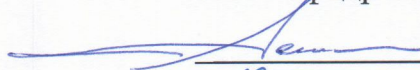


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой общей физики ФТИ

 А.М. Лидер
«19» 02 _____ 2016 г.

**ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОВОДНИКА**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 2 - 00
по теме «Постоянный ток» по курсу «Общая физика»
для студентов всех направлений и специальностей очной и заочной форм
обучения

Томск – 2016

УДК 53 (076.5)

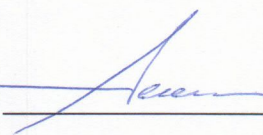
Методические указания к выполнению лабораторной работы № 2-00 по курсу «Общая физика» по теме «Постоянный ток» для студентов всех направлений и специальностей очной и заочной форм обучения.

Томск, изд. ТПУ, 2016. 14 с.

Составители: Т.Н. Мельникова

Рецензент: Э.В. Поздеева

Методическое пособие рассмотрено и рекомендовано методическим семинаром кафедры общей физики «18» 02 2016 г.

Зав. кафедрой общей физики  А.М. Лидер

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОВОДНИКА

Цель работы:

1. Проверить закон Ома для однородного проводника.
2. Проверить линейность зависимости сопротивления от длины однородного проводника.
3. Определить экспериментальным путем удельное сопротивление и удельную электропроводность исследуемого проволочного проводника.
4. По полученным результатам определить материал, из которого изготовлен исследуемый проводник.

Приборы и принадлежности:

Прибор со встроенными амперметром, вольтметром и металлическим проводником.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Электрический ток есть упорядоченное движение зарядов. Эти заряды в учениях о токах называются носителями тока. Упорядоченное движение свободных зарядов, возникающее в проводнике под действием электрического поля, называется током проводимости. За направление электрического тока принимается направление движения положительных зарядов. В металлах и полупроводниках носителями тока являются электроны, в электролитах и ионизованных газах – положительные и отрицательные ионы.

Ток называется постоянным, если сила тока и его направление не изменяются с течением времени. Для постоянного тока

$$I = \frac{q}{t},$$

где q – электрический заряд, проходящий через поверхность S за время t . Таким образом, сила постоянного тока численно равна заряду, проходящему через поверхность S за единицу времени.

Если сила тока меняется с течением времени, то

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Сила тока в проводнике – производная по времени от заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника за промежуток времени t .

Единица силы тока – ампер ($1 \text{ A} = 1 \text{ Кл/с}$).

Заряд, протекающий через поперечное сечение проводника за время t можно рассчитать

$$\Delta q = q_0 n S v \Delta t,$$

где q_0 – заряд одной частицы (в проводнике носителями электрического тока являются электроны); n – концентрация заряженных частиц; S – площадь поперечного сечения проводника; v – скорость движения зарядов.

Тогда сила тока

$$I = enSv. \quad (1)$$

Для существования тока в проводнике необходимо создать разность потенциалов на его концах. Под действием электрического поля напряженностью $E = \frac{U}{l}$ электроны приобретают постоянное ускорение a в направлении, противоположном напряженности \vec{E} и равное:

$$a = \frac{F_k}{m_e} = \frac{eE}{m_e} = \frac{eU}{m_e l},$$

где m_e – масса электрона.

За промежуток времени τ_e между столкновениями, электрон, движущийся равноускоренно, приобретает направленную скорость

$$v = a\tau_e = \frac{eU}{m_e l} \tau_e.$$

Подставляя значение скорости в формулу (1), получим

$$I = \frac{ne^2\tau_e}{m_e} \frac{S}{l} U. \quad (2)$$

Т.е. сила тока в однородном проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению. Коэффициент пропорциональности между силой тока и напряжением обозначают $\frac{1}{R}$.

Тогда

$$R = \frac{m_e}{ne^2\tau_e} \cdot \frac{l}{S}, \quad (3)$$

где R – электрическое сопротивление проводника.

Единица сопротивления Ом ($1 \text{ Ом} = 1 \text{ В/А}$).

