

**Выходи решать! 2022. Сборник задач и решений****Физика****Задачи №1**

Спокойный сон. Поезд едет со скоростью $V_0 = 72$ км/ч. Оцените минимальный тормозной путь (в метрах) и наименьшее время торможения (в секундах), безопасные для спящих пассажиров, если для того, чтобы пассажиры не падали с полок, модуль ускорения не должен превышать 2 м/с^2 . В ответе запишите вначале минимальный тормозной путь, а затем, через пробел, время торможения.

Решение. Минимальный тормозной путь определится как путь при равноускоренном движении с ускорением на ось, направленную вдоль скорости движения поезда, равным $a = -2 \text{ м/с}^2$:

$$S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

В нашем случае $S = -\frac{v_0^2}{2a}$ ($v_0 = 72 \text{ км/ч} = 20 \text{ м/с}$), так как $v = 0$ (полная остановка). Таким образом, тормозной путь:

$$S = -\frac{v_0^2}{2a} = -\frac{(20 \text{ м/с})^2}{2 \cdot (-2 \text{ м/с}^2)} = 100 \text{ м}.$$

Время торможения:

$$\tau = -\frac{v_0}{a} = -\frac{20 \text{ м/с}}{-2 \text{ м/с}^2} = 10 \text{ с}.$$

Ответ: 100 10.

Разные половины. Из пункта A в пункт B выехали одновременно два автомобиля. Первый автомобиль первую половину пути ехал со скоростью 60 км/ч , а другую половину пути – со скоростью 90 км/ч . Второй автомобиль первую половину пути ехал со скоростью 40 км/ч , а другую половину пути – 120 км/ч . На сколько минут один автомобиль приехал раньше другого, если весь путь составляет 24 км ? Ответ округлите до целых.

Решение. Найдём средние путевые скорости автомобилей:

$$v_{\text{ср}} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S}{\frac{S}{2v_1} + \frac{S}{2v_2}} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2}.$$

Средняя скорость первого автомобиля:

$$v_{\text{ср1}} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 90}{60 + 90} = 72 \text{ км/ч}.$$

Средняя скорость второго автомобиля:

$$v_{\text{ср2}} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 120}{40 + 120} = 60 \text{ км/ч}.$$

Итак, первый автомобиль приедет раньше на:

$$\Delta t = \frac{S}{v_{\text{ср2}}} - \frac{S}{v_{\text{ср1}}} = \frac{24}{60} - \frac{24}{72} = \frac{1}{15} \text{ ч} = 4 \text{ мин}.$$



Замечание. Обычно, как первый автомобиль, ездят тяжёлые грузовики (сначала по разбитой дороге, затем по автомагистрали), а как второй автомобиль – обычно легковые. В итоге тяжёлый грузовик приедет быстрее легкового автомобиля.

Ответ: 4.

Безопасный обгон. Колонна грузовиков, длина которой $L = 30$ м, движется по трассе со скоростью $V_0 = 90$ км/ч. Её догоняет легковой автомобиль, движущийся со скоростью $V_1 = 108$ км/ч. Оцените минимальное расстояние до встречного автомобиля (в момент начала обгона), который движется со скоростью $V_2 = 108$ км/ч, необходимое для безопасного совершения манёвра.

Условия для безопасного обгона примите следующие:

- Расстояние от обгоняющего автомобиля до колонны в момент начала и завершения обгона $L \geq 10$ м.
- Расстояние от обгоняющего автомобиля до встречного в момент завершения манёвра $s \geq 100$ м.

Скорости автомобилей считайте неизменными. В ответе запишите расстояние от обгоняющего автомобиля до встречного, выразив его в метрах.

Решение. Сначала выразим значения скоростей в единицах м/с:

$$v_{\text{г}} = \frac{90 \text{ км/ч} \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 25 \text{ м/с}, \quad v_{\text{л}} = v_{\text{вст}} = \frac{108 \text{ км/ч} \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 30 \text{ м/с}.$$

Скорость обгоняющего авт/омобиля относительно грузовика:

$$v_{\text{отн}} = v_{\text{л}} - v_{\text{г}} = 30 \text{ м/с} - 25 \text{ м/с} = 5 \text{ м/с}.$$

Зная относительную скорость, найдём длительность обгона τ :

$$\tau = \frac{L + 2l}{v_{\text{отн}}} = \frac{30 \text{ м} + 2 \cdot 10 \text{ м}}{5 \text{ м/с}} = 10 \text{ с}$$

Встречный автомобиль будет приближаться к обгоняющему со скоростью u :

$$u = v_{\text{л}} + v_{\text{вст}} = 30 \text{ м/с} + 30 \text{ м/с} = 60 \text{ м/с}.$$

Зная длительность обгона, найдём необходимое расстояние:

$$S = u \cdot \tau + s = 60 \text{ м/с} \cdot 10 \text{ с} + 100 \text{ м} = 700 \text{ м}.$$

Ответ: 700.

Боковой ветер (вар. 1). Корабль движется на север со скоростью 8 м/с. При этом дует боковой западный ветер со скоростью 6 м/с. Какую скорость ветра измерит матрос, находясь на корабле? Ответ дайте в м/с.

