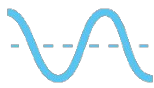


Теплопроводность

Высшая научная школа



Абишева Любовь Сергеевна
к.т.н., доцент каф. ТОТиГ

τ

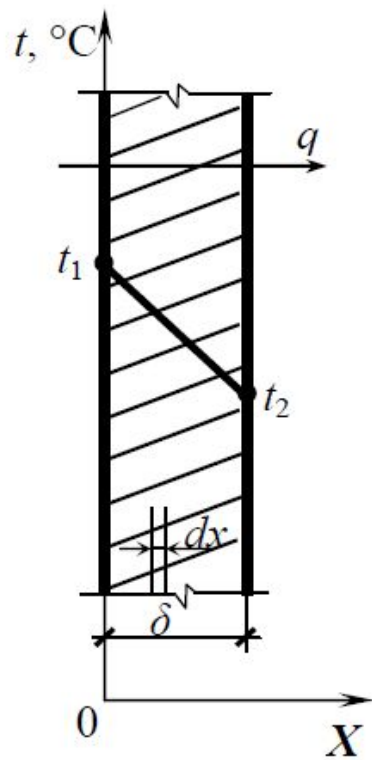
π

χ



Теплопроводность при стационарном и нестационарном режимах

Теплопроводность при стационарном режиме Теплопроводность через однослойную плоскую стенку



Рассмотрим однослойную плоскую стенку, длина и ширина которой бесконечно велики по сравнению с толщиной δ , одинаковой по всей высоте (рис. 1).

Температуры на поверхностях стенки t_1 и t_2 поддерживаются постоянными, т. е. поверхности являются изотермическими. Температура меняется только в направлении, перпендикулярном плоскости стенки, которое мы принимаем за ось X .

При стационарном тепловом режиме температура в любой точке тела неизменна и не зависит от времени, т. е. $\partial t / \partial t = 0$. Тогда дифференциальное уравнение теплопроводности примет вид

$$\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = 0.$$

Рис. 1. Однослойная плоская стенка

Уравнение теплопроводности для однослойной плоской стенки:

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2).$$

где q – тепловой поток, Вт/м²; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м*гр.); δ – толщина стенки, м.

Общее количество теплоты Q_τ , Дж, которое передается через плоскую стенку с площадью поверхности F за время τ :

$$Q_\tau = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2)F\tau .$$

отношение λ/δ называется *тепловой проводимостью стенки*, а обратная величина $\delta/\lambda = R$, (м²·°С)/Вт, называется *тепловым, или термическим сопротивлением стенки*. Термическое сопротивление показывает величину падения температуры при прохождении через стенку удельного теплового потока, равного единице.

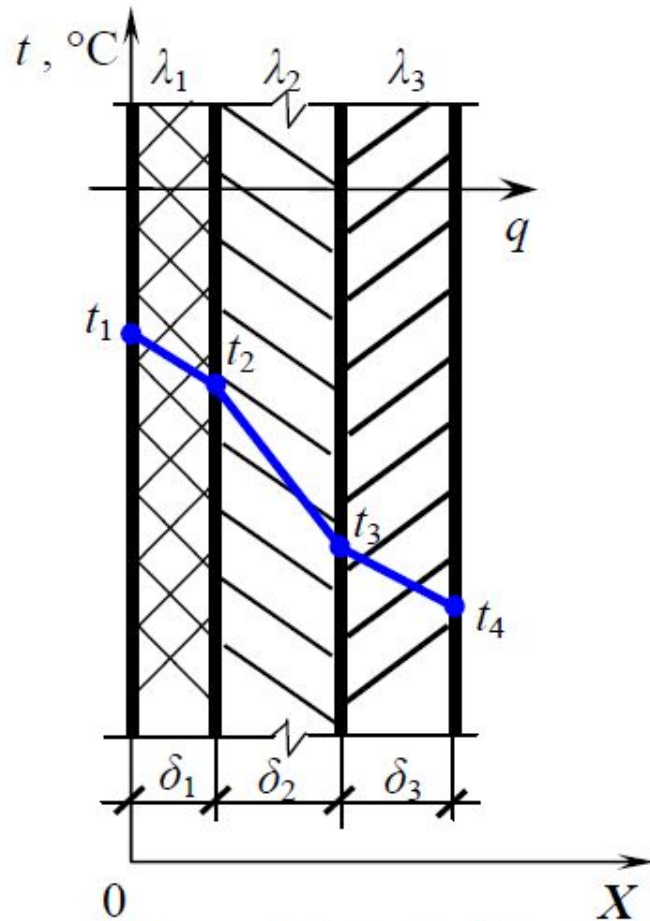


Рис. 2 . Трехслойная
плоская стенка

На практике часто встречаются плоские стенки, состоящие из нескольких плоских слоев, выполненных из различных материалов. Для многослойной плоской стенки формулу теплопроводности можно вывести из уравнения теплопроводности для каждого отдельного слоя, считая, что тепловой поток, проходящий через эти слои, один и тот же.

