

2.39. Какую работу надо выполнить для того, чтобы расплавить трением друг о друга два куска льда массой по 5 г каждый? Температура льда 273 К.

2.40. Два шара массами 400 г и 200 г двигаются навстречу друг другу со скоростями 3 м/с и 12 м/с. Определите количество теплоты, выделяющееся при абсолютно неупругом столкновении этих шаров.

2.3. Тепловые двигатели.

Коэффициент полезного действия

Пример 2.5. Определите какую массу m_1 условного топлива надо сжечь для того, чтобы вывести на круговую орбиту вблизи поверхности Земли спутник массой $m_2 = 10^4$ кг, если учесть, что все количество теплоты превращается в механическую энергию спутника. Радиус Земли равен $6,4 \cdot 10^6$ м, удельная теплота сгорания условного топлива $q = 43,1$ МДж/кг.

Дано: $m_2 = 10^4$ кг, $R = 6,4 \cdot 10^6$ м, $q = 43,1$ МДж/кг,

$$\frac{g = 9,8 \text{ м/с}^2}{m_1 = ?}$$

Решение: Согласно закону сохранения энергии количество теплоты Q , которое выделяется при сжигании газа, идет на сообщение спутнику на орбите кинетической энергии $Q = E_k$, где

$$Q = m_1 q, \quad E_k = \frac{m_2 v^2}{2}.$$

Таким образом,

$$m_1 q = \frac{m_2 v^2}{2}. \quad (1)$$

Двигаясь со скоростью v по круговой орбите вокруг Земли,

спутник обладает центростремительным ускорением $a_u = \frac{v^2}{R}$. Это

ускорение сообщается спутнику силой притяжения к Земле

$$F_{\text{тяг}} = G \frac{m_2 M}{R^2}, \text{ где } G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2 \text{ — гравитационная}$$

постоянная, M — масса Земли, R — радиус орбиты, который согласно условию задачи равен радиусу Земли.

Согласно второму закону Ньютона

$$m_2 \frac{v^2}{R} = G \frac{m_2 M}{R^2} \text{ или } v^2 = G \frac{M}{R}.$$

Ускорение свободного падения $g = G \frac{M}{R^2}$. С учетом этого

$$v^2 = \frac{gR^2}{R} = gR.$$

После подстановки в формулу (1) получим:

$$m_1 q = \frac{m_2 g R}{2}.$$

$$\text{Откуда } m_1 = \frac{m_2 g R}{2q}.$$

$$\text{Числовое значение: } m_1 = \frac{10^3 \cdot 9,8 \cdot 6,4 \cdot 10^6}{2 \cdot 4,31 \cdot 10^7} = 728 \text{ (кг)}.$$

Пример 2.6. Паровой двигатель мощностью 14,7 кВт потребляет за 1 ч работы 8,1 кг угля марки А-II. Температура котла 473 К, а холодильника 331 К. Определите фактический КПД машины и сравните его с КПД идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, при тех же температурах нагревателя и холодильника.

$$\text{Дано: } N = 1,47 \cdot 10^4 \text{ Вт, } t = 3600 \text{ с, } m = 8,1 \text{ кг}$$

$$T_1 = 473 \text{ К, } T_2 = 331 \text{ К}$$

$$\eta_1 = ? \quad \eta_2 = ?$$

Решение: Коэффициент полезного действия теплового двигателя

$$\eta_1 = A/Q_1, \text{ где } A = Nt \text{ — механическая работа, выполняемая}$$

двигателем, $\dot{Q}_1 = qm$ — количество теплоты, выделенное при сгорании топлива. Поэтому $\eta_1 = Nt/qm$. КПД идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно:

$$\eta_2 = \eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Числовые значения: $\eta_1 = \frac{1,47 \cdot 10^4 \cdot 3600}{30,3 \cdot 10^6 \cdot 8,1} = 0,22,$

или $\eta_1 = 22\%$; $\eta_2 = \frac{473 - 331}{473} = 0,30$, или $\eta_2 = 30\%$.

Таким образом, $\eta_2/\eta_1 = 1,36$.

2.41. Определите среднюю мощность двигателя мотоцикла, который при скорости 108 км/ч потребляет 3,7 л бензина на 100 км пути. КПД двигателя 25%.

2.42. Сколько пороха сгорает при выстреле из карабина, если пуля массой 10 г при вылете из дула имеет скорость 700 м/с? КПД карабина 30%.

2.43. Двигатель реактивного самолета с КПД 20% при скорости полета 1800 км/ч развивает силу тяги 88 кН. Определите расход керосина за 1 ч полета.

2.44. При нагревании 300 г воды от 18 °С до 68 °С в сосуде с теплоемкостью 42 Дж/К в спиртовке сожжено 7 г спирта. Определите КПД спиртовки.

2.45. Сколько бензина потребляет двигатель автобуса за 2,5 ч работы при средней мощности 70 кВт и КПД равном 23%.

2.46. Мощность ГЭС 4,5 ГВт. Какое количество угля марки А-1 надо было бы сжигать за сутки в топках котлов тепловой электростанции такой же мощности при КПД турбинной установки 25%.

2.47. На электроплитке мощностью 1 кВт и КПД 47% растопили 0,8 кг льда с начальной температурой -20 °С. Полученную воду довели до кипения и 25% превратили в пар. Определите время нагревания.

2.48. На сколько километров пути хватит 40 л бензина для двигателя мотоцикла, который при скорости 54 км/ч развивает мощность 8,5 кВт? КПД двигателя 21%.

2.49. Сколько кокса надо сжечь для выплавки 5 т серого чугуна, если КПД плавильной печи 15%, а начальная температура чугуна 20 °С?

2.50. Дистиллятор с КПД 35%, в котором находится 30 л воды при температуре 12 °С, потребляет 3,5 м³ природного газа. Определите количество дистиллированной воды, полученной в дистилляторе.

2.51. Тепловой двигатель, работающий по циклу Карно, 70% теплоты, полученной от нагревателя, отдает холодильнику. Температура нагревателя 430 К. Определите температуру холодильника.

2.52. Температура пара, поступающего в турбину, 723 К, а температура пара в конденсаторе 303 К. Определите максимальный КПД паровой турбины.

2.53. Температура смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания в момент ее воспламенения 1000 К. Температура отработанных газов 373 К. Двигатель потребляет 36 кг бензина в час. Какую максимальную полезную мощность он может развить?

2.54. Идеальная тепловая машина получает от нагревателя 60 кДж теплоты. Сколько теплоты она отдает холодильнику, если температура нагревателя 390 К, а холодильника 300 К?

2.55. Температура нагревателя идеальной тепловой машины 373 К, холодильника — 273 К. Сколько теплоты получает машина от нагревателя, если за один цикл она выполняет работу 73,5 кДж?

2.56. Тепловой двигатель работает по циклу Карно. Температура нагревателя 473 К. Определите температуру холодильника, если за счет 1 кДж теплоты, полученной от нагревателя, двигатель выполняет работу 0,32 кДж.

2.57. Тепловой двигатель работает по циклу Карно. Температура нагревателя 500 К, холодильника — 400 К. Во сколько раз надо увеличить температуру нагревателя, чтобы КПД двигателя увеличился в 3 раза?