

**Первый (заочный) онлайн-этап научно-образовательного соревнования
Олимпиады школьников «Шаг в будущее» по профилю «Инженерное дело» специализации
«Техника и технологии» и «Профессор Жуковский»
(общеобразовательный предмет физика), осень 2018 г.**

8 класс

Вариант 1

1. Во время двадцатиминутной пробежки человек потратил 161 ккал. Сколько граммов воды испарилось без нагрева с поверхности человека для отвода выделившегося тепла, если в тепловую энергию перешло 40% потраченных калорий? Удельную теплоту парообразования считать равной $2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг, 1 кал = 4,2 Дж.
2. В сосуде смешаны 50 граммов воды и 50 граммов спирта при температуре 78°C . Какая температура установится в сосуде, если весь спирт испарится? Удельная теплота парообразования спирта $0,9 \cdot 10^6$, удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/кг $\cdot^\circ\text{C}$.
3. Раскалённый стальной куб, ребро которого равно 10 см, положили на ледяную поверхность толщиной 10 см при температуре 0°C . Какую минимальную температуру имел куб, если он проплавил ледяную поверхность насквозь? Расходами энергии на нагрев талой воды пренебречь. Плотность стали 7800 кг/м³, удельная теплоёмкость стали 500 Дж/кг $\cdot^\circ\text{C}$, плотность льда 900 кг/м³, удельная теплота плавления льда $0,33 \cdot 10^6$ Дж/кг.
4. Тепло от процессоров современных компьютеров отводят с помощью систем из радиаторов и вентиляторов. Вентилятор системы охлаждения прогоняет 1 литр воздуха через алюминиевые пластины радиатора шириной 10 см со скоростью 2 м/с. Какую максимальную тепловую мощность можно отводить от процессора, используя такую систему охлаждения, если температура воздуха после контакта с пластинами радиатора увеличилась на 10°C ? Считать, что теплотери радиатора зависят только от теплообмена с воздухом. Удельная теплоёмкость воздуха 29 Дж/моль $\cdot^\circ\text{C}$, молярная масса 29 г/моль, плотность воздуха 1 кг/м³.
5. Одним из способов отвода тепла от современных вычислительных комплексов высокой мощности является система охлаждения с циркулирующей жидкостью. В такой системе тепло вычислителя рассеивается на металлический радиатор, в котором сделаны микроканалы для прохождения жидкости, которая затем охлаждается в другом месте цепи до температуры среды. Какова максимальная отводимая от вычислителя тепловая мощность, если после прохождения микроканалов общей длиной 5 см и объёмом 1 мл вода нагревается на 10°C ? Скорость потока 25 см/с, удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/кг $\cdot^\circ\text{C}$, плотность воды 1000 кг/м³.

6. Промышленный пылесос мощностью 1000 Вт пропускает через себя 60 литров воздуха в секунду, причём охлаждение его двигателя происходит только за счёт теплообмена с всасываемым воздухом, который затем выбрасывается во внешнюю среду через фильтры. На сколько градусов Цельсия температура выбрасываемого потока воздуха больше температуры окружающей среды, если только 40% потребляемой мощности пылесоса идёт на совершение работы, а остальная часть преобразуется в тепловую энергию? Удельная теплоёмкость воздуха 1000 Дж/кг·°С, плотность воздуха 1 кг/м³.
7. Тепловой двигатель имеет КПД 50%, при этом температура его нагревателя 800 К, а температура холодильника 200 К. Если бы этот двигатель был идеальным, то совершённой им за 4 цикла работы A хватило бы на подъём груза массой 50 кг на высоту 3 м. Какую работу совершает неидеальный тепловой двигатель за один цикл?
8. Работа, совершаемая идеальным тепловым двигателем с КПД 75%, идёт на поднятие кабины лифта с пассажирами. Во сколько раз увеличится грузоподъёмность механизма, если уменьшить количество отдаваемой холодильнику двигателя теплоты Q_x в два раза?
9. Во сколько раз дальше проедет тепловоз с идеальным тепловым двигателем (температура нагревателя $T_n = 1000$ К, температура холодильника $T_x = 200$ К), чем тепловоз той же массы с обычным тепловым двигателем с КПД 40%, если оба тепловоза израсходовали одинаковое количество угля? Силу сопротивления считать постоянной и пропорциональной весу тепловоза.