Рассмотрим трехслойную плоскую стенку, толщины слоев которой равны δ_1 , δ_2 , δ_3 , а коэффициенты теплопроводности слоев равны λ_1 , λ_2 , λ_3 (см. рис. 2).

Уравнение теплопроводности для трехслойной плоской стенки:

$$q = \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}.$$

Величина, стоящая в знаменателе уравнения, представляет собой *термическое сопротивление многослойной плоской стенки* R_{λ}

$$R_{\lambda} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}.$$

Для плоской стенки, имеющей n слоев, уравнение *теплового потока* примет вид:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}$$

где δ_i и λ_i – толщина и коэффициент теплопроводности i -го слоя

Теплопроводность через однослойную цилиндрическую стенку

Рассмотрим однослойную цилиндрическую стенку длиной l , с внутренним радиусом r_1 и наружным радиусом r_2 (рис. 3). Поверхности трубы поддерживаются при постоянных температурах t_1 и t_2 . Температура меняется только в направлении радиуса.

Количество теплоты для однослойной цилиндрической стенки находится по формуле:

$$Q = \frac{2\pi\lambda l(t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_2}{d_1}}$$

Из уравнения следует, что внутри цилиндрической стенки температура изменяется по логарифмической кривой.

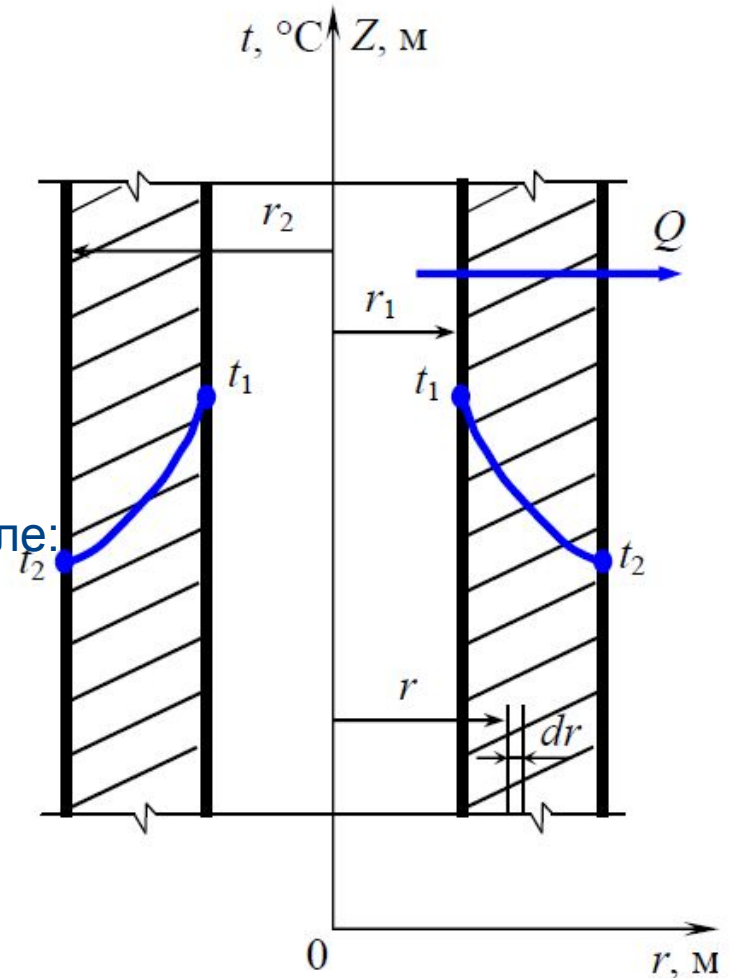


Рис. 3. Однослойная цилиндрическая стенка

Теплопроводность через многослойную цилиндрическую стенку

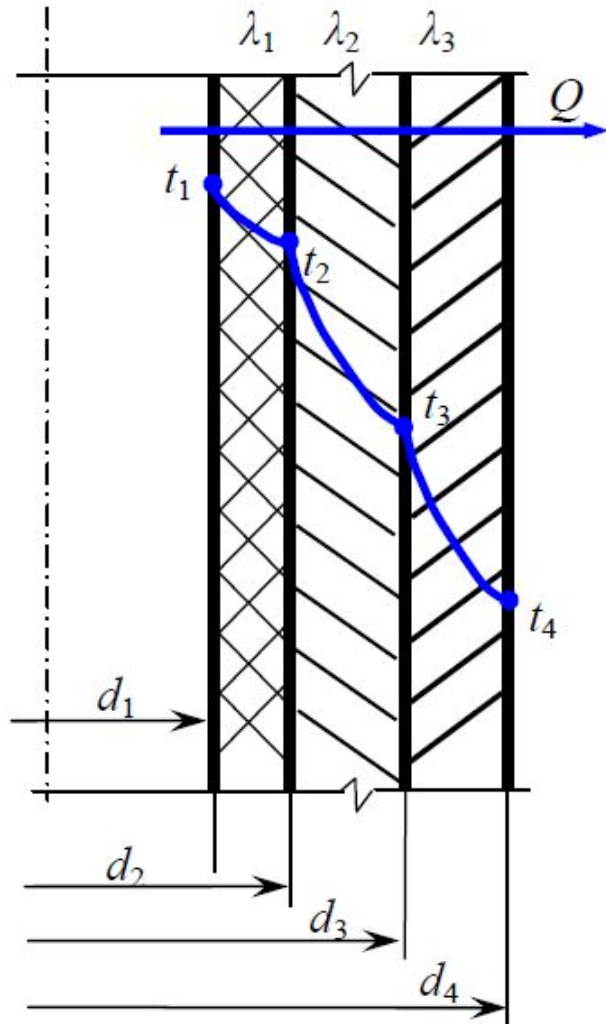


Рис. 4. Трехслойная цилиндрическая стенка

Предположим, что цилиндрическая стенка состоит из трех плотно прилегающих друг к другу слоев (рис. 4). Температура внутренней поверхности стенки t_1 , а наружной t_4 . Коэффициенты теплопроводности слоев стенки различны и равны $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. Диаметры слоев равны соответственно d_1, d_2, d_3, d_4 . Температура каждого слоя изменяется по логарифмической кривой, а общее изменение температуры происходит по ломаной логарифмической кривой. При стационарном температурном режиме тепловой поток Q , проходящий через все слои, одинаков. Значения удельных тепловых потоков изнутри $q_{вн}$ и снаружи $q_{н}$ будут различны, т. к. внутренняя и внешняя поверхности трубы будут различны.

Уравнение теплопроводности для трехслойной цилиндрической стенки:

$$Q = \frac{2\pi l(t_1 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}}$$

Для многослойной цилиндрической стенки, имеющей n слоев, уравнение можно записать в виде

$$Q = \frac{2\pi l(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}$$

где λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя; d_i , d_{i+1} – внутренний и наружный диаметры i -го слоя.