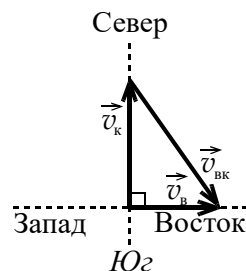
Решение. Пусть $\vec{v}_{\text{в}}$ – скорость ветра, $\vec{v}_{\text{к}}$ – скорость корабля, $\vec{v}_{\text{вк}}$ – скорость ветра относительно корабля. Тогда для скорости ветра относительно корабля:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{\text{в}} &= \vec{v}_{\text{вк}} + \vec{v}_{\text{к}}, \\ \vec{v}_{\text{вк}} &= \vec{v}_{\text{в}} - \vec{v}_{\text{к}}. \end{aligned}$$

Из треугольника векторов (см. рисунок) по теореме Пифагора найдём величину скорости ветра относительно корабля:

$$v_{\text{вк}} = \sqrt{v_{\text{в}}^2 + v_{\text{к}}^2} = \sqrt{(6 \text{ м/с})^2 + (8 \text{ м/с})^2} = 10 \text{ м/с}.$$

Ответ: 10.





Боковой ветер (вар. 2). Собственная скорость лёгкого самолёта – 111 км/ч. Пункт *B* находится в 175 км к востоку от пункта *A*. За какое время самолёт преодолеет расстояние от пункта *A* до пункта *B*, если дует боковой северный ветер со скоростью 36 км/ч? Самолет летит строго на восток. Ответ дайте в минутах.

Решение. Пусть $\vec{v}_в$ – скорость ветра, $\vec{v}_с$ – собственная скорость самолёта $\vec{v}$ – скорость самолёта относительно земли. Тогда

$$\vec{v} = \vec{v}_с + \vec{v}_в$$

Из треугольника векторов по теореме Пифагора найдём скорость самолёта относительно земли:

$$v = \sqrt{v_c^2 - v_v^2} = \sqrt{111^2 - 36^2} = 105 \text{ км/ч}$$

Затем найдём время полёта T :

$$T = \frac{s}{v} = \frac{175}{105} = \frac{5}{3} \text{ час} = 100 \text{ мин.}$$

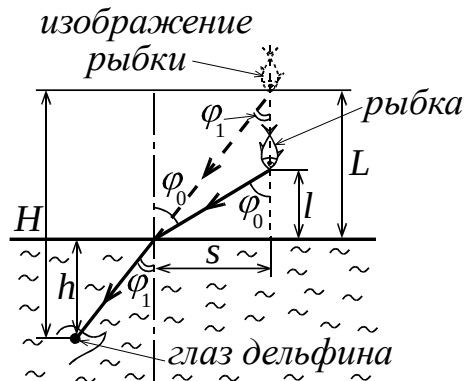
Ответ: 100.



Задачи №2

Дельфин и рыбка. Дельфин, находясь на глубине $h = 1$ м (см. рисунок), наблюдает из-под воды за дрессировщиком, стоящим на краю бассейна. В руке у дрессировщика рыбка. Дельфину кажется, что рыбка находится на высоте 2 м над водой (т.е. $H = 3$ м). На каком расстоянии l от воды держит рыбку дрессировщик? Показатель преломления воды $n = 4/3$. Ответ дайте в метрах (с точностью до десятых)

Указание. Углы наблюдения считать малыми, что означает справедливость соотношения: $\operatorname{tg}(\varphi) = \sin(\varphi) = \varphi$ (где φ представлено в радианах).



Решение. Из-за преломления изображение рыбки будет находиться несколько выше, чем сама рыбка. Пусть луч света, идущий к дельфину от рыбки, падает на поверхность воды под углом φ_0 (см. рисунок), а в воде распространяется под углом φ_1 . Тогда, считая углы малыми, а также используя определение тангенса и закон преломления Снелла, получаем:

$$\begin{cases} \frac{s}{l} = \operatorname{tg} \varphi_0 \\ \frac{s}{L} = \operatorname{tg} \varphi_1 \end{cases} \Rightarrow \frac{L}{l} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_0}{\operatorname{tg} \varphi_1} \approx \frac{\sin \varphi_0}{\sin \varphi_1} = n \Rightarrow \frac{L}{l} = n \Rightarrow l = \frac{L}{n}.$$

Из рисунка видно, что $L = H - h$. Показатель преломления воды $n = \frac{4}{3}$. Таким образом, найдем, на каком расстоянии от воды держит рыбку дрессировщик:

$$l = \frac{H - h}{n} = \frac{3\text{ м} - 1\text{ м}}{4/3} = 1,5\text{ м}.$$

Ответ: 1,5.

Расстояние вытянутого пальца. Путешественник видит вдали состав, состоящий из 4 вагонов. Чтобы определить расстояние L до железной дороги, он вытягивает перед собой руку с поднятым большим пальцем и замечает, что палец закрывает в точности весь состав. Вычислите расстояние L , если известно, что длина секции – 20 м, ширина большого пальца $d = 25$ мм, а расстояние от глаза до большого пальца вытянутой руки $l = 60$ см. Ответ дайте в километрах (с точностью до десятых).

