

Строительная теплотехника

Преподаватель

Соколов Александр Николаевич

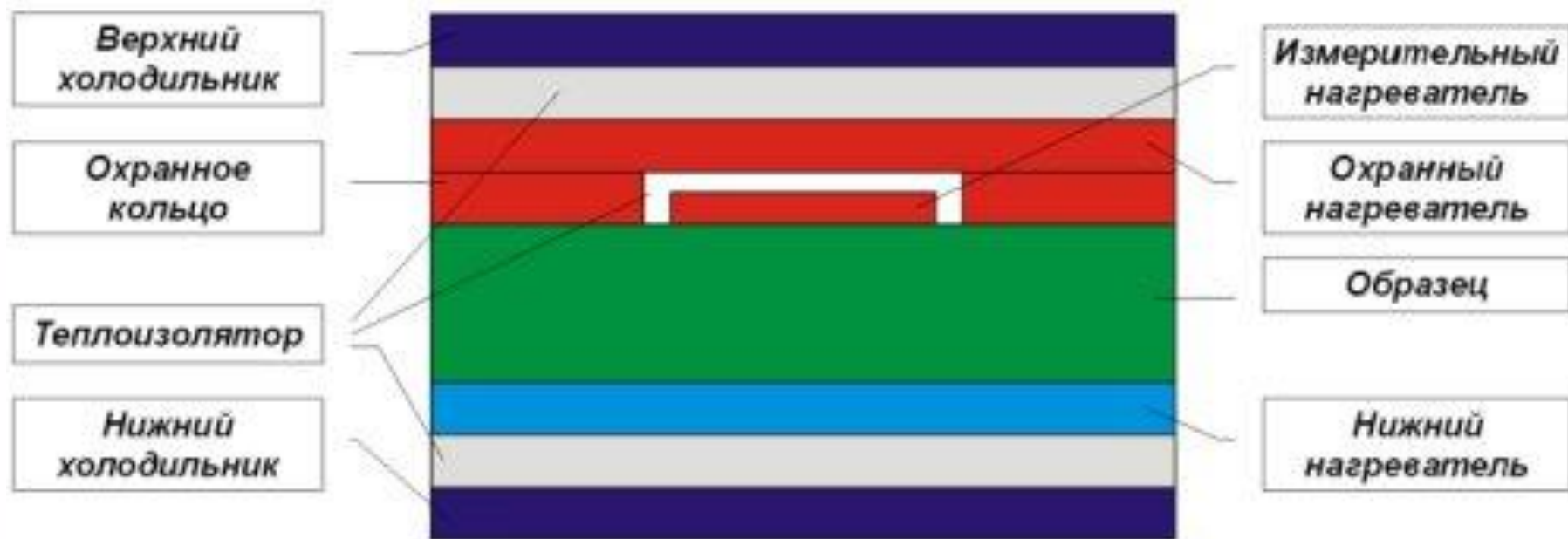
Лекция 2 - Тезисы

- Виды теплопередачи
- Уравнение теплопроводности
- Теплообмен на поверхностях ограждения

Виды теплопередачи

- Теплопроводность
 - теплообмен между непосредственно соприкасающимися частицами среды с различной температурой, при котором происходит обмен энергией теплового движения структурных частиц (молекул, атомов, свободных электронов)
 - Теплопроводность не связана с переносом вещества

Метод измерения теплопроводности



Решение задач теплопроводности
связано с определением

$$t = f(x, y, z) \quad \text{уравнение Лапласа}$$

$$t = f(x, y, z, \theta) \quad \text{уравнение Фурье}$$

$$Q = \lambda(\Delta t / \delta) \cdot S \cdot \theta, \text{Дж}$$

- Количество тепла, проходящее через слой площадью S толщиной δ за время θ и разности температур Δt

- Коэффициент теплопроводности материала характеризует способность материала в той или иной степени проводить тепло через свою массу

$$\lambda = Q \cdot \frac{\delta}{(\Delta t \cdot S \cdot \theta)}, \text{Вт}/(\text{мК})$$

- количество тепла, проходящее за 1 с через 1 м² слоя толщиной 1 м при разности температур на границах слоя в 1 градус

Дифференциальное уравнение теплопроводности (уравнение Фурье)

При отсутствии внутренних источников тепла

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

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{\lambda}{c\rho} \cdot \nabla^2 t$$

Дифференциальное уравнение теплопроводности при одномерном распространении тепла (в направлении x)
уравнение Фурье

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{\lambda}{c\rho} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$$

Коэффициент температуропроводности

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} \left[\frac{\text{М}^2}{\text{с}} \right]$$

