



**Физико-технический
институт**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Практическое занятие № 2. Теплопроводность. Задачи

24 мая 2019 г.



Задача 1

Определить толщину тепловой изоляции, выполненной из шлаковаты. Удельные потери теплоты через изоляционный слой составляют 523 Вт/м^2 , температуры его поверхностей 700 и $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности шлаковаты $\lambda = 0,058 + 0,000145t$.



Решение:

Определим средний коэффициент теплопроводности шлаковаты:

$$\lambda_{\text{ср}} = 0,058 + 0,000145 \cdot \frac{700 + 40}{2} = 0,1102 \quad \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Из уравнения (10-7) определяем толщину слоя изоляции

$$\delta = \frac{\lambda_{\text{ср}} \Delta t}{q} = \frac{0,1102 \cdot (700 - 40)}{523} = 0,139 \text{ м}.$$



Задача 2

Определить тепловой поток, проходящий через единицу длины стенки камеры сгорания диаметром 180 мм, если толщина стенки 2,5 мм, коэффициент теплопроводности материала стенки 34,9 Вт/(м·К). Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными и равными соответственно 1200 и 600°C.



Решение:

Из условия задачи следует, что протекает процесс теплопроводности через цилиндрическую стенку, поэтому используем уравнение (1.9):

$$Q^* = \frac{2\pi \lambda L (t_{\text{cr}}' - t_{\text{cr}}'')}{\ln \frac{d_2}{d_1}},$$

$$q_1 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 34,9 \cdot 1 \cdot (1200 - 600)}{\ln \frac{0,18 + 2 \cdot 0,0025}{0,18}} = 4,815 \cdot 10^6 \quad \text{Вт/м.}$$



Задача 3

Определить температуры на поверхностях соприкосновения слоев стенки камеры сгорания и на внешней поверхности, если диаметр камеры 190 мм, толщина защитного покрытия 1 мм и его коэффициент теплопроводности $1,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а толщина основной стенки 2 мм и ее коэффициент теплопроводности $372 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Тепловой поток, приходящийся на единицу длины, составляет $40750 \text{ Вт}/\text{м}$, температура на поверхности покрытия со стороны камеры 1200°C .



Решение:

Запишем уравнение для теплового потока через каждый слой двухслойной цилиндрической стенки (1.10):

$$Q^* = \frac{2 \pi L \lambda_{\text{II}} (t'_{\text{СТ}} - t_{\text{СЛ}})}{\ln \frac{d + 2 \delta_{\text{II}}}{d}}; \quad Q^* = \frac{2 \pi L \lambda_{\text{СТ}} (t_{\text{СЛ}} - t''_{\text{СТ}})}{\ln \frac{d + 2 \delta_{\text{II}} + 2 \delta_{\text{СТ}}}{d + 2 \delta_{\text{II}}}$$



Выразим из полученных уравнений температуры на поверхности соприкосновения слоев стенки камеры сгорания и на внешней поверхности

$$t_{\text{сш}} = t'_{\text{сш}} - \frac{q_l}{2\pi\lambda_{\text{ш}}} \ln \frac{d+2\delta_{\text{ш}}}{d} = 1200 - \frac{40750}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,15} \ln \frac{0,19+2 \cdot 0,001}{0,19} = 609^\circ \text{C}.$$

$$\begin{aligned} t''_{\text{сш}} &= t_{\text{сш}} - \frac{q_l}{2\pi\lambda_{\text{сш}}} \ln \frac{d+2\delta_{\text{ш}}+2\delta_{\text{сш}}}{d+2\delta_{\text{ш}}} = \\ &= 609 - \frac{40750}{2 \cdot 3,14 \cdot 372} \ln \frac{0,192+2 \cdot 0,002}{0,192} = 608,6^\circ \text{C}. \end{aligned}$$



Задача 4

По неизолированному трубопроводу диаметром 170/185 мм, проложенному на открытом воздухе, протекает вода со средней температурой 95°C , температура окружающего воздуха – 18°C . Определить потери теплоты с 1 м трубопровода и температуры внутренней и внешней поверхностей этого трубопровода, если коэффициент теплопроводности материала трубы равен $58,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, коэффициент теплоотдачи воды стенке трубы – $1395 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ и трубы окружающему воздуху – $14 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.