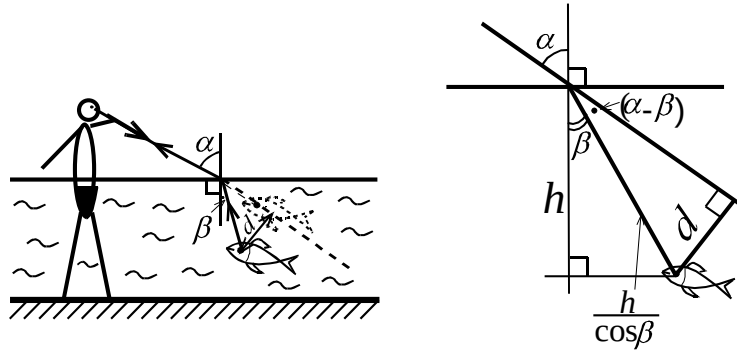
Решение. Пусть $D = 4a = 80$ м. Для рассматриваемого случая мы можем записать пропорцию:

$$\frac{D}{d} = \frac{L}{l}, \text{ откуда } L = \frac{lD}{d} = \frac{0,6\text{ м} \cdot 80\text{ м}}{0,025\text{ м}} = 1\,920\text{ м} \cong 1,9\text{ км}.$$

Ответ: 1,9.



Охота за рыбой. Туземец охотится за рыбой на мелководье с помощью дротика (короткое копье). На каком минимальном расстоянии d от цели пролетит дротик, если туземец, прицелившись точно в рыбу, бросает дротик под углом 60° к поверхности воды, а рыба в это время плавает на глубине $h = 40$ см? Перемещением рыбы во время движения дротика пренебречь. Показатель преломления воды $n = 4/3$. Считать, что дротик движется поступательно и прямолинейно. Ответ дайте в сантиметрах, округлив до целого.



Решение. Из-за преломления изображение рыбки будет находиться несколько выше, чем сама рыбка (см. рисунок). Поэтому туземец, точно прицелившись в изображение рыбки, в саму рыбку не попадёт.

Угол падения: $\alpha = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$.

Угол преломления β найдём по закону преломления Снелла:

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n_{\text{в}}} = 0,375 \Rightarrow \beta = 22^\circ.$$

Далее, находим минимальное расстояние до цели d :

$$d = \frac{h}{\cos \beta} \cdot \sin(\alpha - \beta) = \frac{40}{\cos 22^\circ} \cdot \sin 8^\circ \approx 6 \text{ см}.$$

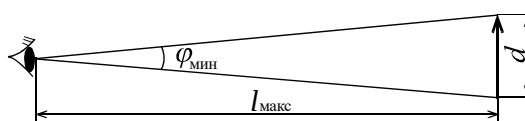
Ответ: 6.

Вид с Останкинской телебашни. Поднявшись на смотровую площадку Останкинской телебашни, человек любуется открывшейся панорамой. Оцените, на каком максимальном расстоянии он сможет различить два отдельно стоящих дома, расстояние между которыми равняется 10 м. Минимальный угловой размер, который может различить человек – 1 угловая минута ($1'$), которая определяется как одна шестидесятая часть градуса ($1' = 1/60^\circ$). Ответ дайте в километрах, округлив до целого.

Примечание: перевод градусной меры угла в радианную осуществляется согласно следующей пропорции:

$$\frac{\alpha [\text{рад}]}{\alpha^\circ} = \frac{\pi}{180^\circ}$$

Решение. Из определения углового размера:



$$\varphi_{\text{мин}} = \frac{d}{l_{\text{макс}}} \Rightarrow l_{\text{макс}} = \frac{d}{\varphi_{\text{мин}}}. \quad (\text{см. рисунок})$$



$$\varphi_{\min} = 1' = \frac{\pi}{60 \cdot 180} \approx 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ рад} \text{ (1 угловая минута – это } 1/60 \text{ градуса)}.$$

Отсюда:

$$l_{\max} = \frac{d}{\varphi_{\min}} \approx \frac{10}{2,9 \cdot 10^{-4}} \approx 34 \text{ км} \text{ («ворота» – } 32 \div 36 \text{ км)}.$$

Итак, максимальное расстояние, на котором человек ещё может различить два отдельно стоящих дома, между которыми 10 м, составляет ≈ 34 км.

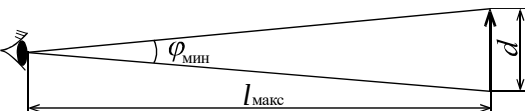
Ответ: 34 («ворота» – $34 \div 34,4$).

Далёкий свет. Расстояние между автомобильными фарами равняется 1,5 м. Оцените, на каком максимальном расстоянии человек ещё сможет воспринимать свет этих фар как свет двух отдельных источников (при большем расстоянии свет двух фар выглядит как свет от одного источника). Минимальный угловой размер, который может различить человек – 1 угловая минута ($1'$), которая определяется как одна шестидесятая часть градуса ($1' = 1/60^\circ$). Ответ дайте в километрах, округлив до целого.

