

**Задания, решения и критерии оценки работ очного отборочного тура**

**Инженерной олимпиады школьников**

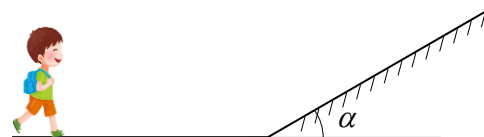
**Очный отборочный тур, 9 класс, 2025-2026 учебный год**

1. Узлом в мореплавании называется скорость, равная 1 морской миле (1852 м) в час. Название этой единицы скорости – узел - связано со способом измерения скорости кораблей. С борта корабля в воду сбрасывалась дощечка, привязанная к длинной верёвке (лаглиню), намотанной на катушку (вьюшку). Дощечка привязана к веревке так, что в воде она располагалась перпендикулярно ходу судна и практически сразу останавливалась относительно воды. Корабль уходил вперёд, а катушка разматывалась, стравливая верёвку. На верёвке на равных расстояниях друг от друга завязывались узлы. Матрос, проводящий измерение скорости корабля, пропускал стравливаемую верёвку через руку и считал узлы, прошедшие через руку за 1 минуту. Расстояние между узлами подбиралось так, чтобы один прошедший через руку за 1 минуту узел соответствовал скорости корабля 1 морская миля в час. Каким должно быть расстояние между узлами? Какой будет скорость 12 узлов в километрах в час? А какой будет скорость 40 км/час в узлах?

2. Котел парового двигателя вмещает массу воды  $M = 10$  кг. В котле при атмосферном давлении кипит вода, для чего к котлу от нагревателя подводят мощность  $P = 10$  кВт. Образовавшийся пар совершает работу, часть его теряется в атмосфере, но  $\eta = 0,95$ -ая часть его массы возвращается обратно в котел в виде воды с температурой  $t = 20^\circ\text{C}$ . Через какое время в котле останется половина первоначального количества воды? Вначале котел полностью заполнен водой. Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·град), удельная теплота парообразования воды  $L = 2,3 \cdot 10^6$  Дж/кг.

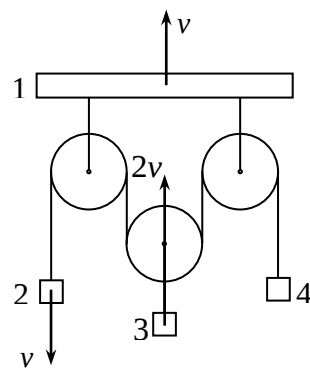
3. Все мы измеряли температуру своего тела... И все мы знаем, что при охлаждении медицинского термометра ртуть не возвращается сама в колбу термометра, и поэтому перед использованием его нужно «встряхивать». А вот термометры, которые измеряют температуру на улице, - нет. (1) Почему? Какой элемент конструкции медицинского термометра ответственен за такое его поведение? (2) Зачем это сделано в медицинском термометре? (3) Что происходит при встряхивании термометра?

4. Длинное наклонное зеркало соприкасается с горизонтальным полом и наклонено под углом  $\alpha$  к вертикали (см. рисунок). К зеркалу приближается мальчик, идущий по горизонтальной поверхности со скоростью  $v$ . Глаза мальчика расположены на высоте  $h$  от горизонтальной поверхности. На каком максимальном расстоянии от нижнего края зеркала мальчик увидит (а) изображение своих глаз (б) своё изображение во весь рост?



5. Ток в канале молнии течет со средней силой  $I = 5 \cdot 10^4$  А под напряжением  $U = 2 \cdot 10^8$  В. Продолжительность разряда молнии составляет  $\tau = 2 \cdot 10^{-3}$  с. На какое время хватило бы энергии такой молнии для электроснабжения дома при средней мощности энергопотребления  $P = 2$  кВт? Какова «цена» энергии молнии при тарифе на электроэнергию  $q = 5$  руб/(кВт·ч)?

6. В системе, изображенной на рисунке, тела 1, 2, и 3 имеют скорости, показанные на рисунке. Найти величину и направление скорости тела 4.



## Решения и критерии оценивания

1. Пусть корабль движется со скоростью 1 узел – 1 морская миля в час. Тогда за час размоталась бы веревка длиной 1852 метра. А за 1 минуту – время измерения скорости корабля – в 60 раз меньше. Значит, за 1 минуту размотается веревка длиной

$$l = \frac{1852}{60} = 30,87 \text{ м}$$

Найдем скорость 12 узлов в километрах в час. Имеем

$$v = 12 \text{ (узлов)} = 12 \cdot 1,852 \text{ (км/ч)} = 22,2 \text{ (км/ч)}$$

Обратный пересчет

$$v = 40 \text{ (км/ч)} = \frac{40}{1,852} \cdot 1,852 \text{ (км/ч)} = 21,6 \text{ (уз)}$$

