

**РАЗБОР ЗАДАНИЙ И
КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ**

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

1. Река с течением (6 баллов)

1.1. Моторная лодка по течению движется со скоростью $3V$, против течения со скоростью V . Чему равна скорость течения? (1 балл). Чему равна скорость лодки относительно берега? (1 балл)

ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

Введём обозначения: V_0 – собственная скорость лодки (скорость лодки относительно воды), U – скорость течения реки.

Скорость лодки по течению:

$$\begin{aligned}V_0 + U &= 3V; \\V_0 - U &= V.\end{aligned}$$

Решая полученную систему уравнений, найдем

$$\begin{aligned}V_0 &= 2V; \\U &= V.\end{aligned}$$

1	Записано выражение для скорости лодки по течению, против течения (по 0,5 за каждое)	1 балл
2	Найдена собственная скорость лодки, скорость течения реки (по 0,5 за каждую)	1 балл

1.2. Рассмотрим ту же реку, скорость течения которой Вы находили в пункте 1.1. Теперь человек, сидящий в той же лодке, что и в п.1.1., хочет переправиться с одного берега на другой, причем при переправе скорость лодки относительно воды всегда направлена перпендикулярно берегу. Считая, что скорость течения реки одинакова по всей ширине, всегда направлена параллельно берегу, определите время (2 балла), за которое лодка пересечет реку и расстояние, на которое ее снесет по течению (2 балла). Ширина реки одинакова и равна d .

ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

Из условия задачи следует, что в направлении перпендикулярном берегу, лодка движется равномерно со скоростью $V_0 = 2V$. Поэтому время переправы равно

$$t = \frac{d}{V_0} = \frac{d}{2V}.$$

За это время вдоль берега лодку снесет на расстояние

$$S = U \cdot t = \frac{d}{2V} \cdot V = \frac{d}{2}.$$

1	Найдено время переправы	2 балла
2	Найдена величина сноса	2 балла

2. Лёд и пар (4 балла)

В теплоизолированном сосуде находится лёд массой $m = 100$ г при начальной температуре 0°C .

2.1. Какое минимальное количество водяного пара, имеющего температуру 100°C , надо впустить в сосуд, чтобы лёд полностью растаял? (3 балла)

2.2. Какое минимальное количество водяного пара, имеющего температуру 100°C , надо впустить в сосуд, чтобы конечная температура в сосуде стала равной 100°C ? (1 балл)

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; удельная теплота парообразования воды (конденсации пара) $r = 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; удельная теплоемкость воды $c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$.

ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

7.1. При впрыскивании пара в сосуд со льдом лёд тает (поглощение тепла), пар конденсируется при 100°C (тепло выделяется), вода, получившаяся при конденсации пара, охлаждается до 0°C (тепло выделяется). Запишем уравнение теплового баланса

$$m\lambda = M_{\min}(r + c \cdot \Delta t).$$

Из записанного соотношения определяем массу пара M_{\min}

$$M_{\min} = \frac{m\lambda}{r + c \cdot \Delta t};$$

$$M_{\min} = 12,2 \text{ г.}$$

Таким способом определяется минимальная масса пара, которая необходима для таяния льда.

Если не учитывается охлаждение воды, получившейся при конденсации пара, то масса пара не будет минимальной, она определяется из следующего уравнения теплового баланса

$$m\lambda = Mr;$$

$$M = \frac{m\lambda}{r}; \quad M = 14,35 \text{ г.}$$

1	Записано уравнение теплового баланса с учетом охлаждения воды, получившейся при конденсации пара	1 балл
2	Получен правильный ответ (формула – 1 балл, значение – 1 балл)	2 балла
3	В том случае, если найдена не минимальная масса пара, то ставится не более 1 балла	Не более 1 балла

6.2. При впрыскивании пара в сосуд со льдом он будет конденсироваться при 100°C (тепло выделяется), лёд будет таять (поглощение тепла), воду, получившуюся при его таянии надо будет нагреть до 100°C (поглощение тепла). Запишем уравнение теплового баланса в этом случае

