

1. Способы распространения теплоты в пространстве
2. Температурное поле и его виды
3. Основной закон теплопроводности – закон Фурье
4. Распространение теплоты в однослойной плоской стенке.
5. Распространение теплоты в многослойной плоской стенке.

1. СПОСОБЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОТЫ В ПРОСТРАНСТВЕ

Теплообменом называется самопроизвольный необратимый процесс переноса теплоты в пространстве с неоднородным распределением температуры.

Теплообмен в общем случае может осуществляться тремя различными способами: теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением (радиацией).

Теплопроводность (кондуктивный теплообмен) — это процесс распространения теплоты за счет непосредственного соприкосновения тел (частиц тела) друг с другом. Она обусловлена движением микрочастиц (молекул) тела и возможна в твердых, жидких и газообразных средах.

Конвекция — это перенос теплоты движущимися макрообъемами жидкости или газа. Чем больше скорость движения среды, тем интенсивнее конвекция. Кондуктивный перенос теплоты всегда сопровождается теплопроводностью.

Тепловое излучение (радиация) — это распространение теплоты в пространстве посредством электромагнитных волн. Оно может происходить в вакууме, а также в средах, полностью или частично пропускающих излучение. При теплообмене излучением часть внутренней энергии излучателя превращается в энергию электромагнитных волн, которые распространяются в пространстве, а затем поглощается другим телом, превращаясь в тепловую энергию. Тепловое излучение в чистом виде реализуется только в вакууме, а в газах, жидких и твердых средах оно сопровождается теплопроводностью и конвекцией.

Совокупность трех перечисленных выше способов теплообмена называется *сложным теплообменом*.

2. ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ И ЕГО ВИДЫ

Перенос теплоты, как всякое физическое явление, происходит в пространстве и во времени, поэтому температура в той или иной среде в общем случае зависит от координат рассматриваемой точки x , y , z и времени τ :

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

Температурным полем называется совокупность мгновенных значений температуры в пространстве.

Если температурное поле во времени не изменяется, то оно называется *стационарным*, а если изменяется, то *нестационарным*.

Тепловой режим, соответствующий стационарному температурному полю, называют *установившимся*, а тепловой режим, соответствующий нестационарному температурному полю, — *неустановившимся*.

Если температуру рассматривать только вдоль одной координаты, то температурное поле называют *одномерным*, если вдоль двух координат — *двумерным*, вдоль трех — *трехмерным*.

Различают также *однородные* и *неоднородные* температурные поля. В первом случае температура во всех точках температурного поля в любой момент времени одна и та же, во втором — нет.

В неоднородном температурном поле можно выделить точки с одинаковым значением температуры. Они образуют так называемую изотермическую поверхность.

3. ОСНОВНОЙ ЗАКОН ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ – ЗАКОН ФУРЬЕ

В неоднородном температурном поле возникает перенос теплоты — по одному или нескольким описанным выше способам (теплопроводность, конвекция, излучение), который характеризуется тепловым потоком.

Тепловым потоком Φ называют количество теплоты, проходящее в единицу времени через произвольную поверхность. Измеряется в Ваттах (Вт)

Интенсивность переноса теплоты характеризуется поверхностной плотностью теплового потока, под которой понимают тепловой поток, равномерно распределенный на единице площади поверхности:

$$q = \Phi/A, \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

где A — площадь поверхности в м^2 , через которую проходит тепловой поток Φ .

Различают местную (локальную) и среднюю по поверхности A плотность теплового потока.

*{Связь между ними устанавливается соотношением

$$q = \frac{1}{A} \int_A q_{\text{л}} dA$$

где $q_{\text{л}}$ и q — соответственно локальная и средняя по поверхности A плотность теплового потока.

Тепловой поток и плотность теплового потока могут быть выражены как в векторной, так и в скалярной форме.