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

1. Правильно понята основная идея измерения скорости с помощью дощечки и лаглиня - 1 балл

2. Правильное расстояние между узлами на лаглине – 1 балл

3. Правильный способ пересчета скоростей – 1 балл

4. Правильно пересчитаны узлы в километры в час – 1 балл

5. Правильно пересчитаны километры в час в узлы – 1 балл

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

2. За время  $\Delta t$  нагреватель выделяет количество теплоты

$$\Delta Q = P \Delta t.$$

Поскольку котел работает в стационарном режиме, это тепло должно быть потрачено на испарение определённой массы воды, и нагрев ее  $\eta = 0,95$ -ой части от температуры  $t = 20^\circ\text{C}$  до температуры кипения воды при атмосферном давлении, т.е. до  $t_k = 100^\circ\text{C}$ . Отсюда находим

$$P \Delta t = L \Delta m + c \eta \Delta m (t_k - t_0)$$

Здесь  $L$  - удельная теплота парообразования воды,  $c$  - удельная теплоемкость воды. Отсюда находим скорость испарения воды

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{P}{L + c \eta (t_k - t_0)}$$

А поскольку теряется  $(1 - \eta)$ -ая часть воды, то скорость потери воды в котле есть

$$V_{\text{ном}} = \frac{(1 - \eta) \Delta m}{\Delta t} = \frac{(1 - \eta) P}{L + c \eta (t_k - t_0)}$$

Поэтому в котле пропадет половина первоначальной массы воды за время

$$t = \frac{M}{2V_{\text{ном}}} = \frac{M (L + c \eta (t_k - t_0))}{2(1 - \eta) P} = 26192 \text{ (с)} = 436,5 \text{ (мин)} = 7 \text{ (час)} 16,5 \text{ (мин)}$$

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

1. Правильная идея решения – потеря воды из котла связан с ее испарением, а оно связано с мощностью нагревателя - 1 балл

2. Правильное соотношение для массы испарившейся воды – 1 балл

3. Правильное соотношение для количества теплоты, потраченного на нагревание воды – 1 балл

4. Правильный ответ для времени потери воды (формула) – 1 балл

5. Правильный ответ для времени потери воды (число) – 1 балл

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

3. (1) Медицинский термометр должен измерять температуру человеческого тела с точностью до десятых долей градуса – иначе он не будет выполнять свою диагностическую функцию. С другой стороны, при вытаскивании термометра из подмышки он сразу начинает охлаждаться, и охлаждается на десятые доли градуса очень быстро. Поэтому если бы ртуть в термометре могла двигаться вниз по трубочке термометра при его охлаждении, мы получали бы очень неточные результаты измерений. (2) Поэтому в медицинских термометрах разработана система сохранения максимальных результатов измерений. В трубочке термометра около её начала вблизи резервуара с ртутью сделано сужение. При нагревании ртути она под давлением, вызванным её расширением, легко проходит это сужение. А вот обратно пройти не может, поскольку при её охлаждении никакого давления не развивается. Поэтому столбик ртути в месте сужения разрывается, и ртуть в трубочке остаётся на том же месте, где она была при максимальном нагреве. (3) Чтобы сделать термометр способным снова измерять температуру, нужно его «встряхнуть» - начать быстро двигать, а потом остановить. Благодаря инерции ртуть проходит в колбу, и термометр снова готов к работе.

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

1. Правильное понимание работы термометра – расширение термометрической жидкости - 1 балл

2. Правильное понимание конструкции термометра – колба, заполненная жидкостью и тонкая трубка – 1 балл

3. Правильный ответ на вопрос (1) – 1 балл

4. Правильный ответ на вопрос (2) – 1 балл

5. Правильный ответ на вопрос (3) – 1 балл

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

4. Чтобы мальчик увидел изображение своих глаз, он должен иметь возможность смотреть на зеркало, перпендикулярно зеркалу. Поэтому при приближении к зеркалу он впервые увидит изображение своих глаз, когда окажется на таком расстоянии от зеркала, когда увидит самую нижнюю точку зеркала (точку А), глядя на нее под прямым углом к плоскости зеркала (см. рисунок; мальчик показан жирным вертикальным отрезком). Поэтому в прямоугольном треугольнике НГА угол ГАН равен  $90^\circ - \alpha$ . И, следовательно, мальчик будет находиться на расстоянии

$$d = h \operatorname{tg} \alpha$$

от нижнего края зеркала.