Примечание: перевод градусной меры угла в радианную осуществляется согласно следующей пропорции:

$$\frac{\alpha [\text{рад}]}{\alpha^\circ} = \frac{\pi}{180^\circ}$$

Решение. Чтобы человек ещё мог различать свет фар как свет двух отдельных источников, угловое расстояние (угловой размер) между фарами должно быть не меньше углового разрешения глаза. Тогда:


$$\varphi_{\min} = \frac{d}{l_{\max}} \Rightarrow l_{\max} = \frac{d}{\varphi_{\min}} \text{ (см. рисунок)}.$$

$$\varphi_{\min} = 1' = \frac{\pi}{60 \cdot 180} \approx 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ рад} \text{ (1 угловая минута – это } 1/60 \text{ градуса)}.$$

Отсюда:

$$l_{\max} = \frac{d}{\varphi_{\min}} \approx \frac{1,5}{2,9 \cdot 10^{-4}} \approx 5 \text{ км. («ворота»: } 5 \div 5,2 \text{ км)}$$

Итак, максимальное расстояние, на котором человек ещё сможет воспринимать свет автомобильных фар, как свет двух отдельных источников, составляет ≈ 5 км.

Ответ: 5 («ворота»: $5 \div 5,2$ км).



Задачи №3

Двадцать тысяч лье под водой. На какую предельную глубину может опуститься в море батискаф, стенки которой рассчитаны на давление не более $p = 15 \cdot 10^6$ Па (150 Атм)? Плотность морской воды $\rho = 1030$ кг/м³. Ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с². Давление внутри батискафа атмосферное. Ответ дайте в метрах, округлив до целого.

Решение. Давление на глубине H складывается из гидростатического и атмосферного. Так как давление внутри батискафа атмосферное, то рассматриваем воздействие только гидростатического давления (атмосферное давление действует и с той, и с другой стороны стенки).

$$p = \rho g H$$

$$H = \frac{p}{\rho g} = \frac{15 \cdot 10^6 \text{ Па}}{1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 1486 \text{ м} \quad (\text{«ворота»} - 1450 \div 1500 \text{ м}).$$

Ответ: 1486 («ворота» – 1450÷1500).

Полёт на воздушных шариках. Оцените, какое количество воздушных шариков, наполненных гелием, потребуется, чтобы поднять человека, масса которого со снаряжением – 70 кг? Плотность воздуха $\rho_1 = 1,20$ кг/м³, плотность гелия $\rho_2 = 0,17$ кг/м³, объём одного шарика $V = 30$ л. Масса пустых шариков включена в массу снаряжения. Считать, что давление внутри шариков – атмосферное.

Примечание. При вычислении общего объёма шариков выразите его в м³ с точностью до целого.

Решение. Найдём общий объём V всех шариков, необходимый для подъёма. На шарик с одной стороны действует подъёмная сила Архимеда, с другой – вес человека со снаряжением и сила тяжести гелия в шариках. Условие подъёма:

$$mg + m_{\text{He}}g = F_{\text{Арх}}.$$

Где, m – масса человека со снаряжением, m_{He} – масса гелия в шариках.

Т. к. сила Архимеда $F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{возд}} g V$, то:

$$mg + \rho_{\text{He}} g V = \rho_{\text{возд}} g V$$
$$V = \frac{m}{\rho_{\text{возд}} - \rho_{\text{He}}} = \frac{70 \text{ кг}}{1,20 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 0,17 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \approx 67,96 \text{ м}^3$$

Далее оценим количество шариков N , необходимых для подъёма:

$$N = \frac{V}{V_{\text{ш}}} = \frac{67,96 \text{ м}^3}{0,03 \text{ м}^3} \approx 2265 \text{ шариков} \quad (\text{«ворота»} - 2240 \div 2300 \text{ шариков}).$$

Замечание: так как суммарный объём шариков много больше характерного объёма человека, действием силы Архимеда на человека можно пренебречь.

Ответ: 2265 («ворота» – 2240÷2300).

На белом корабле. При какой минимальной площади льдина толщиной $H = 40$ см сможет удержать над водой человека массой $m = 80$ кг? Плотность льда $\rho_1 = 900$ кг/м³, плотность воды $\rho_2 = 1000$ кг/м³. Ответ дайте в м². Возможностью переворота льдины пренебречь.



Решение. Пусть площадь льдины равна S . Тогда объём льдины равен SH . Условие плавания:

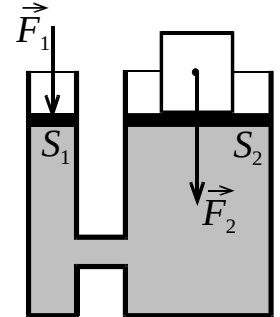
$$mg + SH\rho_{\text{л}}g = SH\rho_{\text{в}}g.$$

Откуда следует:

$$S = \frac{m}{H(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})} = \frac{80 \text{ кг}}{0,4 \text{ м} \left(1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)} = 2 \text{ м}^2.$$

Ответ: 2.

