

УДК 537.311.3

**Определение удельного сопротивления проводника***Лобко Ю.В., Егорова И.В., Петренко Н.В., Грачева Н.Н., Руденко Н.Б.**Азово-Черноморский инженерный институт, Донской ГАУ***Аннотация**

*В статье рассмотрено определение удельного сопротивления проводника. Математический аппарат расчёта удельного сопротивления проводника известен давно, однако многократные вычисления требуют временных затрат и повышают вероятность допущения ошибки. Был предложен алгоритм, автоматизирующий вычисления и решающий перечисленные выше проблемы.*

**Ключевые слова:** УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, ПРОВОДНИК, МАТЕРИАЛ, АЛГОРИТМ, ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON, ВЫЧИСЛЕНИЯ, ТОК

---

Физическая величина, характеризующая способность материала препятствовать прохождению электрического тока, называется удельным электрическим сопротивлением.

Электрическое сопротивление проводника [1]:

- 1) величина, характеризующая противодействие проводника или электрической цепи электрическому току;
- 2) структурный элемент электрической цепи, включаемый в цепь для ограничения или регулирования силы тока.

Электрическое сопротивление металлов зависит от материала проводника, его длины и поперечного сечения, температуры и состояния проводника (давления, механических сил растяжения и сжатия, т.е. внешних факторов, влияющих на кристаллическое строение металлических проводников) [2].

Зависимость сопротивления от материала, длины и площади поперечного сечения проводника либо сопротивление однородного проводника постоянного поперечного сечения можно определить по формуле [3]:

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

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала проводника, Ом·м;

$l$  – длина проводника, м;

$S$  – площадь поперечного сечения проводника, м<sup>2</sup>.

Измерив сопротивление, длину и площадь поперечного сечения проводника, можно рассчитать его удельное сопротивление

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad (2)$$

Сопротивление в данной работе определяется с помощью моста постоянного тока. Мост постоянного тока предназначен для измерения сопротивления методом сравнения. Схема простейшего моста изображена на рис. 1.

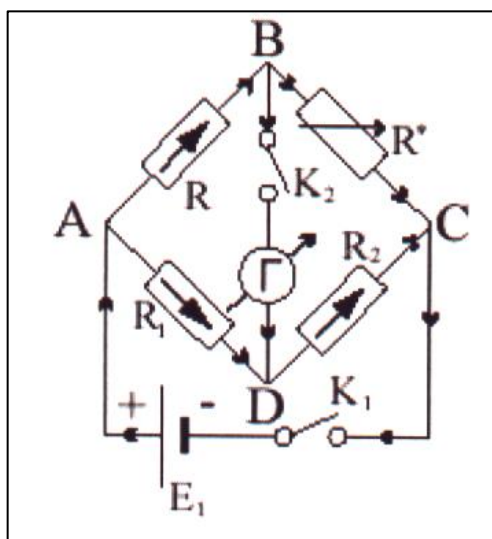


Рис. 1. Схема простейшего моста

Он состоит из четырех сопротивлений, образующих замкнутый четырехугольник:  $R$  – искомое сопротивление;  $R^*$  – магазин сопротивлений, с помощью которого можно набирать различные значения сопротивления в широком диапазоне;  $R_1$  и  $R_2$  – известные сопротивления. В одну диагональ моста (AC) включен источник тока, в другую (BD) – чувствительный гальванометр Г. Если замкнуты ключи  $K_1$  и  $K_2$ , то по параллельным ветвям ABC, ADC и в цепи гальванометра пойдут токи, показанные на рисунке. Падения напряжения на всех четырех сопротивлениях определяются из закона Ома

$$U = \varphi_B - \varphi_A = IR \qquad U^* = \varphi_C - \varphi_B = I^*R^* \qquad (3)$$

$$U_1 = \varphi_D - \varphi_A = I_1R_1 \qquad U_2 = \varphi_C - \varphi_D = I_2R_2$$

