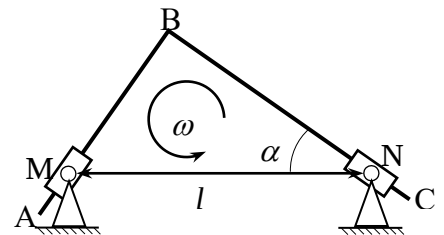


**Задания, решения и критерии оценки работ очного отборочного тура
Инженерной олимпиады школьников
10 класс, 2024-2025 учебный год**

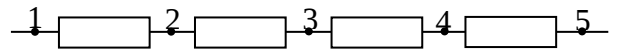
1. Считается, что безопасным для пассажиров железной дороги является ускорение $a_0 = 1 \text{ м/с}^2$. Поезд едет со скоростью $v = 80 \text{ км/ч}$. Найти минимальный тормозной путь, безопасный для пассажиров, и наименьшее время торможения поезда.

2. Наиболее известным оружием времён первой мировой войны был пулемет «Максим», в котором использовалось водяное охлаждение ствола. Ствол пулемета помещался в кожух объемом $V = 4 \text{ л}$, в который заливалась вода. За какое время непрерывной стрельбы вода в кожухе закипит, если пулемет совершает $n = 10$ выстрелов в секунду? Масса пороха в патроне $m = 3,1 \text{ г}$, теплота сгорания пороха $q = 3,8 \text{ МДж/кг}$. Считать, что на нагревание воды идет $\eta = 0,2$ энергии, выделившейся при сгорании пороха. Плотность воды $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$, удельная теплоемкость воды $c_v = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{град)}$, температура кипения воды $t_{\text{кип}} = 100^\circ \text{С}$. Начальная температура воды $t_0 = 20^\circ \text{С}$.

3. Два стержня АВ и ВС, жестко скрепленные в точке В под прямым углом друг к другу, проходят через муфты, которые прикреплены шарнирно к неподвижным точкам М и N и могут вращаться относительно них (см. рисунок). Система стержней ABC вращается с угловой скоростью ω , оставаясь все время в одной плоскости. Найти скорость и ускорение точки В в тот момент, когда угол между стержнем ВС и отрезком MN равен $\alpha = 30^\circ$. Расстояние MN равно l .

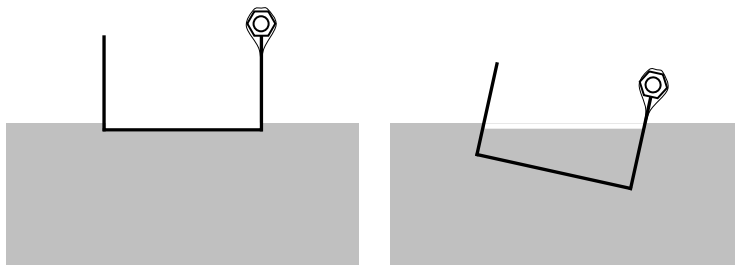


4. Имеется электрическая цепь, состоящая из четырех одинаковых резисторов, соединенных последовательно. К цепи подключают идеальный источник постоянного электрического напряжения. Если к точкам 1 и 2 этой цепи подключить вольтметр, он покажет напряжение $U_{12} = 0,95 \text{ В}$. Если тот же вольтметр подключить к точкам 1 и 5, он покажет напряжение $U_{15} = 4 \text{ В}$. Что покажет тот же вольтметр, если подключить его к точкам 1 и 3?



5. На камбузе (кухне) ледокола, совершающего проход по льдам Северного ледовитого океана, кок (повар) готовит обед для команды. Работают батареи отопления. В результате в камбузе установилась температура $t = 16^\circ \text{С}$. Когда кок включил еще одну плиту для приготовления обеда вахтенным (дежурным), тепловая мощность которой составляет одну четверть от мощности уже работающих источников тепла, в камбузе установилась температура $t_1 = 19^\circ \text{С}$. Какова температура воздуха за бортом ледокола? **Указание.** Отдача тепла от горячего тела холодному пропорциональна разности температур между телами (закон Ньютона-Рихмана).

6. На поверхность воды поставили очень легкий пластиковый контейнер для пищевых продуктов. Контейнер плавает горизонтально. На один из бортов контейнера прикрепили тело с массой, сравнимой с массой контейнера (например, прикрепили с помощью скотча крупную гайку; см. рисунок). Контейнер плавает практически горизонтально. Если же в контейнер налить небольшое количество воды, то он сильно наклонится в сторону тела. Объясните эти эксперименты.