Гидравлический подъёмник. Площадь меньшего поршня гидравлического подъёмника $S_1 = 4 \text{ см}^2$, а большего $S_2 = 100 \text{ см}^2$. Схема гидравлического подъёмника (как, впрочем, схема любого гидравлического усилителя) приведена на рисунке. На меньший поршень давят с силой $F_1 = 2 \text{ кН}$. Каков максимальный вес груза, который удастся поднять подъёмником в этом случае? Ответ дайте в кН.



Решение. Давление во всех точках жидкости в гидравлическом подъёмнике одно и то же. Тогда $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$. Здесь F_2 – сила давления жидкости на

большой поршень, равная весу поднимаемого груза.

$$\text{Итак, } F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1} = 2 \text{ кН} \cdot \frac{100 \text{ см}^2}{4 \text{ см}^2} = 50 \text{ кН}.$$

Обратите внимание, вес – это не масса, вес – это сила! (и вес совсем не обязательно должен быть равен mg)

Ответ: 50.

Грузовая лодка. Площадь дна лодки-плоскодонки $S = 3,9 \text{ м}^2$. Расстояние от воды до верхней кромки ватерлинии незагруженной лодки $h = 20 \text{ см}$. Оцените максимальную массу груза, которую можно перевести на этой лодке, если его сопровождают два человека, каждый массой $m = 90 \text{ кг}$. Стенки лодки считать вертикальными. Плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Ответ дайте в килограммах.

Решение. На лодку с одной стороны действует сила Архимеда, с другой сила – тяжести груза и людей, его сопровождающих. Условие безопасного плавания запишется так:

$$m_{\text{г}}g + 2m_{\text{ч}}g = \rho_{\text{в}}gSh.$$

Откуда находим максимальную массу перевозимого груза $m_{\text{г}}$:

$$m_{\text{г}} = \rho_{\text{в}}Sh - 2m_{\text{ч}} = 600 \text{ кг}.$$

Ответ: 600.



Задачи №4

Цена тепла (вар. 1). Электрический нагреватель потребляет ток силой $I = 6,82$ А от сети с напряжением $U = 220$ В. Какова цена эксплуатации нагревателя в течение месяца (30 суток), если нагреватель ежедневно включать на $T = 2$ часа, а тариф составляет 5 руб./(кВт·ч)? Ответ дайте в рублях, округлив до целых.

Решение. Потребляемая мощность:

$$P = U \cdot I = 220 \text{ В} \cdot 6,82 \text{ А} = 1500,4 \text{ Вт} \approx 1,5 \text{ кВт.}$$

Расход электроэнергии за месяц:

$$\begin{aligned} A &= 30 \cdot P \cdot T = 30 \text{ суток} \cdot 1500,4 \text{ Вт} \cdot 2 \text{ часа} \cdot 3600 \text{ с} = 90,024 \cdot 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}, \\ 1 \text{ кВт} \cdot \text{час} &= 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}, \\ 90,024 \cdot 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж} &= 90,024 \text{ кВт} \cdot \text{час}. \end{aligned}$$

К оплате:

$$90,024 \cdot 5 = 450,12 \text{ руб.} \approx 450 \text{ руб.} \quad (\text{«ворота»} - 440 \div 460 \text{ руб.}).$$

Ответ: 450 («ворота» – 440÷460).

Цена тепла (вар. 2). В квартире установили тёплый пол площадью $S = 10 \text{ м}^2$. Потребляемая мощность пола по паспорту составляет $P = 150 \text{ Вт/м}^2$. Сколько придётся заплатить за пользование тёплым полом в течение месяца (30 суток), если за сутки терморегулятор в общей сложности включает тёплый пол на $T = 4$ часа, а тариф составляет 5 руб./(кВт·час)? Ответ дайте в рублях, округлив до целого.

Решение. Полная мощность P_0 , потребляемая всем тёплым полом:

$$P_0 = P \cdot S = 150 \text{ Вт/м}^2 \cdot 10 \text{ м}^2 = 1500 \text{ Вт.}$$

Расход электроэнергии за месяц:

$$A = 30 \cdot P_0 \cdot T = 30 \text{ суток} \cdot 1500 \text{ Вт} \cdot 4 \text{ часа} = 180 \text{ кВт} \cdot \text{час.}$$

К оплате:

$$180 (\text{кВт} \cdot \text{час}) \cdot 5 \text{ руб./}(\text{кВт} \cdot \text{час}) = 900 \text{ руб.}$$

Ответ: 900.

Водяное охлаждение. В легендарном пулемёте «Максим» (известном многим по кинофильму «Чапаев») используется водяное охлаждение ствола. Для этого ствол помещается в кожух, в который заливается вода. Ёмкость кожуха с водой – 4 литра. Масса пороха в патроне – 3,1 грамма. Скорострельность пулемёта (количество выстрелов в минуту при непрерывной стрельбе) – 600 выстр./мин. Оцените, через сколько секунд непрерывной стрельбы вода в кожухе закипит, если на нагревание воды идёт 20% теплоты сгоревшего пороха, а начальная температура воды – 20°C.

