

Лекция 6

Основны теплообмена (теплопередачи). Теплообменники.

Теплообмен – самопроизвольный
необратимый

процесс переноса теплоты в пространстве с неоднородным
распределением температуры

Существуют три различных по своей природе основных вида
теплообмена:

теплопроводность (кондуктивный теплообмен),
конвективный теплообмен (конвекция),
лучистый (радиационный) теплообмен.

Теплопроводность

(встречаемая, как правило, только в твердых средах)

– **молекулярный** процесс переноса теплоты в сплошной среде, обусловленный наличием **градиента (перепада)** температуры.

Осуществляется за счет распространения упругих волн колеблющихся атомов и молекул (в диэлектриках) или связан с перемещением свободных электронов и колебаниями атомов кристаллической решетки (в металлах).



Конвективный теплообмен

(имеющий место в движущихся средах) – перенос теплоты, обусловленный перемещением макроскопических элементов среды (объемов жидкости или газа) в пространстве, сопровождающийся теплопроводностью.

Его наиболее распространенный случай – **теплоотдача** - конвективный теплообмен между движущейся средой и поверхностью ее раздела с другой средой (твердым телом, жидкостью или газом).



Лучистый теплообмен, осуществляемый (в отличии от теплопроводности и конвекции) при отсутствии вещественной среды и обусловленный превращением внутренней энергии вещества в **энергию электромагнитных волн**, распространением их в пространстве и поглощением энергии этих волн веществом.

На практике теплообмен часто происходит **всеми** тремя выше названными способами и носит название **сложного теплообмена**.



Тепловой поток (Q).

Количество теплоты ΔQ , переданное в единицу времени

τ :

$$Q = \frac{\Delta Q}{\Delta \tau} \quad \text{или} \quad Q = \frac{dQ}{d\tau}$$

Отнесенный к единице площади поверхности тепловой поток называется плотностью теплового потока или тепловой нагрузкой поверхности нагрева.

$$q = \frac{Q}{F}$$

Температурное поле – совокупность значений температур T во всех точках тела (пространства) в некоторый фиксированный момент времени τ :

стационарное (установившееся) – зависящее только от пространственных координат, $T = f(x, y, z)$;

нестационарное (неустановившееся) – зависящее также и от времени, $T = f(x, y, z, \tau)$.

Поверхность, во всех точках которой температуры одинаковы, называют изотермической, а линии равных температур - **изотермами**.

Градиент температур – вектор, численно равный производной от температуры по направлению нормали к изотермической поверхности:

$$\mathit{grad} t \equiv \nabla t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n}$$

$$\nabla t = \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right) \cdot \vec{i} + \left(\frac{\partial t}{\partial y} \right) \cdot \vec{j} + \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right) \cdot \vec{k},$$

Теплопроводность

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

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t = -\lambda \cdot \nabla t$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м К), численно равный тепловому потоку проходящему через единицу поверхности (1 м²) при градиенте температур, равном

$$\text{grad } t = 1 \text{ K} / \text{м}$$

Дифференциальное уравнение теплопроводности и условия однозначности

$$\rho \cdot c \frac{\partial t}{\partial \tau} = \nabla (\lambda \cdot \nabla t) + q_v$$

q_v (Вт/м³) - мощность внутренних источников теплоты

При $\lambda = \text{const}$:

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

$a = \frac{\lambda}{c \rho}$, м²/с – коэффициент температуропроводности

Условия однозначности (единственности):

- ✓ геометрические, согласно которым задаются форма и размеры твердого тела;
- ✓ физических, задаваемых физическими свойствами тела или их зависимостями от температуры;
- ✓ начальных, устанавливающих распределение температуры в теле в начальный момент времени – (временное краевое условие);
- ✓ граничные.