Подбирая соответствующим образом сопротивления, можно добиться, чтобы падения напряжения на участках АВ и AD, ВС и DC были одинаковы

$$I_1R_1 = IR \text{ и } I^*R^* = I_2R_2 \qquad (4)$$

В этом случае потенциалы точек В и D будут одинаковы ( $\varphi_B = \varphi_D$ ) и ток в цепи гальванометра  $I_2$  будет равен 0. Отсюда по первому правилу Кирхгофа

$$I = I^*, I_1 = I_2 \qquad (5)$$

Такое состояние моста называется уравновешенным. Из равенств (4) и (5) следует

$$\frac{R}{R^*} = \frac{R_1}{R_2} \qquad (6)$$

Зная величины сопротивлений  $R^*$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  можно определить неизвестное сопротивление

$$R = \frac{R_1}{R_2} R^* \qquad (7)$$

Равновесия моста можно добиться, изменяя  $R^*$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ . Обычно задаются не значения сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , а их отношение

$$n = \frac{R_1}{R_2} \qquad (8)$$

Тогда

$$R = n \cdot R^* \qquad (9)$$

Порядок проведения измерений [4, 5]:

1. С помощью моста постоянного тока измерить сопротивление  $R$  реостата. Измерения производить согласно инструкции, данной на рабочем месте.

2. Измерить внешний диаметр витка  $D$  штангенциркулем и длину катушки реостата  $L$  линейкой.

3. Подсчитать число витков  $N$ . Данные занести в таблицу результатов наблюдений.

4. Определить диаметр проволоки по формуле

$$d = \frac{L}{N} \qquad (10)$$

5. Определить средний диаметр витка

$$D_{\text{cp}} = D - d \quad (11)$$

6. Площадь поперечного сечения провода равна

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi L^2}{4N^2} \quad (12)$$

7. Длина проволоки равна

$$l = \pi D_{\text{cp}} N \quad (13)$$

8. Определить удельное сопротивление проводника, из которого изготовлен реостат по формуле

$$\rho = \frac{RL^2}{4D_{\text{cp}}N^3} \quad (14)$$

9. Формулу относительной погрешности  $\varepsilon_\rho = \frac{\Delta\rho}{\rho}$  можно вывести из выражения (14)

$$\varepsilon_\rho = \frac{\Delta\rho}{\rho} = \sqrt{\left[\frac{d(\ln\rho)}{dR}\Delta R\right]^2 + \left[\frac{d(\ln\rho)}{dL}\Delta L\right]^2 + \left[\frac{d(\ln\rho)}{dD}\Delta D\right]^2 + \left[\frac{d(\ln\rho)}{dN}\Delta N\right]^2}, \quad (15)$$

откуда

$$\varepsilon_\rho = \frac{\Delta\rho}{\rho} = \sqrt{\left[\frac{1}{R}\Delta R\right]^2 + \left[\frac{2}{L}\Delta L\right]^2 + \left[\frac{1}{D}\Delta D\right]^2 + \left[\frac{3}{N}\Delta N\right]^2}, \quad (16)$$

10. Рассчитать относительную погрешность измерения удельного сопротивления по формуле (16) и абсолютную погрешность измерения удельного сопротивления по формуле  $\Delta\rho = \rho\varepsilon_\rho$ . При вычислении относительной погрешности измерения удельного сопротивления принять:

$$\frac{\Delta R}{R} = 0,005 = \pm 0,5\% \text{ (величина определяется по классу точности прибора);}$$

$$\Delta L = K_\alpha \frac{\delta}{3} \text{ (абсолютная погрешность измерения линейкой } \delta = \pm 0,5\text{мм);}$$

$$\Delta D_{\text{cp}} = \Delta D = K_\alpha \frac{\delta}{3} \text{ (абсолютная погрешность измерения штангенциркулем } \delta = \pm 0,05 \text{ мм);}$$

$$K_\alpha = 2 \text{ коэффициент Гаусса при надежности } \alpha = 0,95;$$

$$\Delta N = \pm 1 \text{ виток.}$$

Получившиеся данные результатов наблюдений внесем в таблицу 1.