Из формулы (2) видно, что сила тока в однородном проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника. Т.е.

$$I = \frac{U}{R}.$$

Зависимость силы тока в проводнике от приложенного к нему напряжения называется *вольтамперной характеристикой проводника* (ВАХ).

Сопротивление – основная электрическая характеристика проводника. Оно характеризует степень противодействия направленному движению по нему зарядов. Согласно формуле (3) электрическое сопротивление зависит от геометрических размеров (l – длина, S – площадь поперечного сечения) и материала (n – концентрация, τ_e – время между столкновениями) проводника.

Обозначим $\frac{m_e}{ne^2\tau_e} = \rho$. Величина ρ получила название удельное сопротивление проводника.

Т.е. удельное сопротивление – это скалярная физическая величина, численно равная сопротивлению однородного цилиндрического проводника единичной длины и единичной площади поперечного сечения.

Единица измерения удельного сопротивления – 1 Ом·м.

В таблице 1 приведены значения удельного сопротивления различных материалов при температуре $t_0 = 20^\circ \text{C}$.

Таблица 1

Удельное сопротивление веществ при 20°C							
№ п/п	Вещество	ρ , Ом·м		№ п/п	Вещество	ρ , Ом·м	
1	Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$	Проводники	19	Углерод	$3,5 \cdot 10^{-5}$	Полупроводники
2	Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$		20	Поваренная соль	$4,4 \cdot 10^{-2}$	
3	Золото	$2,4 \cdot 10^{-8}$		21	Германий	$5 \cdot 10^{-1}$	
4	Алюминий	$2,8 \cdot 10^{-8}$		22	Кровь	1,5	
5	Вольфрам	$5,5 \cdot 10^{-8}$		23	Жир	25	
6	Цинк	$5,9 \cdot 10^{-8}$		24	Кремний	$2,3 \cdot 10^3$	
7	Никель	$6,8 \cdot 10^{-8}$		25	Полиэтилен	$10^8 \div 10^9$	
8	Железо	$9,7 \cdot 10^{-8}$		26	Бумага	10^{10}	
9	Платина	10^{-7}		27	Дерево	$10^8 \div 10^{11}$	
10	Хром	$1,9 \cdot 10^{-7}$		28	Слюда	10^{13}	
11	Сталь	$2 \cdot 10^{-7}$		29	Фарфор	10^{13}	
12	Свинец	$2,1 \cdot 10^{-7}$		30	Стекло	$10^{10} \div 10^{14}$	
13	Манганин	$4,4 \cdot 10^{-7}$		31	Шеллак	10^{14}	
14	Константан	$4,9 \cdot 10^{-7}$		32	Эбонит	10^{14}	
15	Титан	$7 \cdot 10^{-7}$		33	Янтарь	$5 \cdot 10^{14}$	
16	Ртуть	$9,6 \cdot 10^{-7}$		34	Парафин	10^{15}	
17	Висмут	$1,2 \cdot 10^{-6}$		35	Кварц	$7,5 \cdot 10^{17}$	
18	Нихром	10^{-6}					

Качественное деление всех веществ по степени подвижности заряженных частиц на проводники, полупроводники и диэлектрики определяется величиной удельного сопротивления вещества.

К проводникам относят вещества, имеющие удельное сопротивление $\rho < 10^{-5}$ Ом·м.

У полупроводников 10^{-5} Ом·м $< \rho < 10^5$ Ом·м.

Диэлектрики имеют удельное сопротивление $\rho > 10^5$ Ом·м.

Удельным сопротивлением металла называется величина ρ , численно равная сопротивлению R , приходящемуся на единицу длины проводника l с поперечным сечением S .

$$\rho = \frac{RS}{l}.$$

Сечение проводника имеет форму круга, следовательно,

$$S = \frac{\pi d^2}{4},$$

где d – диаметр проводника.

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

Величины l и d можно измерить с помощью линейки и микрометра, а определение сопротивления R в данной лабораторной работе необходимо провести двумя способами, основанными на различном использовании вольтметра и амперметра.

