

2 ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Согласно 2-му закону термодинамики самопроизвольный процесс переноса теплоты в пространстве возникает под действием разности температур и направлен в сторону уменьшения температуры. Закономерности переноса теплоты и количественные характеристики этого процесса являются предметом исследования теории теплообмена (теплопередачи). Теплопередача рассматривает процессы переноса теплоты в твердых, жидких и газообразных телах. Известно 3 способа переноса теплоты: теплопроводностью; конвекцией; излучением.

Часто перенос теплоты осуществляется одновременно различными способами – случай **сложного теплообмена**.

Сначала мы рассмотрим элементарные процессы теплообмена теплопроводностью, конвекцией и излучением, а затем - совместные процессы теплопередачи всеми видами теплообмена. Такое последовательное рассмотрение вопросов целесообразно и значительно упрощает изучение теории.

2.1 Теплопроводность

Теплопроводность – это процесс распространения теплоты между соприкасающимися телами или частями одного тела с различной температурой. Для осуществления теплопроводности необходимы два условия: контакт и разница температур.

Перенос теплоты теплопроводностью зависит от распределения температуры по объему тела. В общем виде температура зависит:

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (187)$$

где x, y, z – координаты точки;

τ – время.

Совокупность значений температуры во всех точках тела в данный момент времени называется **температурным полем**. Поверхность, во всех точках которой температура одинакова, называется **изотермической**. Быстрее всего температура изменяется при движении в направлении, перпендикулярном изотермической

поверхности. **Градиент температуры** – это векторная величина, направленная по нормали к изотермической поверхности в сторону увеличения температуры и численно равная производной от температуры по этому направлению:

$$\text{grad } t = \lim_{\Delta n} \frac{\Delta t}{\Delta n} = \frac{\partial t}{\partial n} . \quad (188)$$

Количество теплоты (Q), проходящее в единицу времени через изотермическую поверхность (F), называют **тепловым потоком**, обозначают Q^* , единицы измерения – ватт. Тепловой поток, приходящийся на 1 м^2 поверхности, называют удельным тепловым потоком (**плотностью теплового потока** или тепловой нагрузкой поверхности нагрева), обозначают q, единицы измерения – ватт на квадратный метр.

$$Q^* = \frac{Q}{\tau} ; \quad q = \frac{Q}{\tau F} = \frac{Q^*}{\tau} . \quad (189)$$

Основной закон теплопроводности формулируется следующим образом: плотность теплового потока пропорциональна градиенту температуры (закон Фурье):

$$q = - \lambda \text{ grad } t , \quad (190)$$

где λ - коэффициент пропорциональности, Вт/(м·К).

Коэффициент пропорциональности λ называют **коэффициентом теплопроводности**. Он характеризует способность материала проводить тепло. Значения коэффициентов приводятся в справочниках теплофизических свойств веществ (приложения К и Л). Величина коэффициента теплопроводности λ зависит от температуры, для большинства материалов эта зависимость линейная:

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + b t) , \quad (191)$$

где λ_0 , λ_t – значение коэффициента теплопроводности соответственно при 0°C и при данной температуре t, Вт/(м·К);

b – константа, определяемая экспериментально.

Зависимость изменения температуры тела от свойств тела и координат точки описывает **дифференциальное уравнение Фурье**:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (192)$$

где λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

ρ - плотность материала, кг/м³;

c - теплоемкость материала, Дж/(кг·К).

Процесс теплоотдачи между поверхностью тела и окружающей средой описывается **уравнением Ньютона-Рихмана**:

$$q = \alpha (t_{cm} - t_{ж}), \quad (193)$$

где q - плотность теплового потока, Вт/м²;

t_{cm} – температура поверхности тела (стенки), К;

$t_{ж}$ – температура окружающей среды (жидкости), К;

α - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплоотдачи, Вт/(м²·К).

Коэффициент теплоотдачи характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой. Он численно равен количеству теплоты, отдаваемой (или воспринимаемой) единицей поверхности в единицу времени при разности температур между поверхностью тела и окружающей средой в 1 градус.

Различают **2 режима** распространения тепла в теле: установившийся (стационарный) режим – температурное поле тела не изменяется во времени и не установившийся (нестационарный) режим – температурное поле изменяется во времени.