Физический смысл уравнения Фурье

в каждой точке среды
изменение температуры во времени
пропорционально
пространственному изменению градиента
температуры

В случае неоднородного материала

$$q = -\lambda(x) \frac{dt}{dx}$$

$$\frac{dq}{dx} = -\frac{d}{dx} \left[\lambda(x) \frac{dt}{dx} \right]$$

Нелинейное уравнение
теплопроводности с переменными
коэффициентами

$$c\rho(x)\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right]$$

$$c\rho(x, y, z)\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x, y, z) \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(x, y, z) \frac{\partial t}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(x, y, z) \frac{\partial t}{\partial z} \right]$$

Уравнение Фурье

является

уравнением нестационарного поля
любого потенциала переноса

При стационарных условиях

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = 0$$

Дифференциальное уравнение
температурного поля
при стационарных условиях
уравнение Лапласа

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

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

Физический смысл уравнения Лапласа

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

$$- \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} - \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} - \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial q}{\partial z} = 0$$

Плотность теплового потока

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

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}$$

При одномерной передаче тепла
через однородный слой

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

- $t = f(x)$ – линейная функция

- Плотность теплового потока

$$q = \text{Const}$$

Для плоского однородного слоя

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

Граничные условия:

$$x = 0 \quad t = \tau_1$$

$$x = \delta \quad t = \tau_2$$

Интегрируем

$$\frac{dt}{dx} = C_1 \quad \frac{d^2 t}{dx^2} = 0$$

$$t = C_1 x + C_2$$

Из граничных условий

$$x = 0 \quad t = \tau_1 \quad \tau_1 = C_2$$

$$C_2 = \tau_1$$

$$x = \delta \quad t = \tau_2 \quad \tau_2 = C_1\delta + C_2$$

$$C_1 = -\frac{\tau_1 - \tau_2}{\delta}$$

Распределение температур по толщине
слоя

$$t = C_1 x + C_2$$

$$t = -\frac{\tau_1 - \tau_2}{\delta} x + \tau_1$$

$$t = \tau_1 - \frac{\tau_1 - \tau_2}{\delta} x$$

Плотность теплового потока

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}$$

$$\frac{dt}{dx} = C_1 = -\frac{\tau_1 - \tau_2}{\delta}$$

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_1 - \tau_2)$$

В случае неоднородного материала

$$c\rho(x)\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right]$$

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = 0 \quad \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right] = 0$$

В случае неоднородного материала

$$c\rho(x)\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right]$$

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = 0 \quad \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right] = 0$$

$$R = \frac{x}{\lambda} \quad \frac{\partial^2 t}{\partial R^2} = 0$$

Конвекция

– перенос тепла движущимися частицами жидкости или газа. При этом перенос теплоты осуществляется одновременно конвекцией и теплопроводностью

Конвекция

$$\vec{q} = \rho \vec{w} h$$

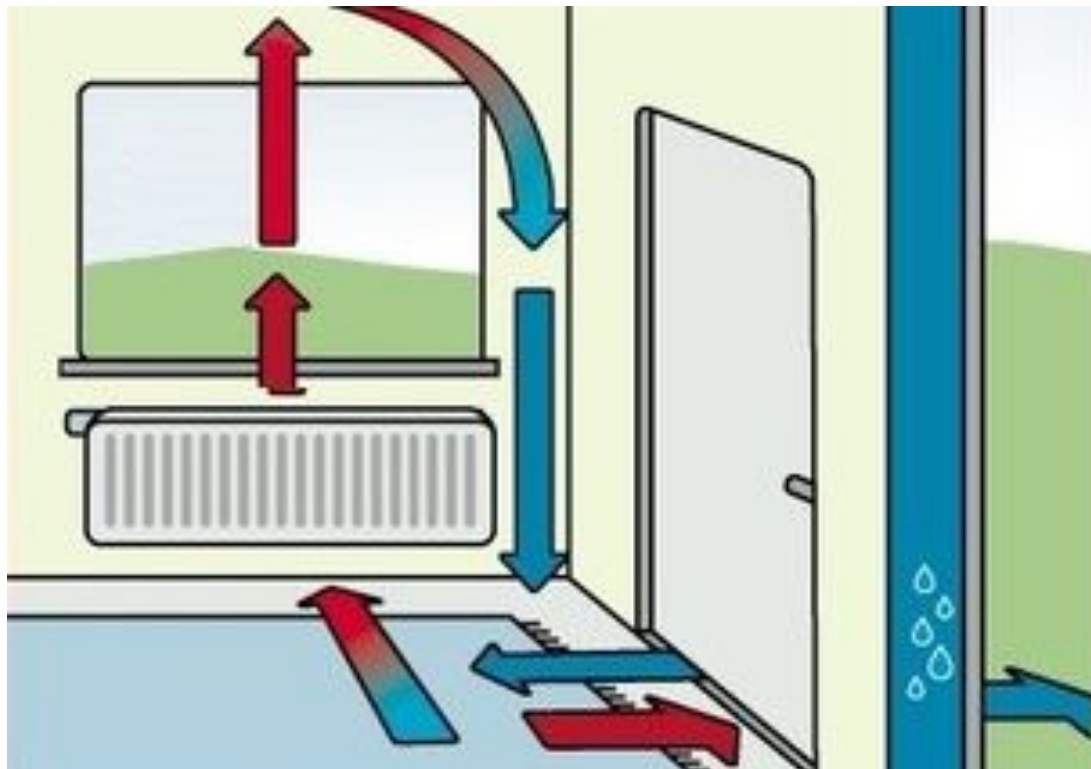
$\rho \vec{w}$ кг/(м²·с);