Решение:

Тепловой поток рассчитаем по уравнению (1.11)

$$Q^* = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot [95 - (-18)]}{\frac{1}{1395 \cdot 0,17} + \frac{1}{2 \cdot 58,15} \ln \frac{185}{170} + \frac{1}{14 \cdot 0,185}} = 907 \text{ Вт.}$$

Температуры внутренней и внешней поверхностей трубопровода определим из уравнений для теплового потока для каждой стадии теплопередачи:

$$t'_{\text{ст}} = t_1 - \frac{Q^*}{\pi L \alpha_1 d_1} = 95 - \frac{907}{3,14 \cdot 1} \frac{1}{1395 \cdot 0,17} = 93,8^\circ \text{C},$$

$$t''_{\text{ст}} = t_2 + \frac{Q^*}{\pi L \alpha_2 d_2} = -18 - \frac{907}{3,14 \cdot 1} \cdot \frac{1}{14 \cdot 0,185} = 93,5^\circ \text{C}.$$



Задача 5

Алюминиевый провод диаметром 3 мм покрыт резиновой изоляцией толщиной 1,2 мм. Определить допустимую силу тока для этого провода при условии, что температура на внешней стороне изоляции 45°C , а максимальная температура на внутренней стороне изоляции не должна превышать 65°C . Коэффициент теплопроводности резины $0,175 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; электрическое сопротивление алюминиевого провода составляет $0,00397 \text{ Ом}/\text{м}$.



Решение:

По формуле (1.10) определяем тепловой поток, проходящий через 1 м изоляции:

$$q_1 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot (65 - 45)}{1} \cdot \ln \frac{3 + 2 \cdot 1,2}{3} = 37,3 \text{ Вт/м.}$$

Из формулы $Q = I^2 R$ находим допустимую силу тока:

$$I = \sqrt{\frac{37,3}{0,00397}} = 96,95 \text{ А.}$$



Задача 6

Для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду необходимо изолировать паропровод диаметром 44/50 мм. Целесообразно ли применять в качестве изоляции асбест, имеющий коэффициент теплопроводности $0,14 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, если коэффициент теплоотдачи с внешней стороны изоляции в окружающую среду составляет $11,63 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$?



Решение:

По формуле (1.18) определим критический диаметр изоляции

$$d_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot 0,14}{11,63} = 0,024 \text{ м.}$$

Условие целесообразности применения изоляции при заданном диаметре трубы и заданном коэффициенте теплоотдачи

$$A_{\text{кр}} = \frac{d_{\text{кр}}}{d_2} \leq 1$$

в нашем случае выполняется, т.к. $A_{\text{кр}} = 0,48 < 1$.



Задача 7

Выяснить ошибку в определении поверхности нагрева газовойодяного противоточного подогревателя от применения средней арифметической разности температур вместо более точной средней логарифмической. Газы в подогревателе охлаждаются от 500 до 200°C , вода нагревается от 20 до 80°C . Решить ту же задачу для прямоточного подогревателя при тех же значениях температур газов и воды.



Решение:

Для противоточного подогревателя

$$\overset{\text{ГАЗЫ}}{500^{\circ}\text{C}} \rightarrow 200^{\circ}\text{C};$$

$$\overset{\text{ВОДА}}{80^{\circ}\text{C}} \leftarrow 20^{\circ}\text{C}.$$

Определим разности температур на концах поверхности теплообмена:

$$\Delta t_{\text{Б}} = 420^{\circ}\text{C}; \Delta t_{\text{М}} = 180^{\circ}\text{C}.$$

Тогда среднеарифметический температурный напор

$$\Delta t_{\text{CP}} = \frac{420 + 180}{2} = 300^{\circ}\text{C}.$$



Среднелогарифмический температурный напор (1.20):

$$\Delta t'_{\text{CP}} = \frac{420 - 180}{\ln \frac{420}{180}} = 283^{\circ}\text{C}.$$

При расчете по приближенной формуле поверхность подогревателя будет занижена на

$$1 - \frac{F}{F'} = 1 - \frac{\Delta t'_{\text{CP}}}{\Delta t_{\text{CP}}} = 1 - \frac{283}{300} = 0,056;$$

т. е. на 5,6%.



Для прямоточного подогревателя

$$\overset{\text{ГАЗЫ}}{500^{\circ}\text{C}} \rightarrow 200^{\circ}\text{C};$$

$$\overset{\text{ВОДА}}{20^{\circ}\text{C}} \rightarrow 80^{\circ}\text{C}.$$

Определим разности температур на концах поверхности теплообмена:

$$\Delta t_{\text{Б}} = 480^{\circ}\text{C}; \Delta t_{\text{М}} = 120^{\circ}\text{C}.$$

Тогда среднеарифметический температурный напор:

$$\Delta t_{\text{СР}} = \frac{480 + 120}{2} = 300^{\circ}\text{C}.$$



Среднелогарифмический температурный напор
(1.20):

$$\Delta t'_{\text{CP}} = \frac{480 - 120}{\ln \frac{480}{120}} = 260^{\circ}\text{C}.$$

При расчете по приближенной формуле поверхность
подогревателя будет занижена на

$$1 - \frac{F}{F'} = 1 - \frac{\Delta t'_{\text{CP}}}{\Delta t_{\text{CP}}} = 1 - \frac{260}{300} = 0,133;$$

т.е. на 13,3%.