Искомое сопротивление R определяется по закону Ома для участка цепи:

$$R = \frac{U}{I}.$$

При этом должны выполняться условия:

1. $R_A \ll R_x$, где R_A – внутреннее сопротивление амперметра, R_x – сопротивление проводника.
2. $R_V \gg R_x$, где R_V – внутреннее сопротивление вольтметра.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Приборы и принадлежности, используемые в лабораторной работе, показаны на рисунке 1.

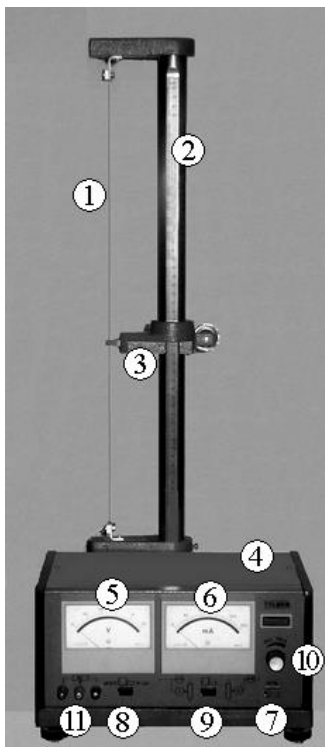


Рис. 1

1. отрезок исследуемой проволоки;
2. стойка с сантиметровой шкалой;
3. подвижный контакт;
4. комбинированный прибор;
5. вольтметр;
6. миллиамперметр;
7. кнопка включения питания источника тока (кнопка «сеть»);
8. кнопка выбора схемы подключения отрезка проволоки;
9. кнопка выбора схемы подключения измерительных приборов;
10. ручка регулировки силы тока;
11. клеммы подключения внешних сопротивлений.

Отрезок проволоки 1 в натянутом состоянии укреплен на стойке с сантиметровой шкалой 2. Для подключения к внутренним точкам проволоки

используется подвижный контакт 3. Деление шкалы, напротив которого установлен подвижный контакт, соответствует длине той части проволоки, на которой измеряется напряжение.

Электрическое питание подается на схему от источника постоянного тока, встроенного в комбинированный прибор 4. Питание источника осуществляется от сети 220 В. Напряжение на исследуемой части проволоки измеряется вольтметром 5, сила тока в проволоке – миллиамперметром 6.

Для увеличения точности измерения оба измерительных прибора имеют шкалу с зеркальной полоской. При снятии показаний по такой шкале необходимо смотреть на прибор так, чтобы стрелка визуально совпадала со своим изображением. На лицевой панели комбинированного прибора размещены кнопки: 7 (включения источника тока), 8 (выбор схемы подключения проволочного сопротивления) и 9 (выбор схемы подключения измерительных приборов). Сила тока источника регулируется ручкой 10. Клеммы 11 предназначены для работы с внешними дополнительными сопротивлениями в режиме мостовой схемы (в работе не используются).

Так как сопротивление отрезка проводника соизмеримо с внутренним сопротивлением амперметра, поэтому в расчетные формулы необходимо ввести поправки. Для определения R_x в данной лабораторной работе используются две схемы, основанные на различном подключении амперметра.

1 способ:

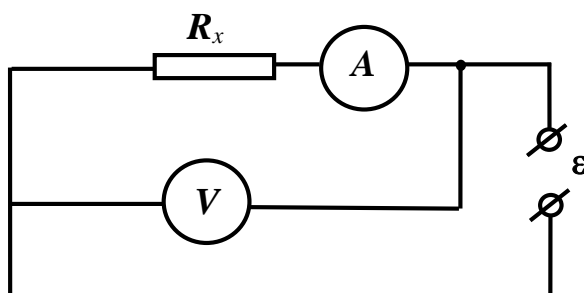


Схема I

Рис. 2

Амперметр в данной схеме соединен последовательно с сопротивлением R_x . Следовательно, напряжение на вольтметре можно рассчитать, как:

$$U_V = U_{R_x} + U_A.$$

Т.к. ток через сопротивление R_x и амперметр один и тот же, то

$$U_V = IR_x + IR_A.$$

Отсюда,

$$R_x = \frac{U}{I} - R_A.$$

Если принять, что $\frac{U}{I} = R_{x1}$, то получим расчетную формулу для сопротивления R_x :

$$R_x = R_{x1} \left(1 - \frac{R_A}{R_{z1}} \right) = \frac{U}{I} \left(1 - \frac{R_A I}{U} \right). \quad (5)$$

Если же отношение $\frac{R_A}{R_{z1}}$ мало, то им можно пренебречь и искомое сопротивление определяется соотношением (закон Ома для участка цепи:

$$R_x = R_{x1} = \frac{U}{I}.$$

II способ:

Амперметр A измеряет ток I на участке « $a - b$ ». В данной схеме вольтметр V подсоединен параллельно сопротивлению R_x .