$$m\lambda + mc \cdot \Delta t = Mr.$$

Определим массу пара, необходимую для этого

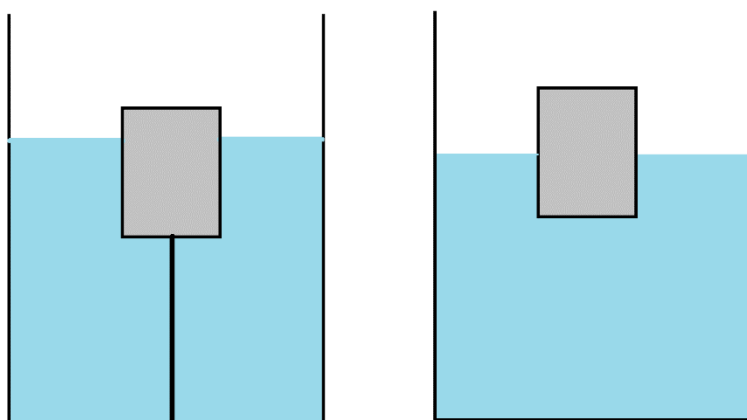
$$M = \frac{m(\lambda + c \cdot \Delta t)}{r};$$

$$M = 32,6 \text{ г.}$$

1	Записано уравнение теплового баланса	0,5 балла
2	Получен правильный ответ (формула – 0,25 баллов, значение – 0,25 баллов)	0,5 балла

3. Тело в воде (5 баллов)

В цилиндрическом сосуде с водой находится тело, привязанное натянутой нитью к дну сосуда. В воду погружено $2/3$ объема тела. Если нить перерезать, то тело всплывёт и будет плавать погруженным в воду наполовину. На сколько при этом изменится уровень воды в сосуде? Чему была равна сила натяжения нити в первом случае?



Масса тела $m = 30 \text{ г}$,

плотность воды $\rho = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, площадь дна сосуда $S = 20 \text{ см}^2$.

ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

Так как во второй случае тело плавает, погружившись наполовину, то его плотность равна

$$\rho_T = 500 \text{ кг/м}^3.$$

Рассмотрим первый случай: тело прикреплено к дну с помощью нити. Запишем условие покоя тела

$$F_{\text{Арх1}} = T_1 + mg.$$

Обозначим объем тела V . Для силы Архимеда запишем

$$F_{\text{Арх1}} = \frac{2}{3} \rho g V.$$

Из записанных соотношений определим силу натяжения нити T_1

$$T_1 = \frac{2}{3} \rho g V - mg = mg \left(\frac{2\rho}{3\rho_T} - 1 \right);$$

$$T_1 = 0,1 \text{ Н.}$$

Если обозначить объем воды, налитой в сосуд V_0 , то для уровня воды в этом случае можно записать

$$h_1 = \frac{V_0}{S} + \frac{\frac{2}{3}V}{S} = \frac{V_0}{S} + \frac{2m}{3\rho_T S}.$$

Рассмотрим случай, когда тело плавает. Уровень воды в этом случае равен

$$h_2 = \frac{V_0}{S} + \frac{1}{2} \frac{V}{S} = \frac{V_0}{S} + \frac{m}{2\rho_T S}.$$

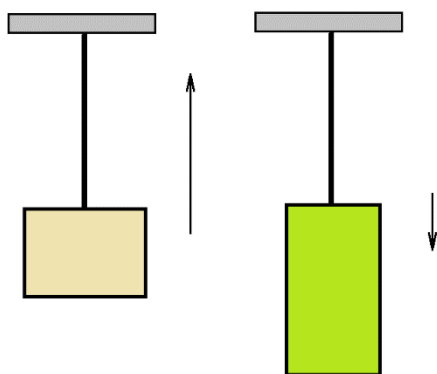
Определим изменение уровня воды в сосуде

$$\Delta h = h_2 - h_1 = -\frac{m}{6\rho_T S};$$

$$\Delta h = -5 \text{ мм.}$$

Знак «минус» означает, что уровень жидкости при всплытии тела понизится.

1	Записано условие покоя тела в первом случае	1 балл
2	Найдена сила натяжения в первом случае (в общем виде – 0,5 баллов, значение – 0,5 баллов)	1 балл
3	Записано выражения для уровня жидкости в первом случае	1 балл
4	Записано выражение для уровня жидкости во втором случае, вывод о плотности тела (0,5 баллов и 0,5 баллов)	1 балл
5	Найдено изменение уровня жидкости при всплытии тела	1 балл



4. Груз на веревке (5 баллов)

Верёвка выдерживает груз максимальной массы m_1 при его движении с некоторым ускорением, направленным вверх, и груз максимальной массы m_2 при его движении с ускорением, в n раз меньшим первого по величине и направленным вниз (см. рисунок). Груз какой максимальной массы можно повесить к верёвке в покое? Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

Рассмотрим движение вверх. Запишем второй закон Ньютона, обозначив ускорение тела a ,

$$m_1 a = T - m_1 g;$$

$$T = m_1 (a + g).$$

Здесь T – максимально возможная сила натяжения веревки.