Таблица 1. Таблица результатов наблюдений

$R, \text{Ом}$	$\frac{\Delta R}{R}$	$L, \text{м}$	$D, 10^{-2} \text{м}$	$K_{\alpha}$	$\delta$	$N$	$\frac{\Delta L}{L}$	$\frac{\Delta D}{D}$	$\frac{\Delta D}{D}, 10^{-2} \text{м}$	$\frac{\Delta D}{D}$	$\frac{\Delta N}{N}$	$d = \frac{L}{N}$

Продолжение таблицы 1

$D_{\text{ср}}, 10^{-2} \text{м}$	$S = \frac{\pi L^2}{4N^2}$	$l = \pi D_{\text{ср}} N$	$\rho_{\text{ср}} = \frac{RL^2}{4D_{\text{ср}} N^3}$	$\Delta \rho = \rho \varepsilon_{\rho}$

Окончание таблицы 1

$\varepsilon_{\rho} = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\left[\frac{1}{R} \Delta R\right]^2 + \left[\frac{2}{L} \Delta L\right]^2 + \left[\frac{1}{D} \Delta D\right]^2 + \left[\frac{3}{N} \Delta N\right]^2}$	$\rho = \rho_{\text{ср}} \pm \Delta \rho$

Запишем результат в виде:

$$\rho = \rho_{\text{ср}} \pm \Delta \rho$$

$$\varepsilon_{\rho} = \dots \%$$

$$\varepsilon_{\rho} = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\left[\frac{1}{R} \Delta R\right]^2 + \left[\frac{2}{L} \Delta L\right]^2 + \left[\frac{1}{D} \Delta D\right]^2 + \left[\frac{3}{N} \Delta N\right]^2}$$

Математический аппарат расчёта удельного сопротивления проводника известен давно. Но многократные вычисления по известным формулам «вручную» требуют временных затрат и повышают вероятность допущения ошибки. Поэтому был предложен алгоритм, автоматизирующий описанные выше вычисления.

Алгоритм был реализован на языке программирования высокого уровня Python (рис. 2, 3). Программа состоит из нескольких подпрограмм (рис. 4).

```

R = float(input("Введите R(в Ом): "))
Y = float(input("Введите Y(deltaR/R): "))
L = float(input("Введите L(в Метрах): "))
D = float(input("Введите D(в Сантиметрах): "))
Ka = float(input("Введите Ka: "))
Rho = float(input("Введите Rho(в мм): "))
N = float(input("Введите N: "))
dN = float(input("Введите dN: "))

while True:
    results = solve_equation(R, Y, L, D, Ka, Rho, N, dN)
    print("\n Результаты расчетов:")
    for key, value in results.items():
        print(f"{key}: {value}")
    if not request_new_calculation():
        break

```

Рис. 2. Фрагмент программы на языке Python



Первая подпрограмма (рис. 5) выполняет основные вычисления, вторая подпрограмма проверяет необходимость повторного ввода исходных данных.