где \vec{w} - скорость;

ρ - плотность жидкости.

Конвекция

Естественная конвекция – движение обусловлено разностью температур, следовательно неодинаковой плотностью



Конвекция

Вынужденная конвекция – движение частиц вызвано внешним воздействием



Излучение

– перенос энергии в виде электромагнитных волн между двумя взаимно излучающими поверхностями (различно нагретыми поверхностями твёрдых тел, разделённых лучепрозрачной средой)



Теплопередача излучением

При нагревании какого-либо тела часть тепловой энергии превращается на его поверхности в энергию лучистую. Излучение тепла поверхностью тела аналогично световому излучению и отличается от него длиной волн.

Видимые световые лучи имеют длины волн от 0,4 до 0,8 μ , а тепловые (инфракрасные) лучи – от 0,8 до 800 μ .

Законы распространения, отражения и преломления, установленные для видимых световых лучей, справедливы и для тепловых.

Материал	Степень черноты
Кирпич красный, мрамор шлифованный, штукатурка, рубероид и т.д.	0.91-0.94
Краски малярные	0.8
Гладкая поверхность бетона	0.6
Железо оцинкованное	0.28
Железо полированное	0.128
Алюминий	0.04-0.06

Спектральная интенсивность

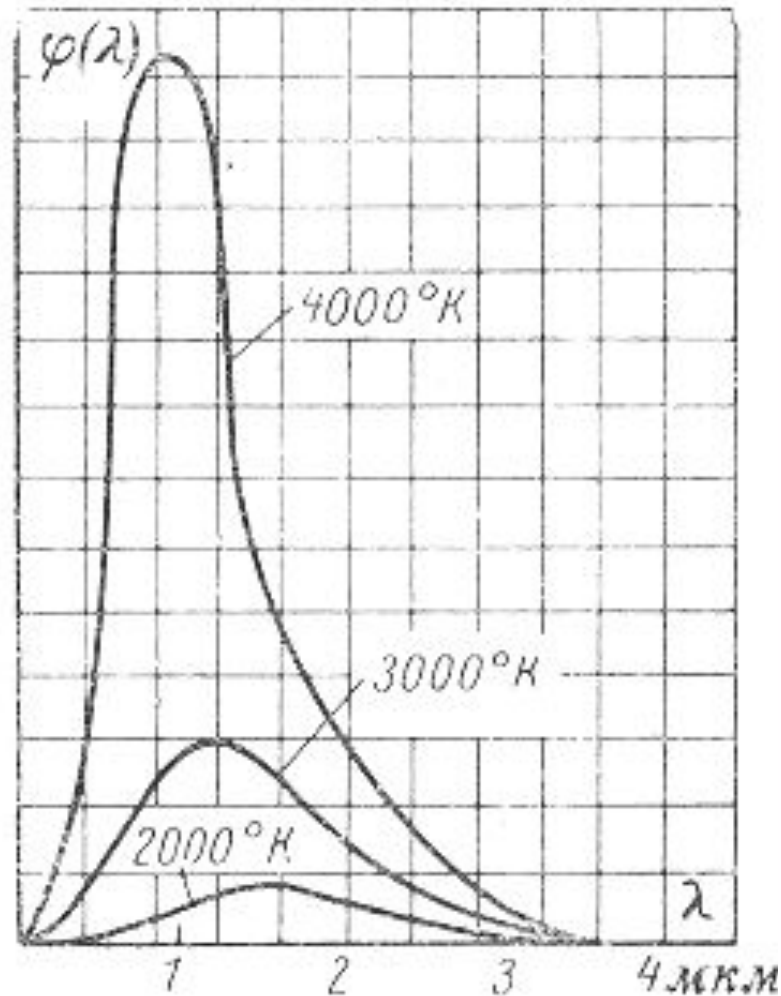
распределение излучаемой энергии по длинам волн характеризуется спектральной интенсивностью излучения