1. $t_c = t(x_c, y_c, z_c, \tau);$

2. $q_c = f(\tau);$

3. $q_c = \alpha \cdot [t_c(\tau) - t_{ж}(\tau)];$

4.
$$\begin{cases} -\lambda_1 \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right) \Big|_{x_{i-0}} = -\lambda_2 \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right) \Big|_{x_{i-0}} \\ t \Big|_{x_{i-0}} = t \Big|_{x_{i-0}} \end{cases}$$

Теплопроводность при стационарном режиме

Плоская стенка

$$\frac{d^2 t}{dx^2} = 0$$

$$t = t_{C1} + \frac{t_{C2} - t_{C1}}{\delta} x$$

$$\Delta t = q \cdot R$$

$$q = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^N \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^N \delta_i}{\lambda_{\text{экв. (эфф.)}}} = \sum_{i=1}^N \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$

$$\frac{1}{\lambda_{\text{экв. (эфф.)}}} = \sum_{i=1}^N \frac{r_i}{\lambda_i}, \quad r_i - \text{объемная доля}$$

Цилиндрическая стенка

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} = 0$$

$$t = t_1 + \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \ln \frac{d}{d_1}$$

$$Q = \frac{\pi l (t_{ж1} - t_{ж2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^N \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_{N+1}}}$$

$$q_l = \frac{\pi (t_{ж1} - t_{ж2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^N \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_{N+1}}}$$

Интенсификация теплопередачи

$$Q = \frac{(t_{жс1} - t_{жс2})F}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$\frac{d_2}{d_1} < 1.8$$

$$Q = \frac{(t_{жс1} - t_{жс2})}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2}}$$

$$Q = \frac{(t_{жс1} - t_{жс2})F_1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2 K_0}}$$

$$K_0 = \frac{F_2}{F_1}$$

$$\frac{\delta}{\lambda} \rightarrow 0$$

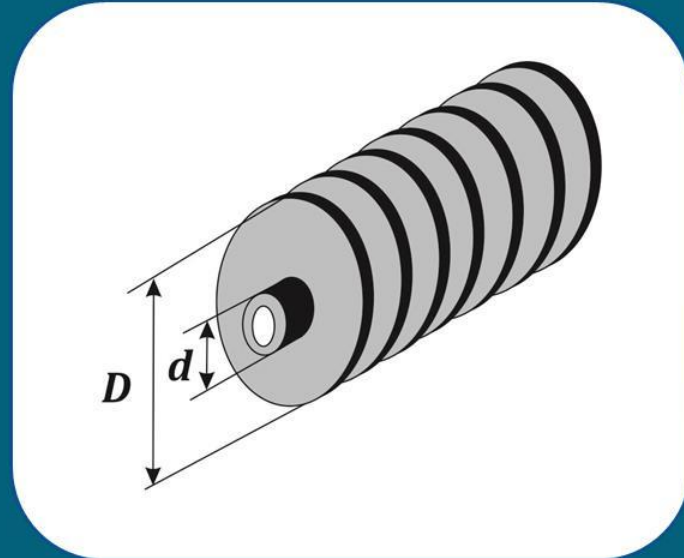
ОПТИМУМ: $\alpha_1 F_1 \approx \alpha_2 F_2$

$$\theta_0 = t_2 - t_{жс2};$$

$$Bi = \frac{\alpha_p \delta_p}{\lambda};$$

$$E = \frac{th\left(\frac{l' + 0.5 \cdot \delta_p}{\delta_p} \sqrt{2 \cdot Bi}\right)}{\frac{l' + 0.5 \cdot \delta_p}{\delta_p} \sqrt{2 \cdot Bi}};$$

$$l' = \frac{D - d}{2} \left(1 + 0.35 \ln \frac{D}{d}\right).$$



Для прямоугольных и ... применяется эквивалентный диаметр, при котором площадь поверхности такая же, что и для прямоугольных.

Теплообменными аппаратам (теплообменниками) называются устройства, предназначенные для передачи теплоты от греющего теплоносителя (с более высокой температурой) к нагреваемому теплоносителю (с низкой температурой).