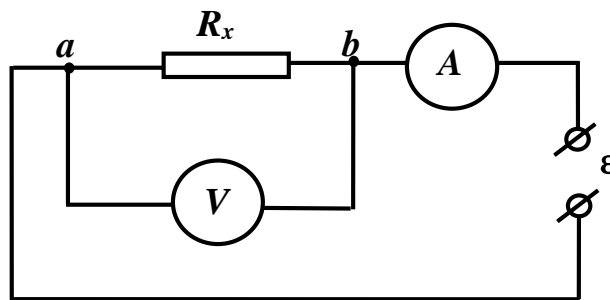


Схема II

Рис. 3

Тогда

$$R_{ab} = \frac{R_x R_b}{R_x + R_b}; \quad (6)$$

$$I = \frac{U}{R_{ab}}, \quad (7)$$

где I – ток, измеряемый вольтметром, U – разность потенциалов на участке « $a - b$ »:

$$I = I_b + I_{R_x}.$$

Пусть

$$R_{x2} = \frac{U}{I}. \quad (8)$$

Тогда, используя уравнения (6), (7), (8), получим

$$R_x = \frac{R_{x2}}{1 + \frac{R_{z2}}{R_b}}.$$

Разложим в ряд Тейлора и ограничимся первым членом полученного ряда. Получим расчетную формулу для R_x :

$$R_x = R_{x2} \left(1 + \frac{R_{x2}}{R_b} \right) = \frac{U}{I} \left(1 + \frac{U}{IR_b} \right). \quad (9)$$

Если же $R_b \gg R_{x2}$, то вновь получим закон Ома для участка цепи:

$$R_x \approx R_{x2} \approx \frac{U}{I}.$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

Упражнение 1. Определение экспериментальным путем удельного сопротивления и удельной электропроводности исследуемого проволочного проводника. Определение материала проводника.

1. Установить подвижной контейнер на высоте 0,5 м длины провода от основания.
2. Подключить прибор к электрической сети. Для этого регулятор тока P_1 (см. рис. 4) повернуть до отказа против часовой стрелки, нажать клавишу W_1 . Установить ток в пределах 150 А ÷ 200 А.

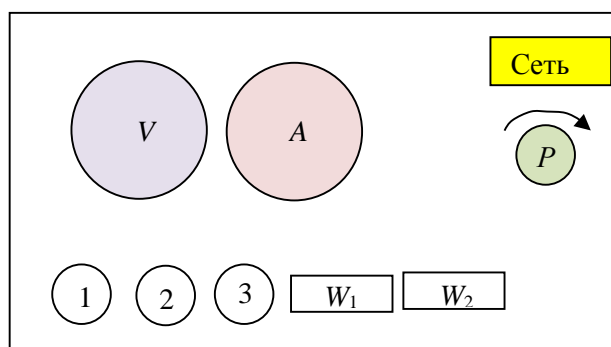


Рис.4

3. Снять показания амперметра и вольтметра, результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

	$l, \text{ м}$	$d, \text{ м}$	$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$R_x, \text{ Ом}$	$\rho, \text{ Ом}\cdot\text{м}$
Схема I						
Схема II						

4. Нажать клавиши W_1 и W_2 , провести аналогичные измерения. Результаты занести в таблицу 2.

