Лекция№8.

Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана. Тепловое излучение. Основные законы и определения. Теплопередача между носителями через стенку. Назначение и принцип действия основных теплообменных аппаратов.

1.Основной закон конвективного теплообмена.

Наибольший интерес в инженерных расчетах, как уже говорилось, представляет конвективный теплообмен между жидкостью и поверхностью твердого тела, называемый теплоотдачей. Теплоотдачу принято рассчитывать по формуле Ньютона -Рихмана:

$$Q=\acute{\alpha}\,(\Theta-\tau)H, \quad (8.1.)$$

А плотность теплового потока:

$$\dot{g}=\acute{\alpha}(\Theta-\tau), \quad (8.2.)$$

где Q–тепловой поток, Вт; τ-температура твёрдого тела и холодной жидкости °С ; Н –поверхность теплоотдачи; ά-коэффициент, характеризующий условия теплообмена между жидкостью и поверхностью твердого тела, называемый коэффициентом теплоотдачи, Вт/(м^{2}С).

Важнейшими факторами, оказывающими влияние на коэффициент теплоотдачи, являются следующие:

- природа возникновения движения жидкости у поверхности теплообмена, режим движения жидкости,
- физические свойства жидкости,
- форма, размеры, положение в пространстве и состояние поверхности теплообмена.
-

2.Возникновение движения жидкости у поверхности теплообмена.

Процесс теплоотдачи протекает по-разному в зависимости от природы возникновения движения жидкости. Для осуществления движения жидкости необходимо действие сил. Силы, действующие на жидкость, разделяются на массовые (объемные) и поверхностные. *Массовые - это такие силы, которые приложены ко всем частицам жидкости и обусловлены внешними силовыми полями (гравитационным, электрическим).*

Поверхностные - это такие силы, которые приложены к поверхности объема жидкости и возникают вследствие действия на этот объем окружающей жидкости или твердых тел. Такими силами являются силы внешнего давления, создаваемого работой насосов, компрессоров и вентиляторов, и силы трения.

Свободной конвекцией называется движение жидкости, вызванное неоднородным распределением массовых сил, обусловленное разностью плотности нагретых и холодных слоев, находящихся в поле тяготения. В

этом случае нагретые слои жидкости испытывают действие архимедовой силы и движутся вверх и на оборот, охлажденные слои движутся вниз. Свободная конвекция, в отличие от вынужденной, не может осуществляться без теплообмена.

Вынужденной конвекцией называется движение жидкости, вызванное действием внешних поверхностных сил, создаваемых работой насосов, компрессоров ит. д.

Примером вынужденной конвекции может служить перенос тепла от горячей воды к внутренней поверхности батареи водяного отопления. Движение горячей воды по секциям батареи происходит под действием работы водяных насосов. От внешней поверхности батареи к окружающему воздуху помещения тепло передается в условиях свободной конвенции. Движение воздуха около внешней поверхности батареи осуществляется вследствие разности плотностей нагретого (около поверхности батареи поднимающегося вверх) и холодного (вдали от поверхности опускающегося вниз) воздуха.

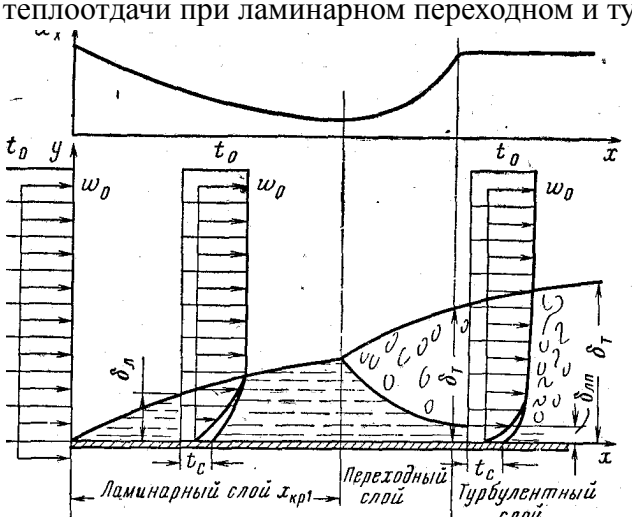
3.Режимы движения жидкости.

Различают ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. *Ламинарным называется такое движение жидкости, при котором отдельные струи перемещаются параллельно друг другу и стенкам канала, не перемешиваясь* (рис. 8.1.). При таком режиме перенос тепла от одной струйки к другой происходит только теплопроводностью. Коэффициент теплопроводности жидкостей (капельных и газов) невелик, поэтому теплоотдача будет сравнительно мала.

Турбулентным называется такое движение, при котором отдельные частицы жидкости перемещаются беспорядочно (хаотично), т. е. частицы жидкости перемещаются как вдоль, так и поперек канала.

