**Лабораторная работа № 3-8**

# ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА

*Цель работы:* освоить методы измерения электрического сопротивления металла, определить удельное сопротивление.

*Оборудование:* прибор FPM-0I для измерения удельного сопротивления, содержащий источник регулируемого постоянного напряжения, миллиамперметр с внутренним сопротивлением $R_A$ = 0,15 Ом, вольтметр с внутренним сопротивлением $R_V$ = 2500 Ом. Прибор оснащен стойкой, к неподвижным и непроводящим кронштейнам которой крепится резистивный провод из хромоникелевого сплава (78 % Ni, 22 % Cr). Между кронштейнами расположено подвижное электрическое контактное устройство, с помощью которого можно изменять сопротивление $R$, изменяя длину рабочего (нижнего от скользящего контакта) участка провода. Для измерения диаметра провода применяется микрометр.

## Введение

Электропроводность металлов обусловлена тем, что в них содержится огромное количество свободных носителей заряда – электронов проводимости, образовавшихся из валентных электронов атомов металла. Электроны проводимости являются коллективизированными (обобществленными) электронами.

В классической электронной теории электропроводности металлов эти электроны рассматриваются как электронный газ, который может рассматриваться как идеальный. При этом пренебрегают взаимодействием электронов между собой, считая, что они соударяются лишь с ионами, образующими кристаллическую решетку. В промежутках между соударениями электроны движутся свободно, пробегая в среднем путь $\langle\lambda\rangle$. Средняя скорость электронов определяется по формуле

$$\langle\upsilon\rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}},$$

где $m$ – масса электрона, Т – температура, $k = 1{,}38\cdot10^{-23}\,\text{Дж}/\text{К}$ (постоянная Больцмана).

Число электронов проводимости в единице объема одновалентного металла может быть определено по формуле

$$n = \delta\frac{N_A}{M},$$

где $\delta$ – плотность металла; $N_A = 6{,}02\cdot10^{23}\,\text{моль}^{-1}$ (постоянная Авогадро); $M$ – молекулярная масса металла.

Электрический ток возникает при наличии электрического поля внутри металла, которое вызывает упорядоченное движение электронов с некоторой скоростью $\langle\vec{u}\rangle$. Ток можно охарактеризовать с помощью вектора плотности тока $\vec{j}$, который численно равен

электрическому заряду, проходящему за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению упорядоченного движения заряженных частиц

$$j = \frac{1}{dS}\frac{dq}{dt} = \frac{dI}{dS}.$$

При равномерном распределении плотности электрического тока $j$ по сечению $S$ проводника

$$j = \frac{I}{S}.$$

Плотность тока связана с концентрацией электронов $n$, зарядом электрона $e$ и скоростью направленного движения $\langle\vec{u}\rangle$ соотношением

$$\vec{j} = en\langle\vec{u}\rangle. \qquad (1)$$

На основании классической электронной теории электропроводности металлов формула (1) может быть преобразована в

$$\vec{j} = \frac{e^2 n\langle\lambda\rangle}{2m\langle\upsilon\rangle}\vec{E}. \qquad (2)$$

Из (2) видно, что плотность тока $\vec{j}$ пропорциональна напряженности электрического поля $\vec{E}$. Соотношение (2) выражает закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \sigma\vec{E}, \qquad (3)$$

где $\sigma$ – удельная электропроводность металла, определяемая выражением:

$$\sigma = \frac{e^2 n\langle\lambda\rangle}{2m\langle\upsilon\rangle}.$$

Величина

$$\rho = 1/\sigma$$

называется удельным сопротивлением материала. Тогда формулу (3) можно записать в виде

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho}\vec{E}.$$

Если бы электроны не сталкивались с ионами решетки, длина свободного побега $\langle\lambda\rangle$ и, следовательно, проводимость $\sigma$ были бы очень большими, а удельное сопротивление $\rho$ – пренебрежимо малым. Таким образом, согласно классическим представлениям электрическое сопротивление металлов обусловлено соударениями электронов проводимости с ионами кристаллической решетки. Несмотря на весьма приближенные допущения, классическая электронная теория металлов качественно объясняет многие законы постоянного тока. Экспериментально удельное сопротивление $\rho$ металла может быть получено при измерении сопротивления $R$ образцов исследуемого материала

$$R = \rho\frac{l}{S}, \qquad (4)$$

где $l$ – длина; $S$ – площадь поперечного сечения образца металла.