5. Измерить длину провода (высоту расположения кронштейна) и диаметр провода.
6. Рассчитать удельное сопротивление проводника, используя формулы 4, 5,
9. Полученный результат занести в таблицу 2.
7. Сопротивление вольтметра принять равным $R_V = 2500$ Ом, сопротивление амперметра – $R_A = 0,15$ Ом.
8. Используя табличные значения удельного сопротивления (Таблица 1) определить материал проводника, который используется в данной лабораторной работе.
9. Рассчитать косвенную погрешность полученных значений удельного сопротивления проводника.
10. Сделать выводы.

Упражнение 2. Проверка закона Ома для однородного проводника.

1. Установить кнопку 8 выбора схемы подключения отрезка проволоки в нажатое состояние, а кнопку 9 выбора схемы подключения измерительных приборов в отжатое состояние. При этом измерительные приборы будут подключены, как показано на рис. 5, и вольтметр будет показывать напряжение на участке цепи из отрезка проволоки и миллиамперметра, соединенных последовательно.

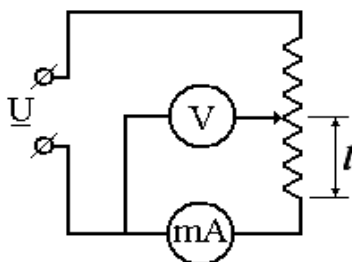


Рис.5. Схема подключения измерительных приборов к проволочному сопротивлению

2. Подвижный контакт установить так, чтобы длина исследуемого отрезка проволоки составила $l_1 = 50$ см (или значение, указанное преподавателем в пределах 30 см ...50 см).
3. Проверить подключение источника тока к сети 220 В. Включить источник тока (кнопка «сеть»).
4. Записать в отчет работы класс точности k_U , k_I и диапазон D_U , D_I каждого из измерительных приборов. Записать материал и диаметр d проволоки.
5. Изменяя силу тока I в участке цепи с шагом 25 мА от 75 мА до 225 мА, измерить напряжение на исследуемом отрезке и результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

№ точки	1	2	3	4	5	6	7
$I, \text{мА}$							
$U, \text{В}$							

Зависимость напряжения на участке цепи от силы тока при фиксированной длине отрезка

$$l_1 = \dots\dots \text{ см.}$$

- По данным таблицы 3 нанести экспериментальные точки на график зависимости $U(I)$ – напряжения от силы тока на исследуемом участке цепи (график № 1). Рассчитать погрешности измерения тока и напряжения.
- Согласно формуле (7) зависимость $U(I)$ должна быть прямо пропорциональной, и коэффициент пропорциональности равен сопротивлению участка цепи. Вычислить наиболее вероятное значение сопротивления и его среднеквадратичную погрешность.
- Сделать выводы.

Упражнение 3. Измерение зависимости сопротивления проводника от его длины.

- Установить силу тока $I = 200 \text{ мА}$ (или значение, указанное преподавателем в диапазоне $100 \text{ мА} \dots 200 \text{ мА}$).
- Изменяя длину отрезка провода l с шагом 5 см (от 10 см до 50 см), измерить напряжение на исследуемом отрезке и результаты занести во вторую и третью строчки таблицы 4.

Таблица 4

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l, \text{см}$									
$U, \text{В}$									
$R, \text{Ом}$									

Зависимость напряжения на исследуемом участке цепи от длины проволоки при фиксированной силе тока $I = \dots\dots \text{ мА}$