Рассмотрим **частные случаи решения** дифференциального уравнения Фурье (192).

Теплопроводность через плоскую стенку при стационарном режиме и граничных условиях 1-го рода:

$$Q^* = \frac{\lambda}{\delta} F (t'_{ст} - t''_{ст}), \quad (194)$$

где δ - толщина стенки, м;

$t'_{ст}$ и $t''_{ст}$ – внутренняя и наружная температура поверхности стенки, град;

F – площадь поверхности теплообмена, m^2 .

Отношение λ/δ называют тепловой проводимостью стенки, а обратную величину δ/λ – тепловым или **внутренним термическим сопротивлением** стенки и обозначают R_λ .

Для любого числа слоев n формула (194) имеет вид

$$Q^* = \frac{F (t_{ct}' - t_{ct}'')}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}. \quad (195)$$

Величину $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ называют полным внутренним термическим сопротивлением многослойной стенки.

Теплопроводность через цилиндрическую стенку при стационарном режиме и граничных условиях 1-го рода

$$Q^* = \frac{2\pi \lambda L (t_{ct}' - t_{ct}'')}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (196)$$

где d – диаметр трубы, м;

L – длина трубы, м.

Для многослойной цилиндрической стенки уравнение для определения теплового потока будет иметь следующий вид:

$$Q^* = \frac{2\pi L (t_{ct}' - t_{ct}'')}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}. \quad (197)$$

Теплопроводность через плоскую стенку при стационарном режиме и граничных условиях 3-го рода

$$Q^* = \frac{F (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (198)$$

где t_1 и t_2 – температуры горячего и холодного теплоносителей, К.

Коэффициент теплопередачи k показывает количество теплоты, проходящей через единицу поверхности стенки в единицу времени от горячего к холодному теплоносителю при разности температур между ними в 1 градус, Вт/(м²·К):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} .$$

Уравнение для теплового потока (198) через произвольную плоскую стенку называют уравнением теплопередачи -

$$Q^* = F k (t_1 - t_2) , \quad (199)$$

где k – коэффициент теплопередачи произвольной плоской стенки, Вт/(м²·К),

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} . \quad (200)$$

Теплопроводность через цилиндрическую стенку при стационарном режиме и граничных условиях 3-го рода

$$Q^* = \frac{\pi L (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} . \quad (201)$$

Коэффициент теплопередачи для цилиндрической стенки или **линейный коэффициент теплопередачи**, Вт/(м·К),

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} .$$

В общем случае для многослойной цилиндрической стенки, имеющей n слоев,

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} . \quad (202)$$

Уравнение для теплового потока -

$$Q^* = k_u \pi L (t_1 - t_2) . \quad (203)$$

Величину, обратную линейному коэффициенту теплопередачи, называют **общим тепловым сопротивлением** цилиндрической стенки:

$$R_{\text{и}} = \frac{1}{k_{\text{и}}} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}.$$

Критический диаметр изоляции можно определить из уравнения

$$d_{\text{кр}} = d_{\text{из}} = \frac{2 \lambda_{\text{из}}}{\alpha_2}, \quad (204)$$

где $\lambda_{\text{кр}}$ - коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м·К);

α_2 - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к окружающей среде, Вт/(м²·К);

$d_{\text{из}}$ - наружный диаметр слоя изоляции, м.

Более точное выражение уравнения теплопередачи (199) имеет вид

$$Q^* = F k \Delta t_{\text{CP}}, \quad (205)$$

где Δt_{CP} - средняя разность температур между двумя теплоносителями или средний температурный напор, К.

Средний температурный напор определяется следующим образом:

$$\Delta t_{\text{CP}} = \frac{\Delta t_{\text{Б}} - \Delta t_{\text{М}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{Б}}}{\Delta t_{\text{М}}}}, \quad (206)$$

где $\Delta t_{\text{Б}}$ и $\Delta t_{\text{М}}$ - большая и меньшая разности температур на концах поверхности теплообмена.

Если отношение большей разности температур к меньшей не превышает двух, то с достаточной точностью вместо уравнения (206) можно применять приближенное уравнение

$$\Delta t_{\text{CP}} = \frac{\Delta t_{\text{Б}} + \Delta t_{\text{М}}}{2}.$$

Формулы (206) и (207) применяются при условии, что в теплообменнике значение коэффициента теплопередачи и произведение массового расхода на теплоемкость для каждого теплоносителя можно считать постоянной по всей поверхности теплообмена.

