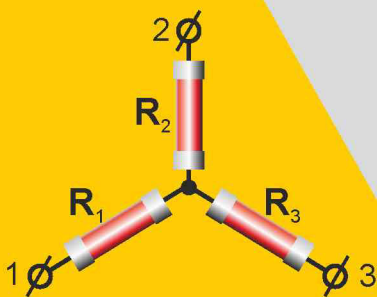
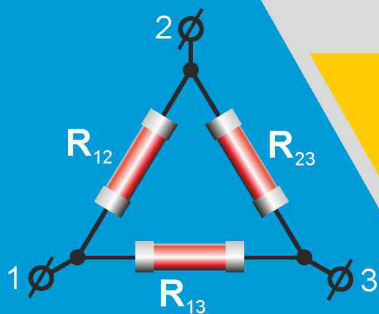


# Эквивалентные электрические схемы: учимся решать задачи



Министерство образования и науки Кузбасса  
Кузбасский региональный институт повышения квалификации  
и переподготовки работников образования

**Эквивалентные электрические схемы:  
учимся решать задачи**

*Методические рекомендации*

Кемерово 2020

УДК 323.28  
ББК 66.4  
Э35

*Рекомендовано  
учебно-методическим советом  
Кузбасского регионального института  
повышения квалификации и переподготовки  
работников образования*

*Составители:*

**А. Ю. Лисов**, преподаватель физики Кемеровского Президентского кадетского училища, победитель регионального этапа Всероссийского конкурса «Учитель года России – 2017»;

**Л. Д. Урванцева**, методист и старший преподаватель кафедры естественно-научных и математических дисциплин, почетный работник общего образования РФ

*Рецензенты:*

**Т. А. Балашова**, доцент кафедры физики ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», кандидат технических наук, доцент;

**О. В. Петунин**, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой естественно-научных и математических дисциплин КРИПКиПРО, г. Кемерово;

**С. Г. Зайцева**, учитель физики МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 19» г. Кемерово, почетный работник общего образования РФ

**Э35** **Эквивалентные электрические схемы: учимся решать задачи: методические рекомендации / составители: А. Ю. Лисов, Л. Д. Урванцева.** – Кемерово : Изд-во КРИПКиПРО, 2020. – 71 с. – ISBN 978-5-7148-0714-5. – Текст : непосредственный.

Методические рекомендации могут быть полезны учителю физики для углубления и расширения знаний учащихся об электрических цепях, изучаемых в школьном курсе физики и во внеурочной деятельности.

Адресованы учителям физики, работающим в основной и средней школе, а также учащимся образовательных организаций, желающим повысить уровень своих знаний по предмету.

Данные методические рекомендации можно использовать при подготовке учащихся к ГИА.

**УДК 323.28  
ББК 66.4**

© Лисов А. Ю., Урванцева Л. Д., сост., 2020  
© Кузбасский региональный институт повышения квалификации и переподготовки работников образования, 2020

**ISBN 978-5-7148-0714-5**

## Введение

Неотъемлемой составляющей обучения учащихся физике является решение задач. Решение физических задач – это особая организация обучения, в процессе которой школьники учатся:

- преодолевать первые трудности;
- видеть физические процессы в окружающем пространстве.

Формируют и развивают:

- самостоятельность;
- естественно-научное мышление.

Совершенствуют:

- навыки применения знаний на практике;
- волю и настойчивость в достижении поставленной цели.

Ярким примером таких заданий выступают задачи на построение эквивалентных схем (метод эквивалентных схем).

Метод эквивалентных схем заключается в упрощении исходных схем до вида тех соединений, которые становятся абсолютно понятными и наглядными. Соединения в схеме необходимо представить в виде последовательных или параллельных участков цепи, где необходимые характеристики можно рассчитать уже без особых затруднений. Но есть одно важнейшее условие – «новая схема» должна быть эквивалентна «старой».