Температура кипения воды $t = 100^\circ\text{C}$. Плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Удельная теплоёмкость воды $c = 4200 \text{ Дж/(кг}^\circ\text{C)}$. Удельная теплота сгорания пороха $q = 3,8 \text{ МДж/кг}$. Ответ округлите до целых. Считать, что вода обменивается теплом только со стволом пулемёта.

Решение. Источником тепла в данном случае является энергия (теплота) сгоревшего пороха. Получатель тепла – нагреваемая вода. При сгорании пороха массой $m_{\text{п}}$ выделяется энергия (теплота) $Q = qm_{\text{п}}$, где q – удельная теплота сгорания пороха. По условию задачи $\eta = 20\%$ этой



энергии идёт на нагревание воды в кожухе ствола. Пусть V – объём воды в кожухе, $t_{\text{кип}}$ и t_0 – температура кипения и начальная температура воды соответственно, N – скорострельность пулемёта (выстр./мин), τ – время закипания воды. Тогда уравнение теплового баланса:

$$\frac{\eta}{100\%} q m_{\text{п}} \frac{N}{60} \tau = c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} V (t_{\text{кип}} - t_0).$$

Отсюда находим:

$$\tau = \frac{c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} V (t_{\text{кип}} - t_0) \cdot 60}{\eta q m_{\text{п}} N} \cdot 100\% = \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,004 \text{ м}^3 \cdot (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \cdot 60 \text{ с}}{20\% \cdot 3,8 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,0031 \text{ кг} \cdot 600 \text{ выстр./мин.}} \cdot 100\% \approx 57 \text{ с}.$$

Итак, вода в кожухе ствола закипит примерно через 57 секунд непрерывной стрельбы («ворота» – $56 \div 58$ с).

Ответ: 57 («ворота» – $56 \div 58$).

Персональная котельная. На собрании ТСЖ многоквартирного дома жители приняли решение о приобретении индивидуальной газовой котельной для теплоснабжения дома. Оцените необходимую мощность этой котельной в мегаваттах (МВт), а также суточное потребление газа в тыс. кубометров (тыс. м³).

При этом на отопление 1 м² в среднем требуется $w = 50$ Вт/м²; отапливаемая площадь дома – 25 тыс. м²; КПД котельной с учётом потерь в тепловых магистралях – 85%; удельная теплота сгорания газа на единицу объёма $q = 35$ МДж/м³ (объём газа измеряется при нормальных условиях $p = 100$ кПа, $t = 0$ °С). Кроме этого, для горячего водоснабжения дома потребуется дополнительно около $P = 0,2$ МВт тепловой мощности.

В ответе запишите вначале мощность котельной в мегаваттах с точностью до десятых, а затем, через пробел – суточное потребление газа в тыс. кубометров, округлив до десятых.

Решение. Итак, для начала рассчитаем мощность требуемую для отопления $P_{\text{отоп}}$:

$$\begin{aligned} \eta P_{\text{отоп}} &= S w \Rightarrow \\ \Rightarrow P_{\text{отоп}} &= \frac{S w}{\eta} = \frac{25 \cdot 10^3 \text{ м}^2 \cdot 50 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}}{0,85} \approx 1,5 \text{ МВт}, \end{aligned}$$

где S – отапливаемая площадь дома, w – расход тепла в секунду на отопление 1 м² ($w = 50 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$),

$\eta = \frac{\text{КПД}}{100\%} = 0,85$ – доля тепла, которая идёт на отопление.

Далее находим необходимую тепловую мощность котельной, которая складывается из затрат на отопление и затрат на горячее водоснабжение:

$$P = P_{\text{отоп}} + P_{\text{ГВС}} = 1,5 + 0,2 = 1,7 \text{ МВт («ворота»: } 1,6 \div 1,7 \text{)}.$$

Составляя уравнение теплового баланса, находим суточное потребление газа V :

$$\begin{aligned} qV &= P \cdot 24 \text{ ч} \cdot 3600 \text{ с} \Rightarrow \\ \Rightarrow V &= \frac{P \cdot 24 \text{ ч} \cdot 3600 \text{ с}}{q} = \frac{1,7 \cdot 10^6 \text{ Вт} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 3600 \text{ с}}{35 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}} \approx 4200 \text{ м}^3 = 4,2 \text{ тыс. м}^3 \text{ («ворота»: } 4 \div 4,3 \text{)} \end{aligned}$$

Ответ: 1,7 4 («ворота»: $1,6 \div 1,7$; $4 \div 4,3$).



Горячая вода. Во время отключения горячего водоснабжения (на период летних профилактических работ) в квартире решили использовать электрический водонагреватель проточного типа мощностью $N = 6$ кВт. Температура воды на входе водонагревателя – 20°C . До какой температуры нагреется вода на выходе водонагревателя при расходе 5 л/мин (расход – количество воды, проходящее через водонагреватель в единицу времени)? Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³. Удельная теплоёмкость воды $c = 4200$ Дж/(кг $^\circ\text{C}$). Ответ дайте в $^\circ\text{C}$ с точностью до целого.