При расчете теплообменного оборудования наряду с уравнением теплопередачи (205) используется уравнение теплового баланса:

$$G_1 C_1 \Delta t_1 = G_2 C_2 \Delta t_2 , \quad (207)$$

где G_1, G_2 – массовый расход теплоносителей, кг/с;

C_1, C_2 – теплоемкость теплоносителей, Дж/(кг·К);

Δt_1 и Δt_2 - перепад температуры теплоносителей, К.

Расчет процесса теплопроводности при нестационарном режиме мы не рассматриваем. Методики расчета приведены в специальной литературе [2, 3].

Примеры решения задач

81 Определить толщину тепловой изоляции, выполненной из шлаковой ваты. Удельные потери теплоты через изоляционный слой составляют 523 Вт/м², температуры его поверхностей 700 и 40°C. Коэффициент теплопроводности шлаковой ваты

$$\lambda = 0,058 + 0,000145 t .$$

Решение:

Определим средний коэффициент теплопроводности шлаковой ваты:

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

Из уравнения (194) определяем толщину слоя изоляции

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

82 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 (196)

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

83 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 Вт/(м·К), а толщина основной стенки 2 мм и ее коэффициент теплопроводности 372 Вт/(м·К). Тепловой поток, приходящийся на единицу длины, составляет 40750 Вт/м, температура на поверхности покрытия со стороны камеры 1200°C.

Решение:

Запишем уравнение для теплового потока через каждый слой двухслойной цилиндрической стенки (197):

$$Q^* = \frac{2 \pi L \lambda_{\Pi} (t'_{CT} - t_{CЛ})}{\ln \frac{d + 2 \delta_{\Pi}}{d}}; \quad Q^* = \frac{2 \pi L \lambda_{CT} (t_{CЛ} - t''_{CT})}{\ln \frac{d + 2 \delta_{\Pi} + 2 \delta_{CT}}{d + 2 \delta_{\Pi}}}.$$

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

$$t_{CЛ} = t'_{CT} - \frac{q_1}{2 \pi \lambda_{\Pi}} \ln \frac{d + 2 \delta_{\Pi}}{d} = 1200 - \frac{40750}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,15} \ln \frac{0,19 + 2 \cdot 0,001}{0,19} = 609^{\circ} \text{C}.$$

$$\begin{aligned} t''_{CT} &= t_{CЛ} - \frac{q_1}{2 \pi \lambda_{CT}} \ln \frac{d + 2 \delta_{\Pi} + 2 \delta_{CT}}{d + 2 \delta_{\Pi}} = \\ &= 609 - \frac{40750}{2 \cdot 3,14 \cdot 372} \ln \frac{0,192 + 2 \cdot 0,002}{0,192} = 608,6^{\circ} \text{C}. \end{aligned}$$

84 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 Вт/(м·К), коэффициент теплоотдачи воды стенке трубы - 1395 Вт/(м²·К) и трубы окружающему воздуху - 14 Вт/(м²·К).

Решение:

Тепловой поток рассчитаем по уравнению (201)

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

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

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

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

85 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 $0,175 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$; электрическое сопротивление алюминиевого провода составляет $0,00397 \text{ Ом/м}$.

Решение:

По формуле (197) определяем тепловой поток, проходящий через 1 м изоляции:

$$q_1 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot (65 - 45)}{\frac{1}{0,175} \cdot \ln \frac{3 + 2 \cdot 1,2}{3}} = 37,3 \text{ Вт/м}.$$

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

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

86 Для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду необходимо изолировать паропровод диаметром 44/50 мм. Целесообразно ли применять в качестве изоляции асбест, имеющий коэффициент теплопроводности $0,14 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$, если коэффициент

теплоотдачи с внешней стороны изоляции в окружающую среду составляет 11,63 Вт/(м²·К)?

Решение:

По формуле (204) определим критический диаметр изоляции

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

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

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

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

87 Выяснить ошибку в определении поверхности нагрева газовой водяной противоточной подогреватель от применения средней арифметической разности температур вместо более точной средней логарифмической. Газы в подогревателе охлаждаются от 500 до 200 °С, вода нагревается от 20 до 80 °С.