Решения и критерии оценивания

1. Из законов равноускоренного движения находим время торможения

$$\tau = \frac{v_0}{a_0} = 22,2 \text{ с}$$

(начальную скорость нужно, конечно, перевести в метры в секунду), а затем и тормозной путь поезда

$$S = v_0 \tau - \frac{a_0 \tau^2}{2} = \frac{v_0^2}{2a_0} = 246 \text{ м}$$

Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):

1. Правильное использование законов равноускоренного движения - 1 балл
2. Правильный ответ для времени торможения (формула) – 1 балл
3. Правильный ответ для времени торможения (число) – 1 балл
4. Правильный ответ для тормозного пути (формула) – 1 балл
5. Правильный ответ для тормозного пути (число) – 1 балл

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

2. Найдем мощность тепловыделения за счет стрельбы. За время Δt пулемет совершит $\Delta N = n\Delta t$ выстрелов. Поскольку количество теплоты, идущее на нагрев воды при каждом выстреле, равно

$$q_1 = \eta q m,$$

то за время Δt на нагрев воды пойдет следующее количество теплоты

$$\Delta Q = q_1 \Delta N = n \eta q m \Delta t.$$

Поэтому мощность тепловыделения в стволе пулемета есть

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = n \eta q m$$

Чтобы вода в кожухе нагрелась до кипения, в кожух должно поступить количество теплоты

$$Q = c_v \rho V (t_{\text{кип}} - t_0)$$

Это тепло выделится за такое время τ , что $P\tau = Q$. Отсюда находим

$$\tau = \frac{Q}{P} = \frac{c_v \rho V (t_{\text{кип}} - t_0)}{n \eta q m} = 57 \text{ с}.$$

Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):

1. Правильная идея решения – найти мощность тепловыделения, а потом использовать уравнение теплового баланса - 1 балл
 2. Правильное соотношение для количества теплоты, необходимого для нагревания воды – 1 балл
 3. Правильно найдена мощность тепловыделения – 1 балл
 4. Правильный ответ для времени нагрева воды (формула) – 1 балл
 5. Правильный ответ для времени нагрева воды (число) – 1 балл
- Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

3. Поскольку угол ABC – прямой, и две точки угла ABC в любой момент времени проходят через точки M и N, по теореме об угле, опирающемся на диаметр окружности, заключаем, что точка B движется с постоянной угловой скоростью ω , по окружности, диаметром которой является отрезок MN. Радиус этой окружности - $l/2$. Поэтому скорость v и ускорение a точки B не меняются по величине и равны

$$v = \frac{\omega l}{2}, \quad a = \frac{\omega^2 l}{2}.$$

От угла α значения скорости и ускорения не зависят. Вектор скорости точки В направлен по касательной к окружности, т.е. под углом 30° к стержню АВ. Вектор ускорения – к центру окружности, т.е. между стержнями под углом 60° к стержню АВ и под углом 30° к стержню ВС.

Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):

1. Дано доказательство, что точка В движется по окружности, диаметром которой является отрезок MN- 1 балл
2. утверждение, величина скорости и ускорения точки В не зависят от времени – 1 балл
3. правильно найдена величина скорости точки В – 1 балл
3. правильно найдено ускорение точки В (без явного вывода о постоянстве скорости точки В этот пункт оценивать нулевой оценкой даже при правильном результате) – 1 балл
5. Правильные направления скорости и ускорения в рассматриваемый момент (если явно не указаны – хотя бы словами – направления скорости и ускорения этот пункт не оценивать) – 1 балл

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

4. Если бы вольтметр был идеальным (т.е. имел бы бесконечно большое сопротивление), то его показания к любым точкам цепи цепь не искажали бы, и потому его показания при подключении к точкам 1-2 отличались бы от его показаний при подключении к точкам 1-5 ровно в 4 раза. А в условии это не так. Это значит, что вольтметр не идеален, т.е. имеет конечное сопротивление. Найдем отношение сопротивления резистора к сопротивлению вольтметра.

Пусть напряжение источника равно U . Поскольку источник идеален, то в первом случае вольтметр показывает напряжение источника. Значит, $U = U_{1-5}$.

Найдем теперь показания источника, когда вольтметр подключен к точкам 1-2. Общее сопротивление нашей цепи равно в этом случае

$$R_{\text{об}} = 3r + \frac{rR}{r+R}$$

где r - сопротивление резистора, R - сопротивление вольтметра. Поэтому ток в цепи будет равен

$$I = \frac{U}{3r + \frac{rR}{r+R}}.$$

Ток I_V через вольтметр и напряжение U_{1-2} на вольтметре (т.е. собственно его показания) найдем по правилам параллельного соединения элементов в цепь

$$I_V = \frac{r}{r+R} I = \frac{U}{4R+3r}, \quad U_{1-2} = I_V R = \frac{UR}{4R+3r}$$

Отсюда находим, что

$$\frac{U_{1-5}}{U_{1-2}} = \frac{4R+3r}{R} = 4 + 3\frac{r}{R}$$

и, следовательно, отношение сопротивлений резистора и вольтметра равно

$$\frac{r}{R} = \frac{1}{3} \left(\frac{U_{1-5}}{U_{1-2}} - 4 \right) \quad (*)$$