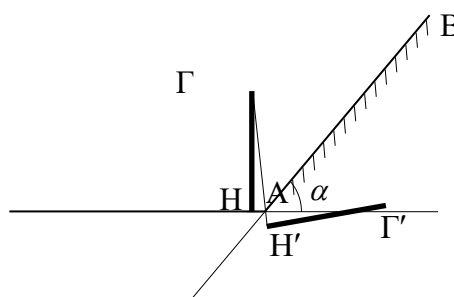
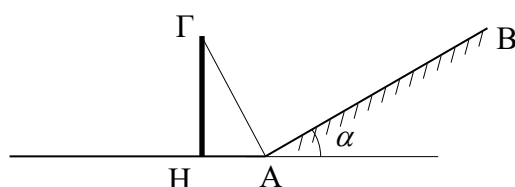
Чтобы увидеть свое изображение целиком, мальчик должен увидеть изображение и изображения глаз, и изображения ног. Изображение глаз он будет видеть, находясь на любом расстоянии, более близком, чем  $d$ . А вот чтобы увидеть изображение ног, он должен располагаться так, чтобы луч, идущий от ног и отразившийся от края зеркала, попал к нему в глаза. Отсюда из закона отражения находим, что угол между падающим от ног на край зеркала лучом НА и отраженным АГ равен  $180^\circ - 2\alpha$  (см. рисунок; изображение мальчика НГ', зеркало размещено более круто, чем на предыдущем рисунке, для которого мальчик никогда не увидит изображение своих ног). При этом угол НАГ должен быть обязательно острым, иначе мальчик никогда не увидит изображение своих ног. Поэтому минимальное расстояние от мальчика до нижнего края зеркала, при котором он увидит целиком свое изображение, есть

$$s = h \operatorname{ctg}(180^\circ - 2\alpha) = -h \operatorname{ctg} 2\alpha, \quad \alpha > 45^\circ$$

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

1. Правильное построение изображений в плоском зеркале - 1 балл

2. Правильное определение положения мальчика, когда он начинает видеть изображение своих глаз – 1 балл



3. Правильный ответ для минимального расстояния от мальчика до нижнего края зеркала, при котором он видит изображение своих глаз – 1 балл
  4. Правильное определение положения мальчика, при котором он начинает видеть изображение своих ног – 1 балл
  5. Правильный ответ для минимального расстояния от мальчика до нижнего края зеркала, при котором он видит изображение своих ног – 1 балл
- Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

5. По закону Джоуля-Ленца находим мощность, а затем и полную энергию, выделившуюся при ударе молнии:

$$W = UI \cdot \tau = 2 \cdot 10^8 (\text{В}) \cdot 5 \cdot 10^4 (\text{А}) \cdot 2 \cdot 10^{-3} (\text{с}) = 2 \cdot 10^{10} (\text{Дж}).$$

Этой энергии хватит для электроснабжения дома в течении времени:

$$T = \frac{W}{P} = \frac{2 \cdot 10^{10} (\text{Дж})}{2000 (\text{Вт})} = 1 \cdot 10^7 (\text{с}) = \frac{1 \cdot 10^7}{3600 \cdot 24 \cdot 30} (\text{мес}) \approx 4 (\text{мес}).$$

Таким образом, энергии, выделившейся при ударе рассматриваемой молнии, хватило бы на 4 месяца электроснабжения дома. «Цена» молнии составляет:

$$n = \frac{UI\tau}{q} = \frac{UI\tau}{1000 (\text{Вт}) \cdot 3600 (\text{с})} \cdot 5 (\text{руб}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})) = \frac{2 \cdot 10^8 (\text{В}) \cdot 5 \cdot 10^4 (\text{А}) \cdot 2 \cdot 10^{-3} (\text{с})}{1000 (\text{Вт}) \cdot 3600 (\text{с})} \cdot 5 (\text{руб}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})) \approx 28000 \text{ руб.}$$

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

1. Правильно использован закон Джоуля-Ленца – 1 балл
2. Правильно найдена энергия молнии – 1 балл
3. Правильно переведена из киловатт-часов в джоули энергия, нужная для электроснабжения дома - 1 балл
4. Правильный ответ для времени электроснабжения дома – 1 балл
5. Правильный ответ для стоимости молнии – 1 балл

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

6. Перейдем в систему отсчета, связанную с телом 2, которое движется со скоростью  $v$  вверх относительно земли. В ней это тело покоится, тело 1 движется вниз со скоростью  $2v$ , тело 3 движется вверх со скоростью  $v$ . Поэтому за интервал времени  $\Delta t$  тело 1 вытянет кусок веревки длиной  $2v\Delta t$ , тело 3 освободит кусок веревки длиной  $2v\Delta t$ . Поэтому в рассматриваемой системе отсчета скорость тела 4 равна нулю. А, значит, в системе отсчета, связанной с землей, тело 4 будет двигаться вверх со скоростью  $v$ .

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

1. Правильный подход к решению – подсчет длины веревки, вытянутой телами, имеющими заданные скорости (или введение координат тел и вычисление длины веревки через эти координаты) - 1 балл
2. Правильный ответ для величины и направления скорости тела 4 – плюс 4 балла к пункту 1.
3. Если ответ неправильный, но есть переход в другую систему, упрощающий вычисления – плюс 1 балл к пункту 1.

**Оценка работы**

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