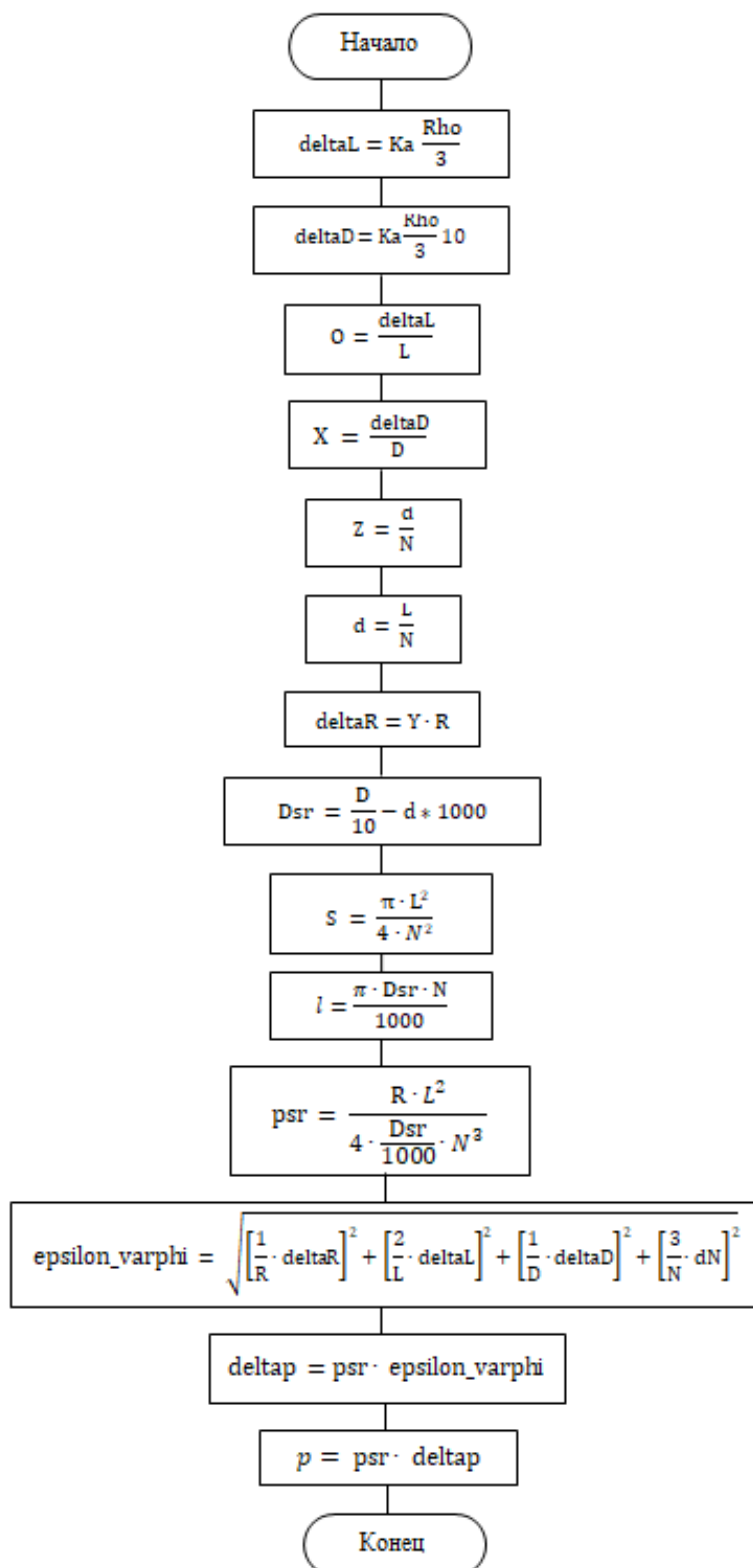


Рис. 5. Алгоритм подпрограммы solve\_equation(R, Y, L, D, Ka, Rho, N, dN)

После запуска программы пользователь сначала вводит значения исходных данных, необходимых для расчётов, а затем получает результаты вычислений. Если вычисления необходимо повторить с другими исходными данными, то пользователь должен подтвердить возможность повторных вычислений.

### **Вывод**

Таким образом, представленный в данной статье алгоритм на языке программирования высокого уровня Python, состоящий из нескольких программ, позволяет автоматически выполнять определение удельного сопротивления проводника. Решение подобной практической задачи с применением изложенной в работе методики позволяет сократить время, затрачиваемое для проведения вычислений и минимизировать вероятность допущения ошибок.

### **Список использованных источников:**

1. Леонтьев Н.Г. Лекции по физике. Т. 1. Механика. Механические колебания. Молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.Г. Леонтьев, А.В. Белоусов. – Волгоград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2022. - 180 с.– Режим доступа: Локальная сеть Библиотеки Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.
2. Лабораторный практикум по физике. Часть 2. Электричество. Магнетизм. Геометрическая и волновая оптика. Квантовая физика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Под общей редакцией Н.Г. Леонтьева. – Электрон. дан. - Волгоград Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО ДГАУ, 2021, - 103 с. – Режим доступа: Локальная сеть Библиотеки Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.
3. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. - М.: ВШ, 1985, - § 4,6,16,18.
4. Савельев И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. Т.1. - М.: Наука, 1987, - § 4,5,8,9,38, 39;
5. Яворский Б.М. Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф - М.: ВШ, 1989. - § I.1.4, I.2.4, I.4.1, I.4.2, I.4.3.

### **Цитирование:**

Лобко Ю.В., Егорова И.В., Петренко Н.В., Грачева Н.Н., Руденко Н.Б. Определение удельного сопротивления проводника [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 4. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/4/st\\_414.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/4/st_414.pdf) DOI: <https://doi.org/10.51419/202144414>.