Аналогично действуем, когда вольтметр подключен к точкам 1-3:

$$R_{\text{об},1} = 2r + \frac{2rR}{2r+R}, \quad I_1 = \frac{U}{2r + \frac{2rR}{2r+R}}, \quad I_{V,1} = \frac{2r}{2r+R} I = \frac{U}{2R+2r}, \quad U_{1-3} = I_{V,1} R = \frac{UR}{2R+2r} = \frac{U}{2 + 2\frac{r}{R}}$$

Подставляя сюда отношение сопротивлений из (*) и учитывая, что $U = U_{1-5}$, получим

$$U_{1-3} = \frac{3U_{1-5}U_{1-2}}{2(U_{1-5} - U_{1-2})} = 1,87 \text{ В}$$

Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):

1. Правильный вывод (с обоснованием), что вольтметр неидеален – 1 балл
 2. Правильный вывод, что при подключении к точкам 1-5 он покажет напряжение источника - 1 балл
 3. Правильно найдено показание вольтметра, когда он подключен к точкам 1-2 – 1 балл
 4. Правильно найдено отношение сопротивлений резистора и вольтметра – 1 балл
 5. Правильный ответ (и формула, и число) – 1 балл
- Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

5. Пусть температура за бортом равна t_0 , все источники тепла, работающие на камбузе до включения дополнительной плиты, выделяют в единицу времени количество теплоты Q . Тогда количество теплоты, которое уходит в единицу времени из камбуза в окружающее пространство при установившейся температуре, равно Q . Используя закон Ньютона-Рихмана (см. указание к условию), получим

$$Q = k(t - t_0) \quad (*)$$

где k - коэффициент пропорциональности, который связан с геометрией стен и их теплопроводящими свойствами (но не зависящий от разности температур воздуха в камбузе и воздуха за бортом). Когда на камбузе включили дополнительную плиту, мощность которой составляет одну четверть мощности всех источников тепла, работавших до этого, потери тепла должны составить $(5/4)Q$. Поэтому уравнение теплового баланса дает

$$\frac{5}{4}Q = k(t_1 - t_0) \quad (**)$$

где k - тот же самый коэффициент, что и в формуле (*). Деля (*) на (**), получим

$$\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} = \frac{4}{5}$$

Решая это уравнение, найдем

$$t_0 = 5t - 4t_1 = 4^\circ \text{C}$$

Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):

1. Правильный и обоснованный вывод, что теплоотдача с камбуза равна выделяющемуся теплу - 1 балл
 2. Правильная формула для теплоотдачи в первом случае – 1 балл
 3. Правильная формула для теплоотдачи во втором случае – 1 балл
 4. Правильное уравнение для температуры за бортом (исключение неизвестного коэффициента пропорциональности в законе Ньютона-Рихмана) – 1 балл
 5. Правильный ответ (и формула, и число) – 1 балл
- Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

6. Условиями равновесия контейнера является утверждения, что сумма сил и сумма моментов всех сил, действующих на контейнер, равны нулю. Поскольку контейнер легкий, из условия сил заключаем, что он будет погружен в воду на очень маленькую часть своего объема. Из-за утяжелителя, масса которого сравнима с массой контейнера, суммарная сила тяжести, действующая на контейнер, будет приложена гораздо правее (см. рисунок в условии) середины контейнера. И чтобы удо-

влетворить условию моментов, точка приложения силы Архимеда должна быть существенно сдвинута направо по сравнению с серединой контейнера. Сила Архимеда приложена к центру тяжести погруженной в воду части контейнера. Поэтому при наклоне на угол

$$\alpha \approx \arcsin\left(\frac{d}{l}\right) \quad (*)$$

(d - глубина погружения контейнера, l - его ширина) сдвиг точки приложения силы Архимеда будет равен по порядку величины размерам контейнера, каким он и должен быть для выполнения условия моментов (второго условия равновесия). Но поскольку отношение $d/l \ll 1$, то угол наклона контейнера α будет очень маленьким.

Если же в контейнер налита вода, и контейнер погружен в воду на значительную глубину, для сдвига точки приложения силы Архимеда на величину, сравнимую с размерами контейнера, нужно наклонить контейнер на значительный угол, как следует из формулы (*). Именно поэтому контейнер с водой сильно наклонится.

Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):

- 1. Правильная идея решения – использование условий равновесия контейнера (уравнения сил и уравнения моментов) - 1 балл**
- 2. Правильное утверждение, что точка приложения силы Архимеда есть центр тяжести погруженной в воду части контейнера – 1 балл**
- 3. Правильная и обоснованная оценка наклона контейнера (может быть даже словесная) в случае, когда в него не налита вода – 1 балл**
- 4. Правильная идея, что малый наклон контейнера в случае налитой в него воды очень мало сдвинет точку приложения силы Архимеда по сравнению с центром контейнера – 1 балл**
- 5. Правильная оценка наклона контейнера с водой – 1 балл**

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

Оценка работы

Оценка работы складывается из оценок задач. Максимальная оценка работы – 30 баллов. Допустимыми являются все целые оценки от 0 до 30.