В случае движения вниз, второй закон Ньютона имеет вид

$$m_2 \frac{a}{n} = m_2 g - T;$$

$$T = m_2 \left(g - \frac{a}{n} \right).$$

Из записанных соотношений определяем максимально возможную силу натяжения нити

$$T = \frac{m_1 m_2 (n + 1)}{n m_1 + m_2} g.$$

Если груз находится в покое, то сила натяжения нити T равна

$$T = m g.$$

Отсюда находим максимально возможную массу тела

$$m = \frac{m_1 m_2 (n + 1)}{n m_1 + m_2}.$$

1	Записано второй закон Ньютона в первом случае	1 балл
2	Записан второй закон Ньютона во втором случае	1 балл
3	Есть понимание (указание) того, что силы натяжения веревки одинаковы и максимально возможные во всех трех случаях	1 балл
4	Найдена максимально возможная сила натяжения веревки	1 балл
5	Найдена нужная масса	1 балл

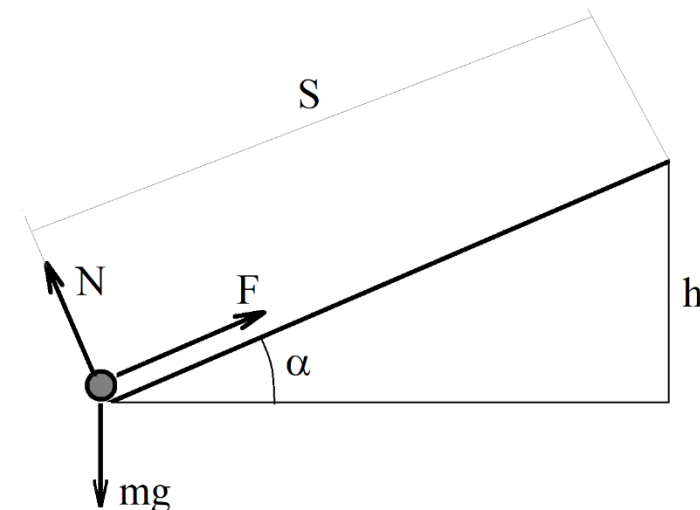
5. Энергия и работа (5 баллов)

5.1. Груз массой 2 кг медленно подняли на высоту 2 метра по гладкой наклонной плоскости с углом 30° , действуя силой $F = 30$ Н параллельной наклонной плоскости. Найти работу всех сил, действующих на тело. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². (4 балла)

5.2. Тело падает с высоты H без начальной скорости. На какой высоте кинетическая энергия равна потенциальной? (1 балл)

ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

5.1. На тело действуют сила F , сила тяжести mg , сила нормальной реакции опоры N . Определим работу каждой из них.



Работа силы F

$$A_F = F \cdot S = F \cdot \frac{h}{\sin \alpha};$$

$$A_F = F \cdot \frac{h}{\sin 30^\circ} = 2Fh = 120 \text{ Дж.}$$

Работа силы тяжести

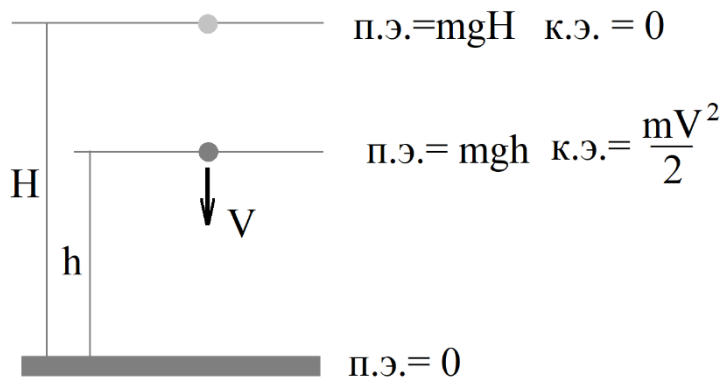
$$\begin{aligned} A_{mg} &= mgS \cos(90^\circ + \alpha) \\ &= mgh \frac{\cos 120^\circ}{\sin 30^\circ} \\ &= -mgh; \end{aligned}$$

$$A_{mg} = -40 \text{ Дж.}$$

Работа силы нормальной реакции опоры равна нулю, так как эта сила перпендикулярна перемещению

$$A_N = 0.$$

1	Записана формула для нахождения работы	1 балл
2	Работа силы F : найдена связь высоты и перемещения вдоль плоскости найдена работа силы F	1 балл 1 балл
3	Работа силы тяжести без знака минус	1 балл (0,5 баллов)
4	Работа силы N	1 балл



