

**Кафедра «Теплоэнергетика»**

Лекция №1 на тему:

# Основные определения в теплопередаче

По дисциплине «Тепломассообмен»

- Теплопередача или теплообмен – учение о самопроизвольных необратимых процессах распространения теплоты в пространстве с неоднородным полем температур.
- Процесс распространения теплоты – это обмен внутренней энергией между отдельными элементами, областями рассматриваемой среды.

### 3 способа переноса теплоты:

1. Теплопроводность – это молекулярный перенос  $Q$  между непосредственно соприкасающимися телами или между частицами одного тела с различной  $t$  °C, при котором происходит обмен энергией движения структурных частиц (молекулы, атомы, свободные электроны)  
Тем самым частицы более нагретой части тела имеют большую; сталкиваясь с менее нагретыми частицами в процессе беспорядочного движения, передают им часть своей  $\Rightarrow$  одно тело нагревается, а другое охлаждается.
2. Конвекция – возможна только в текучей среде. Это процесс переноса  $Q$  при перемещении объёмов жидкости или газа в пространстве из области с одной  $t$  °C в область с другой  $t$  °C. При этом, перенос  $Q$  связан с переносом самой среды.



3. Тепловое излучение – процесс распространения  $Q$  с помощью электромагнитных волн, обусловленных только температурой и оптическими свойствами излучающего тела; при этом внутренняя энергия тела (среды) переходит в энергию излучения. Тем самым внутренняя энергия вещества превращается в энергию излучения  $\Rightarrow$  перенос  $Q \Rightarrow$  поглощение  $Q$  другим веществом. Часто все способы переноса теплоты осуществляются совместно. Например, конвекция всегда сопровождается теплопроводностью, так как при этом неизбежно соприкосновение частиц, имеющих различные  $t$  °C  $\Rightarrow$  конвективный теплообмен!

Конвективный теплообмен между потоками жидкости или газа и поверхностью твёрдого тела называется теплоотдача. Многие процессы переноса  $Q$  сопровождаются переносом вещества – массообменом. Совместное протекание процессов теплообмена и массообмена – называется тепломассообменом. Передача  $Q$  от горячей жидкости и холодной жидкости через разделяющую стенку называется – теплопередачей.

Например, котёл:

1. Трубы конвективные получают  $Q$  от факела в результате радиационно-конвективного теплообмена;



2. Через загрязнения и стенку трубки  $Q$  передаётся теплопроводностью;
3. От внутренней стенки трубки к жидкости  $Q$  передаётся конвективным теплообменом.

## “Теплопроводность”

### Основные положения теплопроводности.

Теплопроводность определяется тепловым движением микрочастиц тела.

В чистом виде это явление существует в твёрдых телах, неподвижных газов и жидкостях при условии невозможности возникновения в них конвективных токов.

-  В газах  $\rightarrow Q$  переносится с помощью атомов и молекул. Внутренний механизм этих явлений – хаотическое тепловое движение молекул, приводящее и их перемешиванию.
-  - в жидкостях и диэлектриках  $\rightarrow$  перенос  $Q$  за счёт свободных электронов.
-  Теория теплопроводности вещество рассматривает как сплошную среду. Передача  $Q$  связана с разностью  $t$  °с тела.
-  Температурное поле – совокупность значений температур всех точек тела в данный момент времени.



В общем случае уравнение температурного поля имеет вид:

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad \dots (1)$$

где  $t$  – температура тела;  $x, y, z$  – координаты точки;  $\tau$  – время.

Такое поле называется – нестационарным и отвечает неустановившемуся режиму теплопроводности. Если  $t \text{ } ^\circ\text{C}$  тела = const с течением времени, то поле называется – стационарным.

Тогда:

$$t = f(x, y, z); \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \quad \dots (2)$$

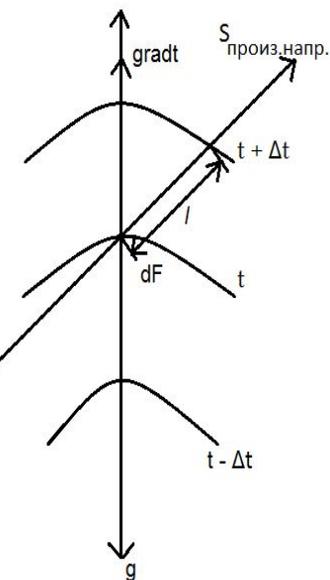
Температурное поле может быть функцией одной, двух и трёх координат тогда оно будет одно - , двух – или трёхмерным. Наиболее простое имеет уравнение одномерного стационарного температурного поля

$$t = f(x); \quad \frac{\partial t}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial t}{\partial y} = 0 \quad \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \dots (3)$$

Если соединить все точки тела с одинаковой  $t \text{ } ^\circ\text{C}$ , то получим поверхности равных  $t \text{ } ^\circ\text{C}$  – изотермические поверхности. Они не пересекаются, они замыкаются на себе (шар), либо заканчиваются на границе тела (курис. 1.

Температура в теле изменяется только в направлениях, пересекающих изотермические поверхности! Наибольший перепад  $\Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}$  на единицу длины происходит в направлении нормали  $n$  к изотермической поверхности

$$\left(\frac{dt}{ds}\right)_{max} = \frac{dt}{dn} = \text{grad}t \quad \dots (4)$$



Вектор  $\text{grad}t$  называется температурным градиентом и является мерой интенсивности изменения  $t, ^\circ\text{C}$  в направлении по  $n$  к изотермной поверхности. Направлен в сторону возрастания  $t, ^\circ\text{C}$ .