Решить ту же задачу для прямоточной подогреватель при тех же значениях температур газов и воды.

Решение:

Для противоточной подогреватель

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

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

Определим разности температур на концах поверхности теплообмена:

$$\Delta t_{\text{в}} = 420^{\circ}\text{C}; \Delta t_{\text{м}} = 180^{\circ}\text{C}.$$

Тогда среднеарифметический температурный напор

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

Среднелогарифмический температурный напор (206):

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

При расчете по приближенной формуле поверхность подогревателя будет занижена на

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

т. е. на 5,6%.

Для прямоточного подогревателя

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

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

Определим разности температур на концах поверхности теплообмена:

$$\Delta t_B = 480^{\circ} \text{C}; \Delta t_M = 120^{\circ} \text{C}.$$

Тогда среднеарифметический температурный напор:

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

Среднелогарифмический температурный напор (206):

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

При расчете по приближенной формуле поверхность подогревателя будет занижена на

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

т. е. на 13,3%.

Задачи

289 Определить количество тепла, теряемое трубой за час, если внутри трубы протекает газ, а снаружи труба омывается воздухом. Средняя температура газа 800°C , воздуха - 15°C . Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке трубы $35 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$, от стенки к воздуху - $5,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$. Каковы температуры внутренней и наружной поверхности трубы, а также слоя, расположенного в 40 мм от оси трубы? Влиянием торцов трубы пренебречь. Труба стальная с коэффициентом теплопроводности $46,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$.

Ответ: $Q = 2860 \text{ Вт}$;

температуры: 591°C , 590°C , 585°C .

290 Определить часовую потерю тепла паропроводом длиной 50 м. Паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 80 мм. По паропроводу протекает насыщенный пар, давление которого 30 ат. Внутренний диаметр паропровода 100 мм, наружный 108 мм. Температура окружающего воздуха 35°C . Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке $465 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$, от слоя изоляции к воздуху - $5,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$. Коэффициент теплопроводности стали $52 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$, изоляции - $0,058 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$. Определить также температуру наружного слоя изоляции. Лучеиспусканием трубопровода пренебречь.

Ответ: $Q = 3680 \text{ Вт}$; $t = 50^{\circ}\text{C}$.

291 Стальная труба диаметром 100/110 мм покрыта слоем асфальтовой изоляции. Найти критическую толщину слоя асфальта и соответствующую максимальную отдачу тепла с 3 погонных метров трубы, если по трубе протекает вода, температура 80°C , коэффициент теплоотдачи $2093 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$, снаружи труба омывается воздухом,

температура 15°C , коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы к воздуху $10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$. Коэффициент теплопроводности стали $46,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$, асфальта - $0,66 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$.

Ответ: $d_{\text{кр}}=0,1265 \text{ м}$; $q_{\text{max}}=710 \text{ Вт}$.

292 Гладкая стальная труба воздухоподогревателя с внутренней стороны омывается дымовыми газами со средней температурой 320°C , а снаружи - воздухом, причем он нагревается от 25 до 250°C . Коэффициент теплопроводности стали $58 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$.

Определить: коэффициент теплопередачи, отнесенный к одному погонному и одному квадратному метру наружной поверхности трубы, и количество тепла, передаваемое трубой за 1 ч , если: наружный диаметр трубы 51 мм ; внутренний диаметр трубы 48 мм ; длина трубы 4 м ; налет сажи внутри трубы $\delta = 1 \text{ мм}$, коэффициент теплопроводности сажи $0,23 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$.

Ответ: $k_r=0,232 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$; $k=9,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; $Q=1069 \text{ Вт}$.

293 Как велики будут ошибки в определении теплового потока, передаваемого трубой, и температуры наружного слоя трубы в задаче 292, если расчет проводить по формулам для плоской стенки, определяя ее поверхность по среднему диаметру?

Ответ: ошибки при определении:

температуры - $1,93\%$, тепла - $1,74\%$.

294 Определить удельный тепловой поток, проходящий через стенку рабочей лопатки газовой турбины, если средние температуры поверхностей лопатки соответственно равны 650 и 630°C , толщина стенки лопатки $2,5 \text{ мм}$, коэффициент теплопроводности $23,85 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$.