Теплопроводность при нестационарном режиме

Общие закономерности нестационарных процессов

Процессы теплопроводности, когда поле температуры в теле изменяется не только в пространстве, но и во времени, называют нестационарными. Они имеют место при нагревании (охлаждении) различных заготовок и изделий, производстве стекла, обжиге кирпича, вулканизации резины, пуске и останове различных теплообменных устройств, энергетических агрегатов и т. д. Среди практических задач нестационарной теплопроводности важнейшее значение имеют две группы процессов:

- а) тело стремится к тепловому равновесию;
- б) температура тела претерпевает периодические изменения.

К первой группе относятся процессы прогрева или охлаждения тел, помещенных в среду с заданным тепловым состоянием, например, прогрев изделий в печи, охлаждение металлических брусков, охлаждение закаливаемой детали и т. п.

Ко второй группе относятся процессы в периодически действующих подогревателях, например, тепловой процесс регенераторов, насадка которых то нагревается дымовым газом, то охлаждается воздухом.

Нестационарные тепловые процессы всегда связаны с изменением внутренней энергии или энтальпии вещества.

Передачу теплоты при нестационарном режиме можно определить, если найти закономерности изменения температурного поля и теплового потока в пространстве и во времени:

$$\begin{cases} t = f_1(x, y, z, \tau) \\ Q = f_2(x, y, z, \tau) \end{cases}$$

Эти зависимости могут быть найдены из дифференциального уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

Дифференциальное уравнение необходимо дополнить условиями однозначности в виде:

1) Геометрических условий – задают форму и размеры рассматриваемого

тела $l_0, l_1, l_2, \dots, l_n$.

2) Физических условий – коэффициент теплопроводности стенки тела $\lambda_{cm} = const$, теплоемкость тела $c = const$, плотность $\rho = const$.

3) Начальных условий – температура рассматриваемого тела в начальный момент времени при $\tau = 0$ распределена равномерно, т. е. $t_0 = const$.

4) Граничных условий III рода – задают закон теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой в виде следующего уравнения:

$$\left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_{пов.} = - \frac{\alpha}{\lambda_{cm}} (t_{пов.} - t_{о.с.})$$

Где $\left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_{пов.}$ – температурный градиент по поверхности тела;

α – коэффициент теплоотдачи между поверхностью тела и окружающей средой, Вт/(м²·°С);

$t_{пов.}$, $t_{о.с.}$ – температуры поверхности тела и окружающей среды, °С.

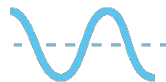
СПАСИБО

abishevals@mail.ru

6 корпус, ауд. 23в

π

x



τ