Таким образом, метод эквивалентных схем предполагает выполнение определенного алгоритма:

а) в схеме необходимо найти резисторы (сопротивления), соединенные последовательно или параллельно;

б) заменяем выбранные соединения эквивалентным резистором;

в) получаем более простую схему, абсолютно идентичную исходной, только более простой по внешнему виду;

г) продолжаем выполнять пункты б) и в) до того момента, пока общее сопротивление электрической цепи не станет равно сопротивлению одного резистора.

Определения эквивалентных схем в разных источниках различаются совсем немного. К примеру, определение из Википедии выглядит следующим образом: «Эквивалентная схема позволяет «связать» мир реальных компонентов и мир их идеальных приближений. Эквивалентная схема представляет собой цепь только из идеальных компонентов, которая функционирует примерно так же, как и исходная схема. В эквивалентной схеме реального элемента могут быть отражены, при необходимости, различные паразитные эффекты: утечки, внутренние сопротивления и т. д. В

зависимости от требуемой точности разработаны и продолжают разрабатываться множество схем замещения одного и того же реального элемента».

Актуальность данных рекомендаций состоит в систематизации методов и способов решения эквивалентных электрических схем в школьном курсе физики при изучении темы «Законы постоянного тока».

Ведь исследование процессов, происходящих в электрических цепях, достаточно важно для учащихся, интересующихся предметом. Изучение вузовских политехнических дисциплин осуществляется более эффективно при наличии знаний по физике на углубленном уровне.

В современном «оцифрованном» мире решение задач, в том числе и на эквивалентные схемы, представлено широчайшим спектром. Во многих пособиях по физике встречается ключевая фраза: «Путем несложных математических преобразований, используя несложный математический аппарат, решая систему уравнений, мы получаем следующую формулу...». Но опыт работы подсказывает, что как раз здесь и кроется проблема правильного решения задачи. Те мелкие нюансы в электрических схемах, которые пропущены и никак не пояснены, и вызывают затруднения у тех, кто пытается разобраться в данной теме.

В данных методических рекомендациях внимание акцентировано на деталях. Решение представленных задач с построением эквивалентных схем дано поэтапно, в виде алгоритмов.

Методические рекомендации состоят из введения, восьми разделов разнообразнейших сложных смешанных соединений и списка литературы.

Обучающие задачи, представленные в методических рекомендациях, знакомят учащихся с различными приемами решения задач по электродинамике.

**Цель** методических рекомендаций – оказание методической помощи педагогам в обучении школьников решению физических задач на эквивалентные схемы по теме «Постоянный электрический ток».

**Задачи** методических рекомендаций:

- рассмотреть возможные варианты расчета электрических цепей, изучаемых в рамках школьного курса физики;
- показать возможности преобразований токов и напряжений в эквивалентных электрических цепях для простых и смешанных соединений при решении физических задач.

Методические рекомендации адресованы педагогам, преподающим физику, репетиторам, учащимся образовательных организаций и всем желающим в деле повышения своих компетенций в области решения физических задач.

## Классификация физических задач на электрические цепи

Электрические цепи могут включать следующие элементы: источники ЭДС, резисторы, конденсаторы, катушки, диоды и другие нелинейные элементы. В задачах требуется найти ток в какой-либо ветви, падение напряжения на элементе, заряд на обкладке, сопротивление на участке и т. д. В связи с этим возникает вопрос о методах, оптимальных для конкретных задач.

Методы решения задач могут быть:

- аналитическими (получение выражения-формулы для искомой величины);
- графическими (точные или приближенные вычисления с использованием графиков – ВАХ, временных зависимостей и др.).

Существует множество способов расчета электрических цепей, состоящих из батарей и резисторов [5]. Практически любой из них подходит и для цепей с резисторами или конденсаторов.

Рассмотрим простые способы расчета электрических цепей постоянного тока, состоящих из резисторов и источников питания.

Для решения задач со сложным смешанным соединением элементов можно воспользоваться несколькими приемами и методами [7]:

- методом свертывания;
- методом соединения эквипотенциальных узлов;
- трехполюсным подключением;
- симметричными схемами;
- рекуррентным методом;
- методом расщепления узлов;
- методом наложения;
- правилом Кирхгофа.