## Методы измерения сопротивления

1. Метод с использованием амперметра и вольтметра, когда искомое сопротивление рассчитывают по закону Ома для участка цепи (рис. 1) $R = U/I$, где $I$ – ток в сопротивлении; $U$ – напряжение на нем; $R$ – сопротивление одного из участков резистивной проволоки.

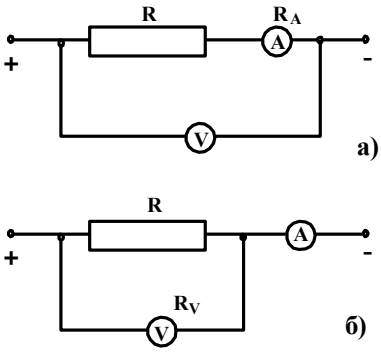


Рис. 1

Применение этой формулы предполагает, что внутреннее сопротивление амперметра $R_A = 0$, а внутреннее сопротивление вольтметра $R_V = \infty$. В реальных условиях приходится вводить поправки на внутреннее сопротивление измерительных приборов. Когда измерения происходят по схеме 1, *а*, амперметр измеряет силу тока в исследуемом сопротивлении, а вольтметр измеряет падение напряжения на сопротивлениях $R$ и $R_A$. Такая схема включения трактуется как «точное измерение силы тока». В этом случае искомое сопротивление найдется по формуле

$$R = \frac{U}{I}(1 - R_A \frac{I}{U}), \qquad (5)$$

где $I$, $U$ – измеряются, $R_A$ берется из паспортных данных.

Когда измерения происходят по схеме 1, *б*, амперметр измеряет силу тока в параллельной цепи сопротивления $R$ и вольтметра, а вольтметр измеряет падение напряжения только на исследуемом сопротивлении. Такая схема включения трактуется как «точное измерение напряжения». В этом случае искомое сопротивление найдется по формуле

$$R = \frac{R_V U}{I R_V - U}, \qquad (6)$$

где $I$, $U$ – измеряются, $R_V$ берется из паспортных данных.

2. Мостовой метод измерения сопротивления основан на балансе 4-плечного моста (см. описание к лаб. работе 3-3), в одно плечо которого введен измеряемый участок резистивного провода, или при использовании моста постоянного тока Р-333 с подключенным измеряемым сопротивлением.


Рис. 2

## Порядок выполнения работы

Задание 1. Измерить неизвестное сопротивление методом амперметра и вольтметра.

1. Включить прибор (рис. 2) в сеть.

2. Установить метод измерения сопротивления. В нажатом положении переключателя реализуется метод амперметра и вольтметра.

3. Подвижный электрический контакт фиксируют на разных точках резистивного провода. Для каждой точки измеряют длину $l$ исследуемого участка провода, а также

несколько раз силу тока $I$ и напряжение $U$ в электрической цепи по каждой измерительной схеме: а) «точное измерение напряжения»; б) «точное измерение силы тока».

Для каждого опыта рассчитывают величину сопротивления $R$ с учетом поправок на внутреннее сопротивление измерительных приборов:

- для схемы п. 3а по формуле (6);
- для схемы п. 3б по формуле (5).

Задание 2. Определение удельного сопротивления металла.

1. Измерить диаметр провода $d$ и площадь сечения $S$.
2. Из формулы (4) рассчитать удельное сопротивление $\rho$. Результаты занести в таблицу.
3. Вычислить абсолютную и относительную ошибки измерений.

## Контрольные вопросы

1. Каковы основные положения классической электронной теории металлов?
2. Запишите формулу для определения плотности тока.
3. Запишите закон Ома в дифференциальной форме.
4. Выведите закон Ома из электронных представлений.
5. В чем сущность электросопротивления металлов?
6. От каких параметров зависит сопротивление проводников?
7. Вывести расчетные формулы (5) и (6).