



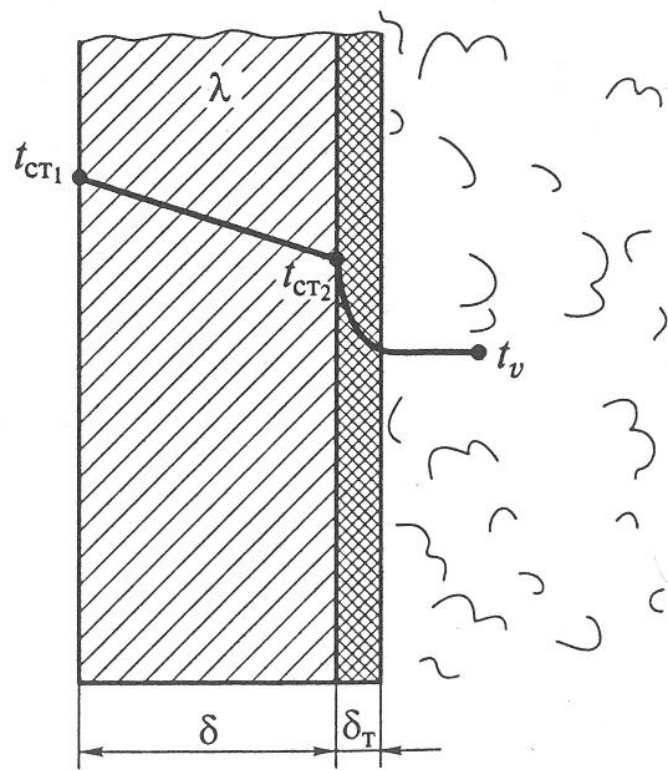
Конвекция

Основной закон конвективного теплообмена. Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Критерий Нуссельта.

Конвективный теплообмен

- Теплообмен между потоками жидкости или газа (пара) и поверхностью твердого тела называется **конвективным теплообменом** или **теплоотдачей**.
- Конвективный теплообмен обусловлен совместным действием конвективного и молекулярного переноса теплоты (теплопроводностью).
- Конвективный перенос теплоты – перенос, осуществляемый макроскопическими элементами среды при их перемещении.

Схема изменения температуры среды при конвективном теплообмене



Конвективный перенос

Конвективный перенос описывается системой уравнений:

- Уравнение Фурье – Кирхгофа;
- Уравнение движения;
- Основной закон теплоотдачи.

Основной закон теплоотдачи

- Закон Ньютона - Рихмана

$$dQ = \alpha \cdot (t_{\text{ст.}} - t_0) \cdot dF \cdot dt,$$

где α - коэффициент теплоотдачи, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

$t_{\text{ст.}}$ - температура поверхности, °С;

t_0 - температура окружающей среды, °С;

dF - площадь поверхности теплообмена, м²

dt - время, с.

Коэффициент теплоотдачи

- Коэффициент теплоотдачи α равен количеству тепла, переданного в единицу времени от стенки площадью 1 м^2 к жидкости (или от жидкости к стенке) при разности температур стенки и жидкости (вдали от стенки) равной 1° .
- Коэффициент теплоотдачи не является физической константой, зависит от большого количества факторов.

- В общем случае α является функцией формы и размеров тела, режима движения жидкости, температуры, физических характеристик жидкости.

- $$\alpha = f(c_p, \mu, \omega, \beta, \Phi, L, \rho)$$

- Величина коэффициента теплоотдачи зависит от всех факторов, влияющих на сам процесс теплообмена: скорость движения жидкости, физические свойства теплоносителя, характеристики температурного поля и гидродинамические характеристики потока, геометрическая форма Φ и размеры L поверхности теплообмена.
- Для расчета коэффициента теплоотдачи применяют обобщенные (критериальные) уравнения, получаемые с использованием теории подобия.

Уравнение Фурье-Кирхгофа (дифференциальные уравнения теплоотдачи)

- Уравнение выводится на основе закона сохранения энергии, считая, что тело однородно и изотропно (одинаковость физических свойств). Физические параметры ρ, λ, c – постоянны.
- Учитывается перемещение объемов вещества в пространстве

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

- Уравнение дополняют:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha \Delta t$$

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau = \alpha \Delta t dF d\tau$$

Теория подобия

- На основании отдельных опытов и расчетов позволяет получить обобщенную зависимость для описания конкретного случая;
- Уточнить параметры, которые следует измерять;
- Распространить полученные результаты на отдельные процессы.

Получение критериев подобия

- Полное математическое описание процесса;
- Разделить все члены уравнения на одно слагаемое или на левую или на правую части уравнения;
- Убрать символы дифференцирования, интегрирования, направления, суммирования.

Критерий Нуссельта

- определяемый критерий **Nu** называется критерием теплоотдачи. Этот критерий характеризует интенсивность теплоотдачи на границе контакта и получен из дифференциального уравнения теплоотдачи применительно к двум заранее подобным явлениям:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$$

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha \Delta t$$

Критерии теплового подобия

- Критерий Прандтля составлен из физических параметров:

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$

- Критерий Рейнольдса характеризует режим движения среды:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{\omega d}{\nu}$$

- Критерий Фурье характеризует нестационарные процессы:

$$Fo = \frac{a\tau}{l^2}$$

Критерий Грасгофа

- Критерий Грасгофа характеризует подъемную силу, возникающую в жидкости вследствие разности плотностей, т.е. характеризует интенсивность свободного движения:

$$Gr = \frac{gl^3}{\nu^2} \beta_t \Delta t$$

- g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;
- β_t - температурный коэффициент объемного расширения, $1/\text{град}$;
- Δt - разность температур, град;
- l - характерный размер, м;
- ν - коэффициент кинематической вязкости, м/с^2 .

Критерий Грасгофа применяется в основном в критериальных уравнениях для свободной конвекции

- Если процессы протекают в геометрически подобных системах, описываются одной и той же системой уравнений при равенстве определяющих и определяемых критериев, то процессы подобны.
- Определяющие критерии Re , Gr , Pr
- Определяемый - Nu

Критериальное уравнение

- Вид критериального уравнения теплоотдачи следующий:

$$Nu = f(Fo, Re, Gr, Pr, X_1, X_2, \dots),$$

где X_1, X_2 - безразмерные симплексы.

- В виде степенной функции:

$$Nu = A Re^m Pr^k Fo^n Gr^c$$