Решение. Нагреватель мощностью N за время $\tau=60$ с отдаст воде количество теплоты $Q_{\text{отд}}=N\cdot\tau$. Вода с расходом v , проходя через водонагреватель, нагреваясь от температуры t_0 до температуры t_k , получает количество теплоты $Q_{\text{пол}}=c_v\rho_v V(t_k - t_0)$, где $V=v\tau$ – объём воды, который протёк за 1 минуту. Уравнение теплового баланса:

$$N\cdot\tau = c_v\rho_v V(t_k - t_0).$$

Отсюда получаем температуру воды на выходе водонагревателя:

$$t_k = \frac{N\cdot\tau}{c_v\rho_v V} + t_0 \approx 37^\circ\text{C} . \text{ («ворота»: } 37\div 37,14)$$

Ответ: 37. («ворота»: $37\div 37,14$)



Задачи №5

Сомнительная экономия (вар. 1). Некоторые водители для экономии бензина во время езды в дневное время не включают фары и габаритные огни. Оцените, сколько бензина на 100 км пути (в литрах) расходуется на свет фар вместе с габаритными огнями при езде со скоростью 50 км/ч.

Потребляемая мощность фар – 2х50 Вт, габаритных огней – 50 Вт. КПД преобразования теплоты сгорания топлива в электроэнергию равен 20%. Удельная теплота сгорания бензина $q = 46$ МДж/кг, плотность бензина $\rho = 700$ кг/м³. Ответ округлите до сотых.

Решение. Потребителем энергии в данном случае является энергопотребление фар и габаритных огней автомобиля:

$$E = P \cdot \tau = P \cdot \frac{s}{v}.$$

Источником энергии является теплота сгоревшего топлива, которая посредством теплового двигателя и генератора с КПД 20% ($\eta = 0,2$) преобразуется в электроэнергию:

$$Q = \eta q m = \eta q \rho V.$$

Составляем уравнение энергетического баланса:

$$P \cdot \frac{s}{v} = \eta q \rho V.$$

По условию задачи $P = 150$ Вт, $s = 100$ км = $1 \cdot 10^5$ м, $v = 50$ км/ч $\approx 13,9$ м/с, $q = 46 \cdot 10^6$ Дж/кг, $\rho = 700$ кг/м³, V – расход топлива.

Таким образом,

$$V = \frac{Ps}{v\eta q \rho}$$

$$V = \frac{150 \text{ Вт} \cdot 1 \cdot 10^5 \text{ м}}{13,9 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 0,2 \cdot 46 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \approx 0,17 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 0,17 \text{ л} \text{ («ворота» – } 0,16 \div 0,17 \text{ л)}.$$

Другими словами, при езде со скоростью 50 км/ч отключение фар и габаритных огней экономит примерно 0,2 л бензина на 100 км пути (а по трассе, когда скорость ≈ 100 км/ч, ещё меньше). Весьма сомнительная экономия, особенно если учесть размеры штрафов и угрозу безопасности – как личной, так и окружающих.

Ответ: 0,17 («ворота» – 0,16÷0,17).

Сомнительная экономия (вар. 2). В интернете предлагают прибор "экономайзер", который за счёт оптимизации энергопотребления бортовой электросети автомобиля уменьшает расход топлива. При этом утверждается, что при движении по городу общая экономия бензина составляет от 30 % до 50 %. Так ли это на самом деле? Попробуйте оценить самостоятельно, какую максимально возможную экономию бензина можно достичь с помощью такого прибора при движении по городу.

Потребляемая мощность электросети автомобиля – 500 Вт. КПД преобразования теплоты сгорания топлива в электроэнергию – 30%. Средняя скорость движения по городу – 25 км/ч, а расход бензина – 15 л на 100 км. Удельная теплота сгорания бензина $q = 46$ МДж/кг, а его плотность $\rho = 700$ кг/м³. Ответ дайте в процентах по отношению к указанному расходу и округлите до целого.

Указание. Для оценки сверху возьмите энергопотребление всей бортовой электросети автомобиля.



Решение. В качестве оценки сверху количества сэкономленного топлива возьмём расход бензина на работу всей электросети.

Потребителем энергии в данном случае является электрооборудование автомобиля:

$$A = P \cdot \tau = P \cdot \frac{s}{v}.$$

Источником энергии является теплота сгоревшего топлива, которая посредством теплового двигателя и генератора преобразуется в электроэнергию с КПД 30% ($\eta = 0,3$):

$$Q = \eta q m = \eta q \rho V.$$

Составляем уравнение энергетического баланса:

$$P \cdot \frac{s}{v} = \eta q \rho V.$$

По условию задачи $P = 500$ Вт, $s = 100$ км $= 10^5$ м, $v = 25$ км/ч ≈ 7 м/с, $q = 46 \cdot 10^6$ Дж/кг, $\rho = 700$ кг/м³, V – расход топлива (в литрах).