Решение варианта 1

1. Решение:

Доля энергии η , перешедшей в тепловую, будет равна:

$$\eta = \frac{r_{\text{в}} m_{\text{в}}}{Q},$$

где Q – затраченная энергия (в джоулях), $r_{\text{в}}$ – удельная теплота парообразования воды, $m_{\text{в}}$ – масса испарившейся воды. Тогда:

$$m_{\text{в}} = \frac{\eta Q}{r_{\text{в}}} = 6,67 \text{ г}$$

Ответ: 6,67 г

2. Решение:

При испарении спирта (в отсутствие внешних нагревателей) у смеси будет отобрана тепловая энергия:

$$m_{\text{в}} c_{\text{в}} \Delta t = r_{\text{сп}} m_{\text{сп}}$$

где $m_{\text{в}}$ – масса воды в смеси, $c_{\text{в}}$ – удельная теплоёмкость воды, $\Delta t = (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}})$ – изменение температуры воды, $r_{\text{сп}}$ – удельная теплота парообразования спирта, $m_{\text{сп}}$ – масса спирта в смеси.

Тогда:

$$t_{\text{кон}} = \frac{m_{\text{в}} c_{\text{в}} t_{\text{нач}} - r_{\text{сп}} m_{\text{сп}}}{m_{\text{в}} c_{\text{в}}} = t_{\text{нач}} - \frac{r_{\text{сп}} m_{\text{сп}}}{m_{\text{в}} c_{\text{в}}} = 21,4^{\circ}\text{C}$$

Ответ: 21,4°C

3. Решение:

Температура стального куба будет минимальной, когда при полном растапливании льда, находящегося строго под ним, наступит тепловое равновесие при 0°C. В таком случае, уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$c_{\text{ст}} m_{\text{к}} \Delta t = \lambda_{\text{л}} m_{\text{л}},$$

где $c_{\text{ст}}$ – удельная теплоёмкость стали, $m_{\text{к}}$ – масса стального куба, $\Delta t = (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}})$ – изменение его температуры, $\lambda_{\text{л}}$ – удельная теплота плавления льда, $m_{\text{л}}$ – масса расплавленного льда. С учётом габаритов куба и плотностей материалов:

$$c_{\text{ст}} \rho_{\text{ст}} a^3 \Delta t = \lambda_{\text{л}} \rho_{\text{л}} a^3$$

$$\Delta t = \frac{\lambda_{\text{л}} \rho_{\text{л}}}{c_{\text{ст}} \rho_{\text{ст}}} = 76^{\circ}\text{C} = t_{\text{нач}}, \text{ т. к. } t_{\text{кон}} = 0^{\circ}\text{C}$$

Ответ: 76°C

4. Решение:

Выразим время, в течение которого $V = 1$ л воздуха взаимодействует с радиатором:

$$\tau = \frac{d}{v},$$

где d – ширина радиатора, а v – скорость потока воздуха. При максимальной тепловой мощности процессора всё выделенное им за время τ количество теплоты Q будет отведено воздухом посредством теплообмена:

$$cm\Delta t = P\tau$$

Тогда (с учётом перевода удельной теплоёмкости $c = 1000$ Дж/кг·°С):

$$P = \frac{cm\Delta t}{\tau} = \frac{cmv\Delta t}{d} = \frac{c\rho Vv\Delta t}{d} = 200 \text{ Вт.}$$

Ответ: 200 Вт

5. Решение:

Выразим время, в течение которого объём воды $V = 1$ мл взаимодействует с радиатором в микроканалах:

$$\tau = \frac{l}{v},$$

где l – длина микроканалов, а v – скорость потока воды. При максимальной тепловой мощности вычислителя всё выделенное им за время τ количество теплоты Q будет отведено водой посредством теплообмена:

$$cm\Delta t = P\tau$$

Тогда:

$$P = \frac{cm\Delta t}{\tau} = \frac{c\rho Vv\Delta t}{l} = 210 \text{ Вт.}$$

Ответ: 210 Вт

6. Решение:

В течение одной секунды двигатель пылесоса выделяет тепловую энергию

$$P\tau(1 - \eta) = 600 \text{ Вт } (\tau = 1 \text{ с}),$$

которая отводится от него теплообменом с воздухом объёмом 60 литров.

$$P\tau(1 - \eta) = cm\Delta t = c\rho V\Delta t$$

Отсюда выразим Δt :

$$\Delta t = \frac{P\tau(1 - \eta)}{c\rho V} = 10 \text{ °С}$$

Ответ: 10 °С

7. Решение:

Выразим КПД идеального двигателя:

$$\eta_{\text{ид}} = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{н}}} = \frac{A_{\text{ид}}}{Q_{\text{з}}},$$

где $A_{\text{ид}}$ – работа, совершаемая идеальным двигателем за один цикл, $Q_{\text{з}}$ – затраченная энергия (одинаковая для обоих двигателей). При этом работа, необходимая для поднятия груза на высоту 3 м:

$$mgh = 4A_{\text{ид}}$$

Тогда выражение для работы неидеального двигателя примет вид:

$$A_{\text{неид}} = \eta_{\text{неид}} Q_{\text{з}} = \eta_{\text{неид}} \frac{A_{\text{ид}}}{\eta_{\text{ид}}} = \frac{\eta_{\text{неид}} mgh}{4\eta_{\text{ид}}} = 250 \text{ Дж.}$$

Ответ: 250 Дж

8. Решение:

Выразим $Q_{\text{х}}$ из КПД идеального теплового двигателя:

$$\eta_1 = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}}{Q_{\text{н}}}; \quad Q_{\text{х}} = Q_{\text{н}}(1 - \eta_1),$$

где $Q_{\text{н}}$ – количество теплоты, выделяемое нагревателем. Тогда КПД двигателя после уменьшения $Q_{\text{х}}$ в два раза выразится как:

$$\eta_2 = \frac{Q_{\text{н}} - \frac{1}{2}Q_{\text{х}}}{Q_{\text{н}}} = \frac{Q_{\text{н}} - \frac{1}{2}Q_{\text{н}}(1 - \eta_1)}{Q_{\text{н}}} = 0,5 + 0,5\eta_1$$

Ответ: 1,167

9. Решение:

Сравним силы тяги, развиваемой двигателем, до и после его преобразования с помощью изменения полезной работы (поднятия кабины лифта на одну и ту же высоту), совершаемой двигателем:

$$A_2 = F_2 S; \quad A_1 = F_1 S$$
$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\eta_2 Q_{\text{затр}}}{\eta_1 Q_{\text{затр}}} = \frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{0,5 + 0,5\eta_1}{\eta_1} = 1,167$$

Работа, произведённая двигателями обоих тепловозов, будет равна работе сил сопротивления, которые пропорциональны весу тепловозов (а вес в данном случае будет совпадать по значению с силой тяжести):

$$A_1 = \eta_1 Q_{\text{з}} = F_{\text{сопр}} S_1 = \mu P S_2 = \mu m g S_1,$$

$$A_2 = \eta_2 Q_{\text{з}} = F_{\text{сопр}} S_2 = \mu P S_2 = \mu m g S_2,$$

где S – путь, пройденный тепловозом, Q_3 – количество теплоты, выделившееся при сгорании угля. Сравним пройденные тепловозами пути:

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{\eta_2 Q_3}{\eta_1 Q_3} = \frac{T_H - T_X}{T_H} = 2$$

Ответ: 2