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.  
Уч. изд. л. \_\_\_\_\_. Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Тираж 150 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

---

Федеральное агентство по образованию.  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный строительный университет»  
603950, Н. Новгород, Ильинская, 65.  
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950 Н.Новгород, Ильинская, 65.