

## 9.16. Тепловое расширение. Деформации.

9.16.1. При температуре  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  длины алюминиевого и медного стержней одинаковы. Какова длина алюминиевого стержня при  $t_2 = -20^\circ\text{C}$ , если длина медного стержня при этой температуре  $l_{Cu} = 60$  см? Коэффициенты линейного теплового расширения: алюминия –  $\alpha_{Al} = 23,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ; меди –  $\alpha_{Cu} = 16,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ .

9.16.2. Какую длину должны иметь стальной и медный стержни при  $0^\circ\text{C}$ , чтобы при любой температуре стальной стержень был на  $\Delta l = 5$  см длиннее медного? Коэффициенты линейного теплового расширения: меди –  $\alpha_{Cu} = 16,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ; стали –  $\alpha_{cm} = 11,7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ .

9.16.3. Плотность ртути уменьшилась при нагревании до 98 % от её плотности при  $0^\circ\text{C}$ . До какой температуры нагрели ртуть? Коэффициент теплового объёмного расширения ртути  $\beta_{Hg} = 0,181 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ .

9.16.4. В U – образной трубке находится керосин. В одном колене высота уровня керосина  $h_1 = 20$  см, а температура  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ . Какова температура керосина в другом колене, если высота уровня в нём на  $\Delta h = 1,5$  см выше? Коэффициент объёмного расширения керосина  $\beta_k = 0,96 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ .

9.16.5. Стальная и бронзовая ленты одинаковой толщины  $a = 0,2$  мм склеены вместе и при температуре  $T_1 = 293$  К образуют плоскую биметаллическую пластинку. Каким будет радиус изгиба пластинки при температуре  $T_2 = 393$  К? Коэффициенты линейного теплового расширения бронзы и стали равны:  $\alpha_{бр} = 2 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ ;  $\alpha_{cm} = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ .

9.16.6. Стальной стержень вплотную вставляется между двумя бетонными стенами при температуре  $t_1 = 0^\circ\text{C}$ . С какой силой стержень будет действовать на стены, если его нагреть до  $t_2 = 50^\circ\text{C}$ ? Площадь сечения стержня  $S = 10$  см<sup>2</sup>. Коэффициент линейного теплового расширения стали равен  $\alpha_{cm} = 11,7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ; модуль Юнга стали равен  $E_{cm} = 20,6 \cdot 10^{10} \text{H/M}^2$ .

9.16.7. Между двумя бетонными стенами помещён стержень сечением  $S$ , состоящий из двух одинаковых частей длиной –  $L/2$ . Коэффициенты линейного теплового расширения частей равны  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , а модули Юнга –  $E_1$  и  $E_2$  соответственно. При некоторой температуре стержень свободно вставлен между стенами и его концы касаются стен. С какой силой стержень будет давить на стены, если его нагреть на  $\Delta T$ ? На какое расстояние переместится место стыка частей стержня?

9.16.8. Алюминиевый шарик массой  $m = 0,5$  кг опущен на нити в керосин. На сколько изменится сила натяжения нити, если всю систему нагреть от  $T_1 = 273$  К до  $T_2 = 323$  К. Коэффициент линейного теплового расширения и плотность алюминия равны:  $\alpha_{Al} = 23,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ;  $\rho_{Al} = 2,71$  г/см<sup>3</sup>; Коэффициент объёмного теплового расширения и плотность керосина равны:  $\beta_k = 0,96 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ ;  $\rho_k = 0,8$  г/см<sup>3</sup>.

9.16.9. Тонкое кольцо радиусом  $R$  вращается вокруг своей оси. При какой угловой скорости кольцо разорвётся, если предел прочности материала на разрыв равен  $\sigma_{np}$ , а плотность материала кольца  $\rho$ ?

9.16.10. До какого максимального давления можно накачать сферический баллон диаметром  $d = 1,82$  м, имеющий толщину стенок  $\delta = 0,01$  м? Предел прочности материала стенок  $\sigma_{np} = 3 \cdot 10^5 \text{H/M}^2$ ; атмосферное давление нормальное.

9.16.11. Проволока длиной  $l = 2$  м и диаметром  $d = 1$  мм натянута горизонтально. Когда к середине проволоки подвесили груз массой  $m = 1$  кг точка подвеса опустилась на  $\Delta h = 4$  см. Определить модуль Юнга материала проволоки.

9.16.12. Определить объём шарика ртутного термометра, если при температуре  $0^\circ\text{C}$  ртуть заполняет только шарик, а объём трубки между делениями  $0^\circ\text{C}$  и  $100^\circ\text{C}$  равен  $\Delta V = 3$  мм<sup>3</sup>. Коэффициент объёмного расширения ртути  $\beta_{Hg} = 0,181 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ .

9.16.13. При укладке трамвайные рельсы сваривают в стыках. Какие напряжения возникают в рельсах при колебаниях температуры от  $-30^\circ\text{C}$  до  $+30^\circ\text{C}$ . Рельсы укладывали при температуре  $10^\circ\text{C}$ . Коэффициент линейного расширения стали равен  $\alpha_{cm} = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ . Модуль Юнга стали равен  $E_{cm} = 20,6 \cdot 10^{10} \text{Па}$ .

### Ответы:

$$9.16.1. l_{Al} = l_{Cu} \frac{1 + \alpha_{Al}(t_2 - t_1)}{1 + \alpha_{Cu}(t_2 - t_1)} = 59,98 \text{ см.}$$

$$9.16.2. l_{Cu} = \frac{\Delta l_{cm}}{\alpha_{Cu} - \alpha_{cm}} = 12 \text{ см}; l_{cm} = 17 \text{ см.}$$

$$9.16.3. t \approx 110,5^\circ\text{C}.$$

$$9.16.4. t_2 = t_1 + \frac{\Delta h}{\beta_k h_1} = 94^\circ\text{C}.$$

$$9.16.5. R \approx \frac{\alpha \left( 1 + \frac{1}{2} (\alpha_{бр} + \alpha_{cm}) (T_2 - T_1) \right)}{(T_2 - T_1) (\alpha_{бр} - \alpha_{cm})} \approx 22,3 \text{ см.}$$

$$9.16.6. F \approx ES \alpha_{cm} (t_2 - t_1) = 1,21 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

$$9.16.7. F \approx \frac{E_1 E_2 S \Delta T (\alpha_1 + \alpha_2)}{E_1 + E_2}; \Delta L \approx \frac{1}{2} L \Delta T \frac{|\alpha_1 E_1 - \alpha_2 E_2|}{E_1 + E_2}.$$

$$9.16.8. \Delta F \approx \frac{mg \rho_k \Delta T}{\rho_{Al}} (\beta_k - 3\alpha_{Al}) \approx 0,065 \text{ Н.}$$

$$9.16.9. \omega = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{\sigma_{np}}{\rho}}.$$

$$9.16.10. p = p_A + \frac{4\sigma_{np} \delta}{d} \approx 1,066 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

$$9.16.11. E \approx 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2.$$

$$9.16.12. V = \frac{\Delta V}{\beta_{рт} \Delta T} \approx 166 \text{ мм}^3.$$

$$9.16.13. \text{От } -0,5 \cdot 10^8 \text{ Па до } 10^8 \text{ Па.}$$