Далее мы рассмотрим эти приемы и методы на конкретных примерах.

При анализе схем очень часто будут использоваться различные физические понятия. Для удобства дадим определения некоторым из них.

Не следует смешивать понятия ЦЕПЬ и СХЕМА.

**Цепь** – это набор соединённых между собой элементов.

**Схема** – это условное изображение цепи. Например, фраза «подключим вольтметр к схеме» является явно неправильной, так как означает, что мы рисуем на бумаге схему цепи и подсоединяем вольтметр к этому рисунку. Правильно: «подключим вольтметр к цепи» или «изобразим вольтметр на схеме».

Также не следует смешивать понятия ПРОВОДНИК, ПРОВОД, РЕЗИСТОР и СОПРОТИВЛЕНИЕ.

**Сопротивление** является физической величиной (с единицей измерения Ом), а не телом или элементом цепи.

**Проводником** можно назвать любое тело, которое проводит электрический ток. Противоположностью проводнику является изолятор – тело, которое не проводит электрический ток.

**Идеальный проводник** имеет минимальное теоретически возможное сопротивление, которое равно нулю.

**Провод** – это длинный проводник, который используется для соединения других элементов между собой. Реальный провод имеет ненулевое сопротивление. Но если сопротивление других элементов заметно больше, то мы можем пренебречь сопротивлением проводов и считать их идеальными проводниками. Если же сопротивление элементов сравнимо или даже меньше сопротивлений проводов, то сопротивления проводов следует учитывать, изображая их на схеме как резисторы.

**Резистор** – это проводник или элемент цепи, подчиняющийся закону Ома, то есть он отличается от произвольного проводника тем, что его сопротивление является константой и явно учитывается. Для произвольного проводника закон Ома справедлив не всегда. Например, закон Ома нельзя применять к лампочке, так как спираль (являющаяся проводником) при увеличении напряжения разогревается всё сильнее, а из-за роста температуры возрастает её сопротивление, то есть получается, что оно зависит от напряжения, что противоречит закону Ома. Элементы, подобные лампочке, называются нелинейными, так как вопреки закону Ома сила тока в них не прямо пропорциональна напряжению, а зависит от него более сложным образом.

Отдельные элементы в электрической цепи соединяются друг с другом. Способов соединения два: **последовательное** и **параллельное**.

Последовательно соединенные проводники образуют единую «трубу», по которой бегут заряды.



Рис. 1

Поскольку заряды нигде не могут накапливаться, через любое сечение «трубы» за равные промежутки времени проходит одинаковый заряд.

## Метод соединения эквипотенциальных узлов

Этот способ заключается в том, что в симметричных схемах отыскиваются узлы с равными потенциалами (ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ УЗЛЫ). Эти узлы соединяются между собой, причем если между этими точками был включен какой-то участок схемы, то его отбрасывают, так как из-за равенства потенциалов на концах ток по нему не течет и этот участок никак не влияет на общее сопротивление схемы [5].

Таким образом, замена нескольких эквипотенциальных узлов одним приводит к более простой эквивалентной схеме.

Данный прием трудно дается ученикам, особенно 8-го класса, поэтому рассмотрим один из способов объяснения понятия «потенциал» с помощью аналогий с механическими явлениями [6].

Электрический ток часто сравнивают с течением воды. В природе вода течет в направлении действия силы тяжести – сверху вниз (рис. 18). Сила тяжести стремится переместить воду в положение с меньшей потенциальной энергией.

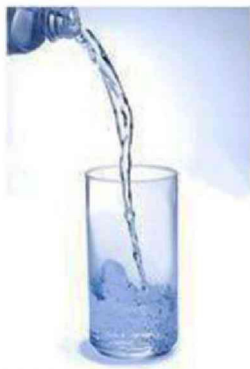


Рис. 18

$$\text{Введем новую физическую величину } \varphi = \frac{E_{\text{п}}}{m} = \frac{mgh}{m} = gh.$$

Интересно, что отношение потенциальной энергии тела к его массе не зависит от массы тела, а зависит исключительно от местоположения тела в поле тяготения. По этой причине величину можно принять за характеристику поля тяготения в данной точке. Назовем эту величину потенциалом.