Под *вектором плотности теплового потока* понимают вектор в любом направлении, проекция которого есть местная плотность теплового потока, проходящего через перпендикулярно расположенную площадь. }

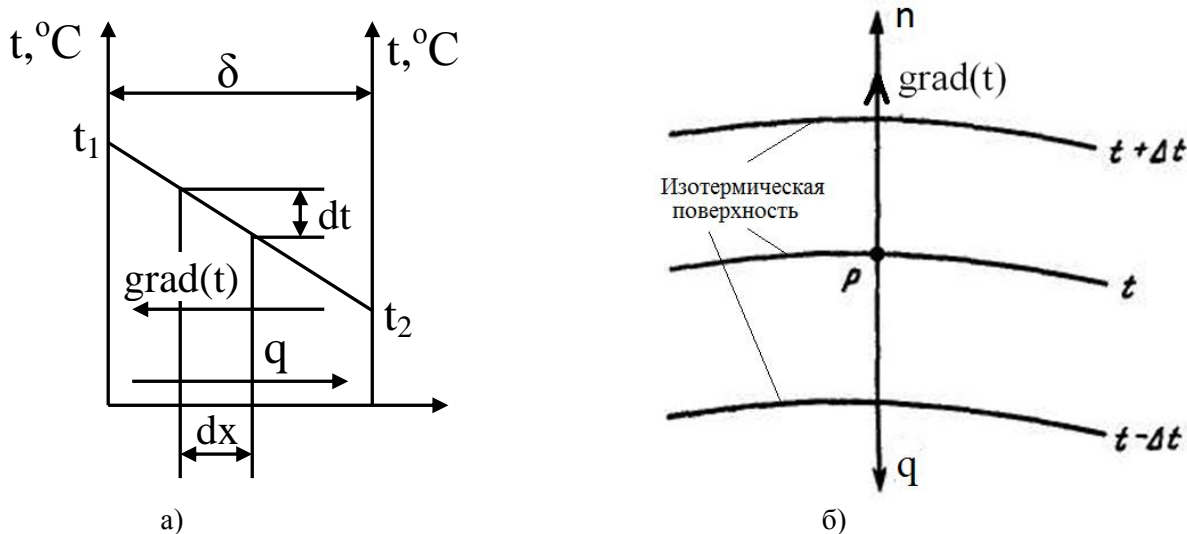


Рис. 1. К формулировке основного закона теплопроводности Фурье.

Основной закон теплопроводности (закон Фурье) гласит: плотность теплового потока прямо пропорциональна градиенту температуры:

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad}(t) \quad (2)$$

где λ — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплопроводности, Вт/(м·К),

$\text{grad}(t)$ — температурный градиент, показывающий на сколько интенсивно изменяется температура по толщине стенки δ (рис. 1).

Знак минус отражает разнонаправленность векторов $\text{grad}(t)$ и q : вектор $\text{grad}(t)$ по определению направлен в сторону возрастания температуры, а вектор q — в сторону ее убывания.

Скалярная запись уравнения (2) имеет вид:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dn} \quad (3)$$

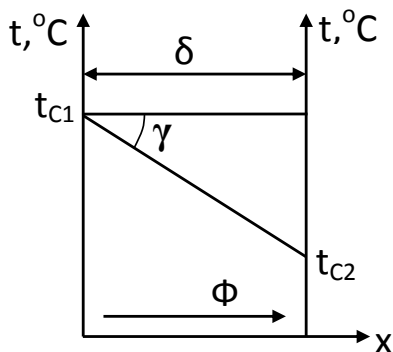
Где dt/dn – средний градиент температуры;
 dt - перепад температур между двумя изотермическими поверхностями (рис. 1,б);
 dn - расстояние между двумя изотермическими поверхностями, измеренное по нормали к этим поверхностям (рис. 1,б).

Выразим из уравнения (3) коэффициент теплопроводности:
$$\lambda = -\frac{q}{\left(\frac{dt}{dn}\right)} \quad (4)$$

Коэффициент теплопроводности λ является физическим параметром вещества, характеризующим его способность проводить теплоту, который определяет количество теплоты, проходящее в единицу времени через 1 м^2 изотермической поверхности при $grad(t)=1$.

Его значения обычно определяются опытным путем и приводятся в теплофизических справочниках.

4. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В ОДНОСЛОЙНОЙ ПЛОСКОЙ СТЕНКЕ



Рассмотрим процесс теплопроводности в плоской стенке толщиной δ .