Таким образом,

$$V = \frac{Ps}{v\eta q\rho} \Rightarrow \\ \Rightarrow V = \frac{500 \text{ Вт} \cdot 10^5 \text{ м}}{7 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 0,3 \cdot 46 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \approx 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 0,7 \text{ л},$$

что составляет:

$$\frac{0,7 \text{ л}}{15 \text{ л}} \cdot 100\% \approx 5\%.$$

от расхода топлива на 100 км езды по городу.

Итак, даже в случае полного отключения питания электрооборудования автомобиля при езде по городу (один из наиболее расходных режимов) можно сэкономить никак не более 0,7 л бензина на 100 км или 5%. Реальная экономия, конечно, будет значительно меньше, особенно при езде по трассе. Так что «игра не стоит свеч». Как видим, это предложение об экономайзере оказалось очередной рекламной уткой.

Ответ: 5.

Бюджет грозы. Во время грозы между облаками и землей создается электрическое напряжение, равное $U = 2 \cdot 10^8$ В. При ударе молнии средняя сила тока в ней $I = 5 \cdot 10^4$ А. Продолжительность разряда $\tau = 2 \cdot 10^{-3}$ с. На какое время t хватило бы выделившейся энергии молнии для электроснабжения дома при средней мощности энергопотребления $P = 2$ кВт? Посчитайте в месяцах (30 суток), округлив до целого. Какова «цена» молнии при тарифе 5 руб./(кВт·ч)? Результат выразите в тыс. руб, округлив до целого.

В ответе запишите сначала количество месяцев, а затем, через пробел – «цену» молнии.

Решение. Количество энергии, выделяющейся при ударе молнии:

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

Этой энергии хватит для электроснабжения дома в течении времени:

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

Таким образом, выделившейся при ударе молнии энергии хватило бы почти на 4 месяца электроснабжения небольшого дома.



«Цена» молнии:

$$\frac{UI\tau}{1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с}} \cdot 5 \frac{\text{руб}}{(\text{кВт} \cdot \text{ч})} = \frac{2 \cdot 10^8 \text{ В} \cdot 5 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}}{1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с}} \cdot 5 \frac{\text{руб}}{(\text{кВт} \cdot \text{ч})} \approx 28 \text{ тыс. руб.}$$

Ответ: 4 28.

Рекламная иллюминация. Для расчёта системы рекламной иллюминации потребовалось найти нагрузочные сопротивления двух видов гирлянд. Нужный прибор оказался неисправен, но выяснилось, что при последовательном соединении этих гирлянд ток в цепи составляет $I_1 = 3$ А при напряжении на концах цепи $U = 120$ В. При их параллельном соединении суммарный ток в цепи оказался равен $I_2 = 16$ А при том же напряжении, подаваемом на цепь. Найдите по этим данным сопротивление каждой из гирлянд. В ответ запишите сопротивления в Ом в порядке возрастания через пробел.

Решение. Пусть R_1 и R_2 – сопротивления гирлянд. Тогда при их последовательном соединении:

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2}.$$

При параллельном соединении:

$$I_2 = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Зная токи и напряжение, получаем систему:

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = \frac{U}{I_1} \\ \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U}{I_2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 + R_2 = \frac{120 \text{ В}}{3 \text{ А}} \\ \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{120 \text{ В}}{16 \text{ А}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 + R_2 = 40 \text{ Ом} \\ \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 7,5 \text{ Ом} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 + R_2 = 40 \\ R_1 R_2 = 300 \end{cases}.$$

Из получившейся системы составляем квадратное уравнение (теорема Виета):

$$R^2 - 40R + 300 = 0.$$

Решая получившееся квадратное уравнение, находим R_1 и R_2 :

$$\begin{cases} R_1 = 10 \text{ Ом} \\ R_2 = 30 \text{ Ом} \end{cases}.$$

Ответ: 10 30.

Сварочный аппарат. Сварочный аппарат в простейшем случае представляет собой понижающий трансформатор, где первичная обмотка (вход) подключается к питающей электросети (обычно $\sim 220/380$), а со вторичной обмотки (выход) подаётся ток к месту сварки. Напряжение на выводах вторичной обмотки (выходных клеммах) сварочного аппарата во время холостого хода (без нагрузки) составляет $U_0 = 50$ В. Внутреннее (выходное) сопротивление аппарата $r = 0,06$ Ом. Ток к месту сварки, удалённому от сварочного аппарата на расстояние $L = 50$ м, поступает по медному двухжильному кабелю с сечением каждой жилы $S = 85 \text{ мм}^2$. Какова мощность сварочной дуги при токе в цепи $I = 125$ А? Удельное сопротивление меди $\rho = 0,017 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Ответ дайте в киловаттах (кВт).



Решение. Сопротивление подводящего кабеля с учётом того, что используются два провода:

$$R = 2 \rho_{\text{cu}} \frac{l}{S}.$$

Напряжение дуги:

$$U = U_0 - I(R + r) = U_0 - I(r + 2 \rho_{\text{cu}} \frac{l}{S})$$

Мощность сварочной дуги:

$$P = U \cdot I = I(U_0 - I(r + 2 \rho_{\text{cu}} \frac{l}{S})) = 5 \text{ кВт}.$$

Ответ: 5.