Ответ: $q=19070 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

295 Определить тепловые потери на 1 м трубопровода, а также температуру внутренней и внешней поверхностей при условии, что трубопровод, рассматриваемый в примере 84, покрыт слоем изоляции толщиной 70 мм с коэффициентом теплопроводности $0,116 \text{ Вт/(м·К)}$, а коэффициент теплоотдачи поверхности изоляции окружающей среде $9,3 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$.

Ответ: $q_l=162,5 \text{ Вт/м}$;

$t'_{\text{ст}}=94,3^\circ\text{C}$; $t''_{\text{ст}}= - 0,9^\circ\text{C}$.

296 В трубчатом подогревателе требуется нагреть за 1 ч 1000 кг раствора с теплоемкостью $3,3 \text{ кДж/(кг·К)}$. Нагрев ведется от 20 до 80°C конденсатом, поступающим в подогреватель, при температуре 120°C . Коэффициент теплопередачи равен $558 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$. Сравнить необходимые поверхности нагрева и найти часовой расход конденсата при устройстве подогревателя по прямоточной и противоточной схемам, считая, что тепловые потери отсутствуют. Конечная разность температур в подогревателе в обоих случаях должна быть 20°C .

Ответ: прямоточная схема: $F = 2,01 \text{ м}^2$, $G = 2400 \text{ кг/ч}$;

противоточная схема: $F = 3,46 \text{ м}^2$, $G=600 \text{ кг/ч}$.

297 Во сколько раз увеличится термическое сопротивление стенки стального змеевика, свернутого из трубы диаметром 38 мм, толщиной 2,5 мм, если покрыть ее слоем эмали? Считать стенку плоской. Коэффициент теплопроводности эмали $1,05 \text{ Вт/(м·К)}$.

Ответ: в 10 раз.

298 Паропровод длиной 40 м, диаметром 51 мм, толщиной 2,5 мм покрыт слоем изоляции толщиной 30 мм. Температура наружной поверхности изоляции 45°C , внутренней – 175°C .

Определить количество тепла, теряемое паропроводом в час. Коэффициент теплопроводности изоляции 0,116 Вт/(м·К).

Ответ: $Q^* = 48,6$ кВт.

299 Горячий раствор с температурой 106°C используется для подогрева холодного разбавленного раствора от 15 до 50°C. Концентрированный раствор охлаждается до 60°C. Определить температурный напор для: а) прямоточной и б) противоточной схем.

Ответ: а) $\Delta t_{cp} = 50,5$ °C; б) $\Delta t_{cp} = 36,8$ °C.

300 Стенка печи состоит из двух слоев: огнеупорный кирпич - $\delta = 500$ мм, $\lambda = 1,16$ Вт/(м·К) и строительный кирпич - $\delta = 250$ мм, $\lambda = 0,58$ Вт/(м·К). Температура внутри печи 1300°C, температура окружающего пространства 25°C. Коэффициент теплоотдачи от печных газов к стенке 34,8 Вт/(м²·К), коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху 16,2 Вт/(м²·К). Определить потери тепла с 1 м² поверхности стенки и температуру на грани между огнеупорным и строительным кирпичом.

Ответ: $q = 1340$ Вт/м²; $t_{cp} = 684$ °C.

301 Определить толщину тепловой изоляции, выполненной из: 1) альфоля и 2) шлаковой ваты. Удельные потери теплоты через изоляционный слой 523 Вт/м², температуры его поверхностей 700 и 40°C. Коэффициент теплопроводности альфоля при толщине воздушных слоев 10 мм

$$\lambda = 0,0302 + 0,000085 t$$

и коэффициент теплопроводности шлаковой ваты

$$\lambda = 0,058 + 0,000145 t .$$

Ответ: $\delta = 0,139$ м.

302 Определить тепловой поток через стенки картера авиадвигателя, если толщина стенок 5,5 мм, поверхность 0,6 м², температура на внутренней поверхности картера 75⁰С, на наружной – 68⁰С, а средний коэффициент теплопроводности стенок 175 Вт/(м·К).

Ответ: $Q^* = 133300$ Вт.