Допустим, что тепловой поток Φ постоянен и распространяется только в направлении координаты x , температуры поверхностей стенки t_{C1} и t_{C2} постоянны, а теплопроводность λ не зависит от температуры.

В соответствии с законом теплопроводности можно записать

Рис.2. Распределение температуры в плоской стенке при $\Phi = \text{const}$.

$$\Phi = q \cdot A = -\lambda \frac{dt}{dx} A = \text{const} \quad (5)$$

где A — площадь поверхности стенки, м^2 .

Проинтегрируем переменные в уравнении (5) в пределах от t_{C1} до t_{C2} и от 0 до δ :

$$\int_{t_{C1}}^{t_{C2}} dt = -\int_0^{\delta} \frac{\Phi}{\lambda \cdot A} dx \quad (6)$$

После интегрирования получим уравнение для теплового потока Φ :

$$\Phi = q \cdot A = \frac{\lambda}{\delta} (t_{C1} - t_{C2}) \cdot A, \text{ Вт} \quad (7)$$

Из уравнения (7) видно, что в стационарном режиме тепловой поток через плоскую стенку прямо пропорционален разности температур поверхностей стенки и обратно пропорционален толщине стенки.

Из рис. 2 видно, что в плоской стенке наблюдается линейное распределение температуры (линия $t_{C1}-t_{C2}$).

Линия температур по толщине стенки отклоняется на угол γ в зависимости от значения коэффициента теплопроводности λ материала стенки:
$$\text{tg}(\gamma) = \frac{\Phi}{\lambda \cdot A} \quad (8)$$

Отношение разности температур поверхностей стенки к плотности теплового потока в какой-либо точке поверхности, называется внутренним термическим сопротивлением стенки:

$$R_{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{t_{C1} - t_{C2}}{q}, \text{ (м} \cdot \text{К)/Вт.} \quad (9)$$

Общее количество теплоты, переданное через стенку за время τ равно:

$$Q = q \cdot A \cdot \tau, \quad \text{Дж} \quad (10)$$

5. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В МНОГОСЛОЙНОЙ ПЛОСКОЙ СТЕНКЕ.

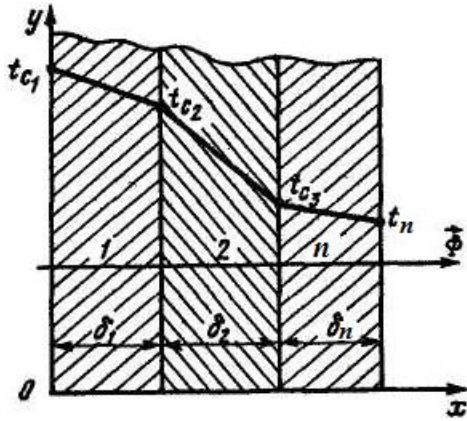


Рис.3. Распределение температуры в многослойной стенке при $\Phi = \text{const}$

На рис.3 изображена стенка, состоящая из слоев различной толщины $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$. Теплопроводность отдельных слоев обозначим: $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. Тепловой поток Φ распространяется в направлении оси x и имеет одинаковое значение во всех слоях.

Составим систему уравнений для теплового потока в каждом отдельном слое:

$$\begin{cases} \Phi = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_{c1} - t_{c2}) A \\ \Phi = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_{c2} - t_{c3}) A \\ \Phi = \frac{\lambda_n}{\delta_n} (t_{cn} - t_{c(n+1)}) A \end{cases} \quad (11)$$

Преобразуя данную систему, получим общее уравнение теплового потока для многослойной стенки:

$$\Phi = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} (t_{c1} - t_{c(n+1)}) A = \frac{1}{R_\lambda} (t_{c1} - t_{c(n+1)}) A \quad (12)$$

Из данного уравнения следует, что термическое сопротивление плоской многослойной стенки равно сумме термических сопротивлений составляющих ее слоев. Полное термическое сопротивление плоской многослойной стенки будет равно:

$$R_\lambda = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \text{ (м}\cdot\text{К)/Вт} \quad (13)$$

Как видно на рис. 3, в пределах каждого слоя наблюдается линейное распределение температуры. При этом, линия температур в каждом слое отклоняется на угловой коэффициент γ , в зависимости от значения коэффициента теплопроводности λ материала слоя.