- Используя значения силы тока и напряжения (таблица 4) по формуле (7) рассчитать сопротивление R и записать в ту же таблицу. Нанести экспериментальные точки на график зависимости $R(l)$ сопротивления от длины проволоки (график № 2).
- Получить формулу погрешности для ΔR (через погрешности тока и напряжения), рассчитать эту погрешность и отобразить ее на графике.
- Сделать выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение силы тока. Как выбирается его направление?
2. Почему направленное движение электрических зарядов в однородном проводнике является равноускоренным?
3. Дайте определение плотности тока.
4. Что такое сторонние силы? Какова их природа?
5. Физический смысл напряжения.
6. Физический смысл электродвижущей силы, действующей в цепи.
7. Что такое вольтамперная характеристика проводника?
8. Электрическое сопротивление однородного проводника. От чего оно зависит?
9. Какая физическая величина характеризует электрические свойства материала? Дайте определение этой величины и укажите, в каких единицах она измеряется.
10. Какова связь между сопротивлением и проводимостью, удельным сопротивлением и удельной проводимостью?
11. При каких значениях удельного сопротивления вещество можно считать проводником, полупроводником, диэлектриком?
12. Закон Ома для замкнутой цепи.
13. Закон Ома в дифференциальной форме.
14. Как зависит удельное сопротивление проводника от температуры?
15. Что такое температурный коэффициент сопротивления? В каких единицах он измеряется?
16. Сопротивление проводников при последовательном и параллельном соединении.
17. В чем заключается необходимость использования шунта и добавочного сопротивления?
18. Законы Кирхгофа.
19. Закон Джоуля-Ленца.
20. Каковы основные положения классической электронной теории электропроводности металлов?
21. Имеется сплошной медный стержень и медная трубка, внешний диаметр которой равен диаметру стержня. Какой из этих проводников имеет большее сопротивление для постоянного тока? Длина обоих проводников одинаковая.
22. Почему медные провода не пригодны для изготовления реостатов?
23. В отличие от проводов в осветительной сети провода линии передач высокого напряжения не покрыты изолирующей оболочкой. Почему?
24. Почему предохранители зачастую называют плавкими?
25. Существует ли движение носителей заряда в металлическом проводнике при отсутствии в нем электрического поля?

ГЛОССАРИЙ

1. **Ампер** — единица измерения силы электрического тока в Международной системе единиц (СИ).
2. **Амперметр** — прибор для измерения силы тока в амперах.
3. **Вольт** — в Международной системе единиц (СИ) единица измерения электрического потенциала, разности потенциалов, электрического напряжения и электродвижущей силы.
4. **Вольт-амперная характеристика (ВАХ)** — зависимость тока через двухполюсник от напряжения на этом двухполюснике. Описывает поведение двухполюсника на постоянном токе. А также функция выражающая (описывающая) эту зависимость. А также - график этой функции.
5. **Вольтметр** — измерительный прибор непосредственного отсчёта для определения напряжения или ЭДС в электрических цепях. Подключается параллельно нагрузке или источнику электрической энергии.
6. **Ом** — единица измерения электрического сопротивления в Международной системе единиц (СИ). Ом равен электрическому сопротивлению проводника, между концами которого возникает напряжение 1 вольт при силе постоянного тока 1 ампер.
7. **Сторонние силы** в электродинамике, силы не электростатического происхождения, действующие на заряды со стороны источников тока и вызывающие перемещение электрических зарядов внутри источника постоянного тока. Сторонние силы совершают работу по разделению зарядов и поддержанию разности потенциалов на концах цепи.
8. **Удельное электрическое сопротивление** характеризует его способность препятствовать прохождению электрического тока. Единица измерения удельного сопротивления в Международной системе единиц (СИ) — Ом·м; также измеряется в Ом·см и Ом·мм²/м. Физический смысл удельного сопротивления в СИ: сопротивление однородного куска проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м².
9. **Электрическое напряжение** между точками А и В — отношение работы электрического поля при переносе пробного заряда из точки А в В к величине этого пробного заряда.
10. **Электродвижущая сила (ЭДС)** — скалярная физическая величина, характеризующая работу сторонних сил, то есть любых сил неэлектрического происхождения, действующих в квазистационарных цепях постоянного или переменного тока. В замкнутом проводящем контуре ЭДС равна работе этих сил по перемещению единичного положительного заряда вдоль всего контура
11. **Электрическое сопротивление** — физическая величина, характеризующая свойства проводника препятствовать прохождению

электрического тока и равная отношению напряжения на концах проводника к силе тока, протекающего по нему.

12. **Электрический ток** – направленное движение заряженных частиц.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Тюрин Ю.И., Чернов И.П., Крючков Ю.Ю. Физика. Ч.2. Электричество и магнетизм: Учебное пособие для технических университетов. – Томск: Изд-во Том. ун-та. 2003. – 738 с.
2. Курс физики: Учебное пособие для студ. вузов/А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – 5-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 720 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.3. Электричество. М., 1977.
4. Фриц С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Т.2. М., 1962.