5.2. Нуль потенциальной энергии выберем на поверхности земли. Определим кинетическую и потенциальную энергии на высотах H и h (см.рисунок), запишем закон сохранения энергии, определим h

$$mgH = mgh + \frac{mV^2}{2};$$

$$mgh = \frac{mV^2}{2};$$

$$h = \frac{H}{2}.$$

$$F_{\text{тр}}^{\text{ск}} = 0,15 \cdot 1 \cdot 10 = 1,5 \text{ Н}.$$

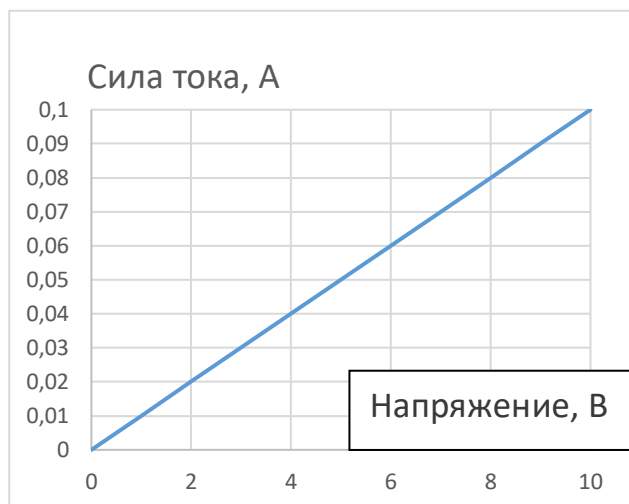
1	Определены все значения энергий, записан закон сохранения энергии	0,5 балла
2	Найдена нужная высота	0,5 баллов

ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Задача 6. Закон Ома и ВАХи (7 баллов)

6.1. Простой закон Ома (2 балла)

Сформулируйте закон Ома. Нарисуйте с соблюдением масштаба вольт-амперную характеристику сопротивления $R = 100 \text{ Ом}$ в диапазоне от 0 до 10 В.



ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

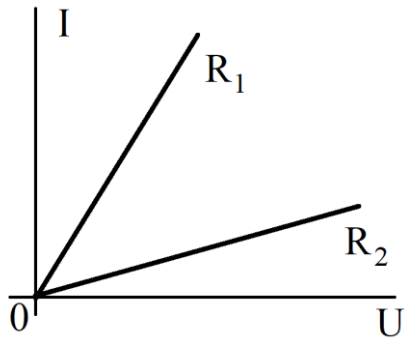
Зависимость силы тока от напряжения представлена на рисунке.

Для получения этой зависимости воспользуемся законом Ома

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

Далее подставляем в формулу значения напряжения и сопротивления, считаем ток, строим график.

1	Оси подписаны и оцифрованы	0,5 балла
2	Проведена прямая линия	0,5 баллов



6.2. ВАХ сопротивления (1 балл)

На рисунке представлены вольтамперные характеристики двух сопротивлений. Какое из них больше и почему? Рисунок слева.

ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

Так как сила тока связана с напряжением и сопротивлением соотношением

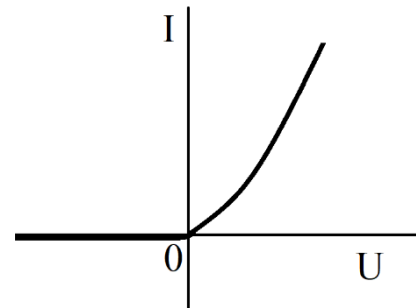
$$I = \frac{U}{R},$$

то сопротивление

$$R_1 < R_2.$$

6.3. ВАХ диода (2 балла)

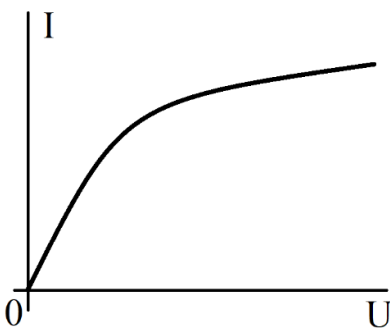
Некоторые соединения определённых веществ, например, приготовленная специальным образом комбинация германия или кремния, преимущественно пропускают заряд в одном направлении. Эти устройства называют диодами. Идеализированная вольтамперная характеристика диода изображена на рисунке. Как меняется сопротивление диода при изменении полярности подключения батареи (U на $-U$)?



ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

В случае $U > 0$ напряжение уменьшается (1 балл), в случае $U < 0$ напряжение бесконечно большое (1 балл).

6.4. ВАХ лампы накаливания (2 балла)



Температура вольфрамовой нити в современной лампе накаливания поднимается до 2000 К, когда лампа светит на полную мощность. Количество носителей заряда почти не меняется. Вольтамперная характеристика лампы изображена на рисунке. Как меняется сопротивление нити с увеличением напряжения?

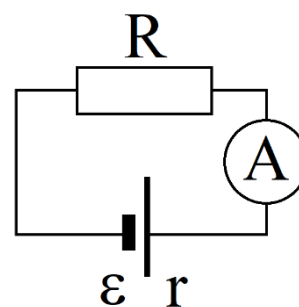
ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

Сопротивление нити лампы с увеличением напряжения увеличивается, так как уменьшается тангенс угла наклона.

Задача 7. Источник тока (6 балла)

7.1. Сила тока (1 балл)

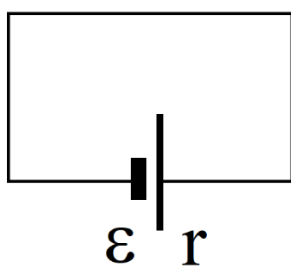
ЭДС источника 12 В, внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом, внешнее сопротивление $R = 119$ Ом. Каковы показания амперметра? Считать, что сопротивление амперметра пренебрежимо мало.



ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

Сила тока в цепи равна

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$



7.2. Короткое замыкание (1 балл)

Если замкнуть клеммы источника тока проводом пренебрежимо малым сопротивлением ($r = 0$), то возникнет ситуация, которую называют «короткое замыкание». Определите силу тока короткого замыкания.

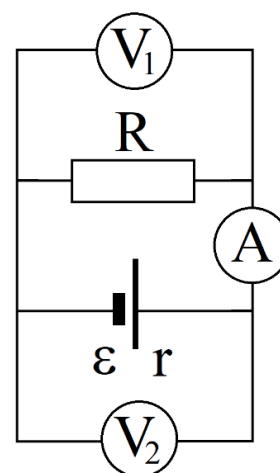
ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

Сила тока короткого замыкания равна

$$I = \frac{\varepsilon}{r}.$$

7.3. Показания приборов (4 балла)

Определите показания приборов, включенных в полную цепь, содержащую источник тока с известными ЭДС и внутренним сопротивлением и внешнее сопротивление R . Считать, что сопротивление амперметра пренебрежимо мало, а вольтметров очень большое. Схема справа.



ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

Амперметр показывает силу тока в цепи. Так как все приборы идеальные, то его показания равны

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

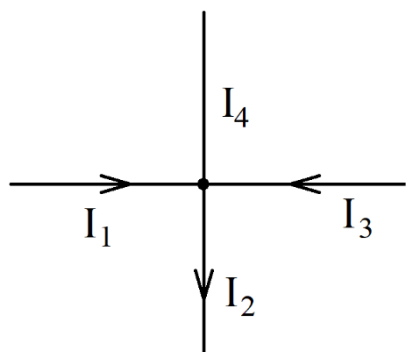
Показания обоих вольтметров одинаковы и равны

$$V_1 = V_2 = IR = \varepsilon - Ir = \frac{\varepsilon R}{R + r}.$$

1	Определены показания амперметра	2 балла
2	Показания вольтметров одинаковы	1 балл
3	Найдены показания вольтметров	1 балл

Задача 8. «Первое правило» (2 балла)

На рисунке изображен один из узлов электрической цепи. Известны токи $I_1 = 10 \text{ A}$, $I_2 = 18 \text{ A}$, $I_3 = 3 \text{ A}$. Чему равен и как направлен ток I_4 ?



ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

В узел входят токи I_1 и I_3

$$I_1 + I_3 = 10 + 3 = 13 \text{ A.}$$

Из узла выходит ток $I_2 = 18 \text{ A}$.

