

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Список литературы

1. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. Под общ. ред. академика В.С.Авдуевского и проф. В.К.Кошкина. Москва, Машиностроение, 1992.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. второе, Москва, Энергия, 1977.
3. Болгарский А.В., Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. Учебн. для вузов. М. Высшая школа, 1975.
4. Михайлова М.М. Сборник задач и примеров расчета по теплопередаче. Москва, 1963.
5. Саркисов Г.И. Справочник к курсовым и расчетно-графическим работам по курсу "Теплопередача". Учебное пособие. Москва, 1981. Скачать: в djvu-формате (853 КБ) - в pdf-формате (8.58 МБ)
6. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Москва, Наука, 1972.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Основы теории теплопередачи

Теорией теплопередачи или теплообмена называется наука, изучающая процессы переноса тепла в пространстве с неоднородным температурным полем.

Известны два пути построения физических знаний: феноменологический и молекулярно-кинетический (статистический). Мы будем придерживаться первого подхода,

2. Виды теплообмена

1. Теплопроводность.
2. Конвективный теплообмен.
3. Лучистый теплообмен.

Теплопроводность осуществляется путем передачи энергии от одних элементарных частиц тела к другим вследствие микродвижений этих элементарных частиц. Для газов такими частицами являются молекулы. Молекулы газа в той его части, которая имеет более высокую температуру, обладают большей средней кинетической энергией. При столкновении молекул газа происходит обмен кинетической энергией, в результате чего тепло передается от более прогретых частей газа к более холодным. В твердых телах обмен энергией происходит между свободными электронами, а также между узлами кристаллической решетки в процессе ее колебания.

В чистом виде явления теплопроводности наблюдаются в твердых телах, в абсолютно неподвижных газах и жидкостях.

Конвективным теплообменом называется процесс переноса тепла в жидкости или газообразной среде с неоднородным распределением температуры и скорости, осуществляемый макроскопическими частями среды при их перемешивании.

Конвективный теплообмен всегда сопровождается теплопроводностью.

В зависимости от причины, вызывающей движение жидкости или газа, различают:

- 1) конвективный теплообмен при свободном движении среды (свободная или гравитационная конвекция);
- 2) конвективный теплообмен при вынужденном движении среды (вынужденная конвекция).

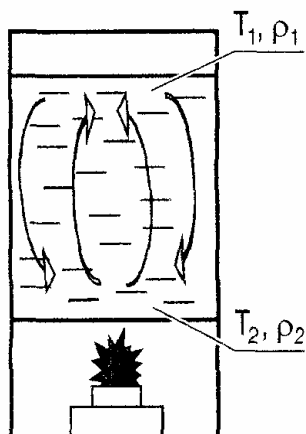


Рис. 1. Свободная конвекция

Приведем пример свободной конвекции.

Если нагреть сосуд с жидкостью (рис. 1), то частицы жидкости, имеющие более высокую температуру ($T_2 > T_1$), вследствие уменьшения их плотности ($\rho_2 < \rho_1$), будут всплывать, т.е. вытесняться более холодными слоями жидкости и переносить с собой теплоту. В сосуде возникнут конвективные потоки.

Вынужденная конвекция имеет место тогда, когда движение жидкости или газа вызвано внешними причинами: насосом, вентилятором, движением летательного аппарата в воздухе и т.п. В одной и той же среде теплообмен при вынужденной конвекции протекает значительно интенсивней, чем при свободной.

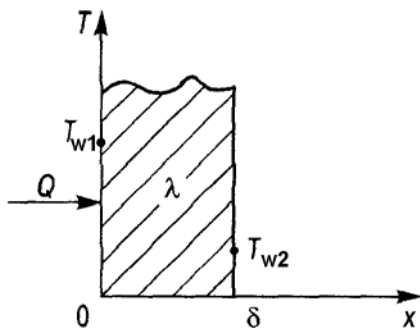
Лучистым теплообменом называется процесс переноса тепла излучением, обусловленный способностью нагретого вещества превращать часть принадлежащей ему внутренней энергии в энергию электромагнитных колебаний.

Встречая на своем пути другое вещество, тепловые лучи частично поглощаются, и их энергия снова превращается в теплоту, а частично отражаются и проходят сквозь тело. В чистом виде лучистый теплообмен имеет место лишь в условиях глубокого вакуума. Как правило, мы имеем дело со всеми тремя видами теплообмена одновременно, т.е. обычно имеет место сложный теплообмен.

При решении конкретных практических задач количество тепла, передаваемое теплопроводностью, излучением и конвекцией, может быть различным, поэтому в расчетах часто пренебрегают видами теплообмена, роль которых в рассматриваемом случае несущественна, и весь процесс сводят к основному определяющему виду теплообмена.