### 3. Тепловой поток, закон Фурье.

Гипотеза Фурье – количество теплоты, проходящее через элемент изотермической поверхности  $dF$  за промежуток времени  $d\tau$ , пропорционально температурному градиенту  $\frac{\partial t}{\partial n}$

$$dQ_r = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau \dots (5)$$

Знак “ — ” – указывает на то, что  $Q$  передаётся в направлении уменьшения температуры.

→ Количество  $Q$ , прошедшее в единицу времени через единицу изотермной поверхности называется плотность теплового потока  $[\text{Вт}/\text{м}^2]$ :

$$q = \frac{dQ_r}{dF d\tau} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = -\lambda \text{grad}t \dots (6)$$

Уравнения (5) и (6) – математические выражения основного закона теплопроводности – закона Фурье.

Проекция вектора  $q$  на оси:

$q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x}$ ;  $q_y = -\lambda \frac{\partial t}{\partial y}$ ;  $q_z = -\lambda \frac{\partial t}{\partial z}$   
 Числитель  $q_x, q_y, q_z$  называется  $q_x, q_y, q_z$  единицу времени через изотермную поверхность  $F$  называется тепловым потоком  $[\text{Вт}]$ .

$$Q = \int_F q dF = \int_{-F} \lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF \dots (7)$$



Полное количество  $Q$  через  $F$  за время  $\tau$

$$Q_\tau = \int_{-0}^{\tau} \int_F \lambda \frac{dt}{dn} dF d\tau \dots (8)$$

#### 4. Коэффициент теплопроводности.

→ является физическим параметром вещества, характеризующим его способность проводить  $Q$ .

Из уравнения (5):

$$\lambda = - \frac{\frac{dQ_\tau}{\partial t}}{\frac{\partial n}{\partial F \partial \tau}} \dots (9)$$

Численно равен количеству  $Q$ , проходящему в единицу времени  $\tau$

Через единицу изотермной поверхности при  $q_{gradt} = 1$ .  $\Phi$  определяется из справочных таблиц (они получены из экспериментов).

Наихудший проводник – ГАЗЫ.  $\lambda \uparrow$  с  $\uparrow t$  и составляет

$$\lambda = 0,006 \dots 0,6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$$

0,6 – относится к гелию и водороду, для воздуха –

$$\lambda = 0,0244 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град}) \text{ – при } t=0 \text{ } ^\circ\text{C},$$

Для жидкости  $\lambda = 0,07 \dots 0,7$  и  $\downarrow$  с  $^\circ\text{C}$ ,

Металлы – наилучшие проводники  $Q$ .  $\lambda = 20 \dots 418 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ . Самый теплопроводный металл – серебро. Для большинства металлов  $\lambda \downarrow$  с  $\downarrow t \text{ } ^\circ\text{C}$ , и из-за примесей.

Материалы с  $\lambda < 0,25 / 5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$  – применяется обычно для тепловой изоляции – называется теплоизоляционными.



Большинство из них имеют пористое строение, что не позволяет их рассматривать как сплошную среду.

$\Lambda$  таких материалов – условная величина, характеризует перенос  $Q$ , как теплопроводностью, так и конвекцией и излучением через заполненные газом поры.  $\lambda \uparrow$  при  $\uparrow$  объёмной доли материала, так как  $\lambda$  газов маленькое. При  $\uparrow$  размеров пор  $\Rightarrow$

Ухудшение теплоизоляции, так как появляются конвективные точки.  $\lambda$  пористых  $\uparrow$  с  $\uparrow$   $t$ , °С, и с  $\uparrow$   $\phi$  влажность материала.

Табл. Теплопроводность твёрдых тел, Вт/(м\*К)

Материал	$\lambda$	Материал	$\lambda$
Серебро...	410	Дерево вдоль волокна	0,35...0,7
Медь...	360	Песок речной сухой	0,3...0,4
Сталь легированная	17 - 45	<u>Изолирующие материалы</u>	
Сталь углеродистая	45...55	Асбест	0,15...0,2
Алюминий	200-230	Плита из пробки	0,05...0,1
Латунь	100	Опилки	0,07



Строительные материалы	$\lambda$	Материалы	$\lambda$
Бетон...	1,3	Котельная накипь...	0,7...2,3
Кирпичная кладка...	0,75	Уголь...	0,12...0,22
Стекло...	0,75	Снег свежевывпавший	0,1
Штукатурка...	0,7...0,9	Снег уплотнённый	0,5
		Шлак котельный	0,3

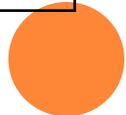


Таблица 1.1. Теплопроводность  $\lambda$  некоторых веществ и материалов.

Вещество или материал	T, К	$\lambda$ , Вт/(м*К)
Серебро	273	420
Медь	273	395
Алюминий	273	207
Латунь(67% Cu, 33% Zn)	273	101
Натрий	273	71
Сталь 20	273	55
Нержавеющая сталь X18H9T	273	14
Бетон сухой	273	0,84
Кирпич красный	273	0,7
Вода(состояние насыщения)	273	0,683
Водород	273	0,172
Гелий	273	0,143
Кирпич диатомитовый	273	0,113
Трансформаторное масло	273	0,112
Кирпич пеношамотный	273	0,1

Вещество или материал	T, К	$\lambda$ , Вт/(м*К)
Котельная накипь, богатая силикатом	373	0,08
Воздух	273	0,0244
Водяной пар(состояние насыщения)	373	0,0237
Хлор	273	0,0089

Теплопроводность зависит от температуры вещества. В таблице приведены значения  $\lambda$  для отдельных представителей различных веществ и материалов в обычных условиях. При сверхнизких (криогенных) температурах теплопроводность некоторых металлов может достигать очень больших значений. Например для чистой меди при  $T \approx 10\text{К}$ ,  $\lambda \approx \quad \text{Вт}/(\text{м} \cdot 10^4$ .