Следовательно, ток I_4 должен выходить из узла и

равен

$$I_4 = 18 - 13 = 5 \text{ A.}$$

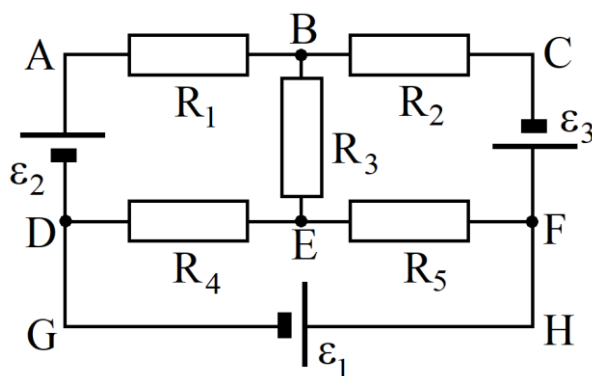
1	Найдена сумма токов, входящих в узел	0,5 балла
2	Сделан вывод о том, что ток должен выходить из узла	1 балл
3	Найдено значение тока	0,5 баллов

Задача 9. «Найди контур» (2 балла)

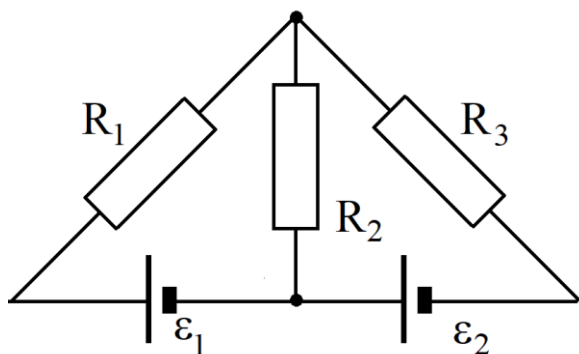
Какие еще замкнутые контуры есть на предложенной схеме? Называть их нужно аналогично тому, как предлагается в примере.

ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

В предложенной схеме кроме перечисленных есть контуры АВЕFНGDA; ВСFНGDEB; DFHGD.



Задача 10. «Токи и сопротивления» (8 баллов)



В схеме, представленной на рисунке, подключим ϵ_2 в обратном направлении. Нам по-прежнему надо найти токи, текущие через все сопротивления. Напомним, что сопротивления равны $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$, ЭДС источников равны $\epsilon_1 = 5 \text{ В}$, $\epsilon_2 = 7 \text{ В}$.

Определив токи, найдите напряжения на каждом сопротивлении.

ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

Запишем правило узлов

$$I_1 = I_2 + I_3.$$

Запишем правило контуров для двух контуров – треугольников, содержащих ЭДС,

$$\varepsilon_1 = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2;$$

$$\varepsilon_2 = I_3 R_3 - I_2 \cdot R_2.$$

Решая систему трех уравнений, получим силы токов

$$I_2 = \frac{\varepsilon_1 R_3 - \varepsilon_2 R_1}{R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_2};$$

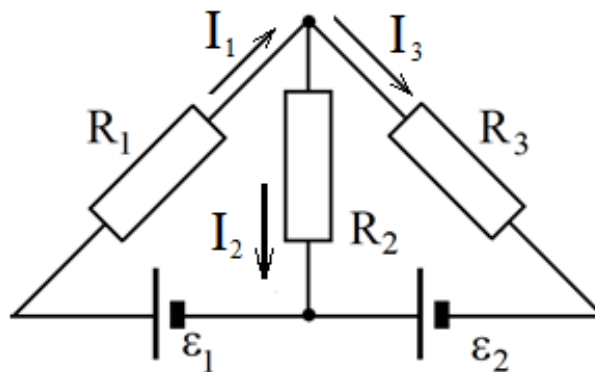
$$I_2 = \frac{8}{11} \text{ A};$$

$$I_3 = \frac{\varepsilon_1 R_2 + \varepsilon_2 (R_1 + R_2)}{R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_2};$$

$$I_3 = \frac{31}{11} \text{ A};$$

$$I_1 = \frac{\varepsilon_2 R_2 + \varepsilon_1 (R_3 + R_2)}{R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_2};$$

$$I_1 = \frac{39}{11} \text{ A}.$$



1	Записано правило узлов	1 балл
2	Записаны правила контуров (по 0,5 баллов за контур)	1 балл
3	Найден токи (по 1 баллу) за каждый ток	3 балла
4	Найдены напряжения (по 1 баллу) за каждое	3 балла