$$\varphi(\lambda) = \frac{dR}{d\lambda}$$

$$R = \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda$$

Кривые зависимостей спектральной интенсивности излучения

от длины волны для источников, имеющих различную температуру



Тепловое излучение

- Закон Вина

$$T\lambda_{\max} = \textit{Const}$$

Тепловое излучение

- Длины волн $\lambda = 8 \cdot 10^{-7} \div 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}$

- При температуре $0 \div 150^\circ \text{ C}$

$$\lambda_{\text{м}} = (11 \div 7) \cdot 10^{-6}$$

Тепло, передаваемое излучением от более нагретой поверхности S_1 к поверхности S_2

$$Q = 5,67 \varepsilon_{\text{ПР}} S_1 \psi \left((T_1/100)^4 - (T_2/100)^4 \right)$$

$\varepsilon_{\text{ПР}}$ — приведенный относительный коэффициент излучения при теплообмене между двумя серыми поверхностями

ψ — угловой коэффициент излучения

Теплопередача

– перенос тепла

из одной воздушной среды
(более нагретой)

в другую (менее нагретую)

через разделяющую эти среды ОК,
включающий все виды теплообмена

Тепловосприятие

– процесс теплообмена
между поверхностью ОК
и прилегающей к ней
нагретой воздушной средой

Теплоотдача

– процесс теплообмена
между поверхностью ОК
и прилегающей к ней
охлажденной воздушной средой

Теплообмен на поверхностях ограждения

$$q = \alpha \cdot \Delta t$$

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_L$$

Коэффициенты теплоотдачи
внутренней и наружной
поверхностей

$$\alpha_{\text{В}} = \alpha_{\text{int}} = \alpha_i$$

$$\alpha_{\text{Н}} = \alpha_{\text{ext}} = \alpha_e$$

Коэффициенты теплоотдачи
внутренней и наружной
поверхностей

$$\alpha_{\text{В}} = \frac{q}{(t_{\text{В}} - \tau_{\text{В}})}$$

$$\alpha_{\text{Н}} = \frac{q}{(\tau_{\text{Н}} - t_{\text{Н}})}$$

$$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$$

Количество теплоты, передаваемое конвекцией, зависит от

- Разности температур воздуха и поверхности
- Характера движения воздуха

Тепло, передаваемое излучением от более нагретой поверхности S_1 к поверхности S_2

$$Q = 5,67 \varepsilon_{\text{ПР}} S_1 \psi \left((T_1/100)^4 - (T_2/100)^4 \right)$$

$\varepsilon_{\text{ПР}}$ — приведенный относительный коэффициент излучения при теплообмене между двумя серыми поверхностями

ψ — угловой коэффициент излучения

$$Q = 5,67 \varepsilon_{\text{ПР}} S_1 \psi ((T_1/100)^4 - (T_2/100)^4)$$

$$q = 5,67 \varepsilon_{\text{ПР}} \psi ((T_1/100)^4 - (T_2/100)^4)$$

$$((T_1/100)^4 - (T_2/100)^4) = b (\tau_1 - \tau_2)$$

$$b = 0,81 + 0,01 (\tau_1 + \tau_2) / 2$$

$$q = 5,67 \varepsilon_{\text{ПР}} \psi b (\tau_1 - \tau_2) = \alpha_{\text{Л}} (\tau_1 - \tau_2)$$

$$q = 5,67 \varepsilon_{\text{пр}} \psi b (t_R - \tau_B) = \alpha_{\text{л}} (t_R - \tau_B)$$

$$t_R = \frac{\sum \psi_i \tau_i}{\sum \psi_i} = \sum \psi_i \tau_i$$

$$t_R \approx t_{\text{ср}} = \frac{\sum S_i \tau_i}{\sum S_i}$$

Таблица 4*

Внутренняя поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{в}$, Вт/(м ² · °С)
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты h ребер к расстоянию a между гранями соседних ребер $\frac{h}{a} \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $\frac{h}{a} > 0,3$	7,6
3. Зенитных фонарей	9,9

Примечание. Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{в}$ внутренней поверхности ограждающих конструкций животноводческих и птицеводческих зданий следует принимать в соответствии со СНиП 2.10.03-84.

Таблица 6*

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий α_n , Вт/(м ² · °С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6