3. Основной закон теплопроводности(закон Фурье)

Опытами установлено, что количество теплоты, передаваемое через плоскую стенку (рис. 2), прямо пропорционально разности температур горячей T_{s1} и холодной T_{s2} сторон стенки, площади сечения S стенки, времени t и обратно пропорционально толщине стенки δ :



Передача теплоты через плоскую стенку

$$Q = \lambda \frac{T_{w1} - T_{w2}}{\delta} Ft \quad (1)$$

$$Q = -\lambda (\text{grad } T) Ft \quad (2)$$

$$\vec{\text{grad}} T = \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}$$

$$q = -\lambda \text{grad } T \quad (3)$$

λ - коэффициент теплопроводности

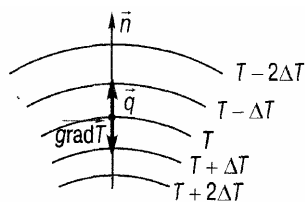
$$[\lambda] = \left[\frac{Bm}{MK} \right]$$

Численно коэффициент теплопроводности λ равен количеству тепла, проходящего в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности при условии, что градиент температур в рассматриваемой точке равен единице.

Коэффициент теплопроводности является одной из физических характеристик вещества: он характеризует способность данного вещества проводить тепло. Для различных веществ величина λ различна. Лучшими проводниками тепла являются металлы, а худшими — газы.

Вектор \vec{q} нормален к изотермической поверхности и направлен в сторону убывания температуры.

Векторы \vec{q} и $\text{grad } T$ коллинеарны (рис. 3), но направлены в разные стороны.



Направление вектора плотности теплового потока и вектора градиента температур

4. Дифференциальное уравнение теплопроводности.

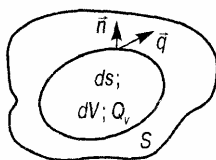


Схема тела для вывода уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho C T dV$$

$$- \frac{\partial}{\partial t} \iint_F \vec{q}_n \cdot \vec{n} dF$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho C T dV = - \iint_F \vec{q}_n \cdot \vec{n} dF + \iiint_V Q_v dV = \iint_F (\lambda \text{ grad } T) \cdot \vec{n} dF + \iiint_V Q_v dV \quad (4)$$

Используем теорему Остроградского-Гаусса:

$$\iint_F (\lambda \text{ grad } T) \cdot \vec{n} dF = \iiint_V \text{div}(\lambda \text{ grad } T) dV \quad (5)$$

$$\iiint_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho C T) dV = \iiint_V \text{div}(\lambda \text{ grad } T) dV + \iiint_V Q_v dV \quad (6)$$

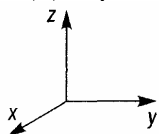
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho C T) = \text{div}(\lambda \text{ grad } T) + Q_v \quad (7)$$

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{ grad } T) + Q_v \quad (8)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \Delta T + \frac{Q_v}{\rho C} \quad (9)$$

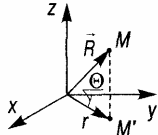
$a = \frac{\lambda}{\rho C}$ - коэффициент температуропроводности

1. Декартова система координат



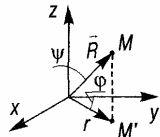
$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (10)$$

2. Цилиндрическая система координат



$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \Theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$	(11)
---	------

3. Сферическая система координат



$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \psi} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r^2 \sin \psi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\sin \psi \frac{\partial T}{\partial \psi} \right)$	(12)
---	------

5. Условия однозначности

Это дифференциальное уравнение описывает класс явлений теплопроводности. Для выделения из целого класса единичного явления необходимо к дифференциальному уравнению присоединить дополнительные условия, специфические для данного конкретного случая. В эти дополнительные частные данные, характеризующие рассматриваемое единичное явление, входят форма и размеры рассматриваемого тела, его теплофизические свойства и краевые условия. Совокупность перечисленных данных называется условиями однозначности. Таким образом, условия однозначности подразделяются: на геометрические, характеризующие форму и размеры тела, в котором протекает процесс; на физические, характеризующие физические свойства тела, и на краевые, характеризующие особенности протекания процесса в начальный момент времени (начальные условия) и на границах тела (граничные условия).

Начальные условия:

$T(x, y, z, 0) = f(x, y, z)$	(13)
------------------------------	------

Граничные условия первого рода:

$T_w = f_1(x, y, z, t)$	(14)
-------------------------	------

Граничные условия второго рода:

$q_w = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = f_2(x, y, z, t) \quad \text{или} \quad \frac{\partial T}{\partial n} = f_3(x, y, z, t)$	(15)
---	------

Граничные условия третьего рода:

$q_w = \alpha(T_f - T_w)$	(16)
---------------------------	------

α - коэффициент теплоотдачи

Коэффициент теплоотдачи равен количеству тепла, отдаваемого или воспринимаемого единицей площади поверхности в единицу времени при разности температур между стенкой и теплопринимающей средой, равной одному градусу. В этот коэффициент включена вся сложность явления теплоотдачи. Он должен учитывать все особенности теплообмена и является функцией большого числа переменных: плотности среды, скорости движения среды, температур T_w и T_f , положения тела в потоке, размеров тела, физических параметров среды (теплопроводности, вязкости, теплоемкости и др.).