В качестве теплоносителей в теплообменниках используют водяной пар, горячую воду, воздух, дымовые газы и другие тела.

Классификация: по принципу взаимодействия сред аппараты разделяются на **поверхностные** и **аппараты смешения**.

В **аппаратах смешения** происходит непосредственное перемешивание нагретого и холодного теплоносителей. При этом невозможно определить площадь поверхности теплообмена. Примерами могут служить смесительный конденсатор.

*В **поверхностных аппаратах** перенос теплоты происходит через поверхность раздела сред, которая может быть выполнена из инородного материала. Поверхностные аппараты подразделяются на **рекуперативные, контактные и регенеративные.***

*В **контактных аппаратах** теплота переносится от одной среды к другой при непосредственном взаимодействии (оросительные камеры, градирни).*

*В **регенеративных теплообменниках** одна и та же поверхность тела попеременно омывается то горячим, то холодным теплоносителем. Обычно внутри этих аппаратов помещают насадку, которая может служить аккумулятором теплоты. Поверхностью теплообмена служит именно поверхность этой насадки.*

В рекуперативных теплообменниках передача теплоты происходит от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их стенку.

Расчет рекуперативных теплообменников:

при тепловых расчетах теплообменных аппаратов определяют либо поверхность (F , m^2) теплообмена (**конструктивный**), либо мощность теплового потока (Q , Вт) и температуру нагреваемого теплоносителя на выходе (t_2'') (**поверочный**).

Для расчета привлекаются уравнения **теплового баланса** и **теплопередачи**

Уравнение теплового баланса

$$G_1(h_1'' - h_1') + G_2(h_2'' - h_2') = 0$$

$$G_1(h_1' - h_1'') = G_2(h_2'' - h_2') = Q$$

$$Q = G_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') = C_1 (t_1' - t_1'')$$

$$Q = G_2 c_{p2} (t_2'' - t_2') = C_2 (t_2'' - t_2')$$

При массообмене внутри теплообменника

$$G_1' + G_2' = G_1'' + G_2''$$

$$G_1' - G_1'' = G_2'' - G_2' = \sum_i G_{i1-2} = \sum_i G_{i2-1}$$

$$G_1'' + \sum_i G_{i1-2} = G_1'$$

$$G_2' + \sum_i G_{i2-1} = G_2''$$

$$G_1' c_{1i}' + G_2' c_{2i}' = G_1'' c_{1i}'' + G_2'' c_{2i}''$$

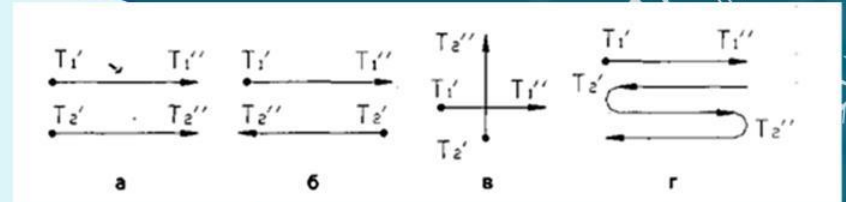
Уравнение теплопередачи

$$Q = \bar{k} \cdot \bar{\Delta t} \cdot F;$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad \bar{\Delta t} = \varepsilon(P, R) \overline{\Delta t_{\text{противоток}}}$$

$$\overline{\Delta t_{\text{противоток}}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}};$$

$$P = \frac{\delta t_2}{\Delta t_{\text{б}}} = \frac{(t_2'' - t_2')}{\Delta t_{\text{б}}}; \quad R = \frac{\delta t_1}{\delta t_2} = \frac{(t_1' - t_1'')}{(t_2'' - t_2')}.$$



$$КПД = \frac{C_1(t_1' - t_1'')}{C_2(t_2'' - t_2')}.$$