Вспомним поведение жидкости в сообщающихся сосудах. Если в сообщающиеся сосуды налита однородная жидкость, то она будет в равновесии (не будет перетекать из одного сосуда в другой), если ее уровень в сосудах одинаков (рис. 19).

Эту же мысль можно сформулировать иначе: жидкость не перетекает из одного сосуда в другой, поскольку потенциалы точек свободной поверхности в левом и правом сосудах одинаковы.

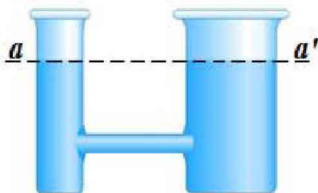


Рис. 19

Если уровни однородной жидкости в сосудах разные, она начинает перетекать из сосуда, где уровень свободной поверхности выше, туда, где уровень свободной поверхности ниже (рис. 20)

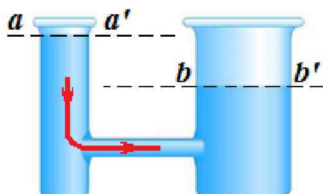


Рис. 20

Вернемся к электрическому току. Два заряженных тела, положительное и отрицательное, соединили проводником (рис. 21). Заряженные тела создают электрическое поле, это поле действует на заряды в проводнике с электрической силой, приводя их в направленное движение.

Электрическое поле действует на заряды подобно тому, как поле тяготения действует на тела: положительные заряды «текут» туда, где потенциальная энергия будет меньше.



Рис. 21

Участок электрической цепи уместно сравнить с сообщающимися сосудами. Жидкость перетекает при наличии перепада уровней в сосудах или при наличии перепада потенциалов. По аналогии с полем тяготения можно заключить, что заряды бегут по проводнику при наличии перепада потенциала между его концами.

Перемещая заряды по проводнику, электрическая сила совершает работу. Работу по перемещению единичного положительного заряда вдоль проводника назвали напряжением. Следовательно, напряжение – это разность потенциалов между концами участка цепи.

Напряжение (разность потенциалов между концами проводника) ведет себя подобно перепаду уровней жидкости в сообщающихся сосудах:

- есть перепад уровней в сообщающихся сосудах – жидкость течет;
- есть разность потенциалов между концами проводника – есть ток.

Рассмотрим примеры решения задач с использованием потенциалов точек и эквипотенциальных узлов.

### Пример 3

Что показывает вольтметр в цепи (рис. 22), если сопротивления резисторов равны  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 9 \text{ Ом}$ ,  $U_{06} = 45 \text{ В}$ ? Определите полярность вольтметра. Сопротивление вольтметра бесконечно велико [2].

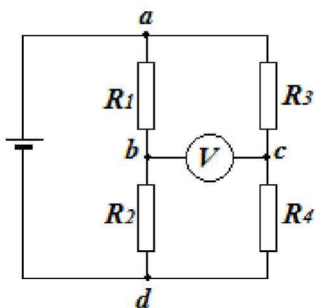


Рис. 22

### Решение:

Поскольку сопротивление вольтметра бесконечно велико, ток через прибор не течет. Вольтметр показывает разность потенциалов между точками  $b$  и  $c$ :  $U_V = \varphi_b - \varphi_c$ .

Преобразуем выражение – в правой части равенства прибавим и вычтем  $\varphi_a$

$$U_V = \varphi_b - \varphi_c = (\varphi_a - \varphi_b) - (\varphi_a - \varphi_c).$$

## Содержание

Введение .....	3
Классификация физических задач на электрические цепи .....	5
Метод свертывания .....	10
Метод соединения эквипотенциальных узлов .....	16
Трехполюсное подключение .....	25
Симметричные цепи .....	32
Рекуррентный метод .....	42
Метод расщепления узлов .....	50
Метод наложения .....	54
Правила Кирхгофа .....	59
Заключение .....	68
Список использованной литературы .....	70