Однако на границе жидкости и стенки сохраняется струйное ламинарное движение (см. рис. 8 .1.). *Участок, где сохраняется ламинарное движение жидкости, называется вязким подслоем.* Толщина этого подслоя очень мала. В турбулентном ядре частицы жидкости перемешиваются, и перенос тепла осуществляется конвекцией. При перемешивании неизбежны столкновения частиц, обладающих различной энергией, поэтому, естественно, происходит перенос тепла и теплопроводностью. В вязком подслое передача тепла осуществляется теплопроводностью. На рис.8 .1 показано распределение скоростей и температур при ламинарном и турбулентном движении; причем видно, что наибольшее падение температуры происходит в вязком подслое. Форма размеры положение в пространстве и состояние поверхности теплообмена. Форма поверхности (плита, одиночная труба или пучок труб),положение в пространстве (вертикальное или горизонтальное, коридорное или шахматное расположение труб в пучке), характер омывания поверхности создает специфические условия для распределения скорости и температуры в при стенной области, и в конечном счете для теплотдачи.

Рис 8. 1.Строение ламинарного и турбулентного пограничных слоёв. Распределение температур и скоростей в слое.t_0 ,ω_0—температура и скорость набегающего потока; tc-температура стенки; δт-толщина турбулентного пограничного слоя; δл-толщина ламинарного слоя; δлп -толщина ламинарного подслоя; *а x* -изменение коэффициента теплоотдачи при ламинарном переходном и турбулентном течениях.



Формирование и распределение скоростей и температур определяются теплофизическими свойствами жидкостей: вязкостью р, коэффициентом теплопроводности Х, теплоемкостью С, плотностью р.

4.Теплообмен излучением.

Любое тело, имеющее температуру, отличную от абсолютного нуля, передаёт теплоизлучением, т. е. существует поток тепла, передаваемый излучением от тел более нагретых к менее нагретым и обратный - поток энергии от тел менее нагретых к более нагретым.

Баланс такого обмена и представляет собой количество тепла, передаваемого излучением. Теплообмен излучением связан с двойным превращением: внутренняя энергия тела порождает поток электромагнитных колебаний (лучистой энергии), в свою очередь поток энергии электромагнитных колебаний при поглощении их другим телом вновь превращается во внутреннюю энергию.

Электромагнитные колебания возникают вследствие сложных внутриатомных и молекулярных процессов. Существуют различные виды электромагнитного излучения: космическое излучение, рентгеновское излучение, радиоволны и др.

Большинство твердых и жидких тел имеет сплошной спектр излучения, т. е. излучают энергию во всем диапазоне длин волн. Некоторые тела (чистые металлы, газы и др.) характеризуются выборочным, селективным излучением. С увеличением температуры излучение увеличивается, так как увеличивается внутренняя энергия тела.

Количество энергии, излучаемое поверхностью тела во всем интервале длин волн (от $\lambda=0$ до$\lambda = \infty$) в единицу времени, называется полным (интегральным) лучистым потоком Q(Вт). Излучение, соответствующее узкому интервалу длин волн, называется *монохроматическим.* Количество энергии, излучаемое единицей поверхности тела в единицу времени, называется *избирательной способностью тела E* (Вт/м), или *плотностью интегрального излучения.* Излучательная способность тела, отнесенная к определенной волне излучения, называется *интенсивностью излучения* J(Вт/м).

Лучистый поток, падающий на тело Q, частично им поглощается Q, частично отражается Q_R, частично проходит сквозь тело :

$$Q=Q_A+Q_R+Q_D \quad (8.3.)$$

Разделив обе части равенства на Q:

$$1 =A+ R+D. \quad (8.4.)$$

Коэффициенты: A, R, D характеризуют соответственно поглощательную, отражательную и пропускную (прозрачность) способности тела. В связи с этим они именуются коэффициентами поглощения, отражения и пропускания. Эти коэффициенты для различных тел могут меняться от 0 до 1.

Тела, которые всю падающую на них лучистую энергию поглощают, называются абсолютно черными.

Если тело всю падающую на него лучистую энергию отражает , такое тело называют абсолютно белым или зеркальным.

Если тело всю падающую на него лучистую энергию пропускает , такое тело называют абсолютно прозрачным.

5.Законы теплообмена излучением.

Закон смещения Вина гласит, что длина волны, которой соответствует максимальное значение интенсивности излучения (J=max),обратно пропорциональна абсолютной температуре :

$$\lambda =2,9/(T*10^3) \quad (8. 5.)$$

Закон Стефана-Больцмана формулируется следующим образом: плотность суммарного излучения абсолютно черного тела прямо пропорциональна абсолютной температуре в четвертой степени:

$$E_c=\sigma_c\, T^4 = c_c(T/100)^4 \quad ,(8.6.),$$

где σ_c, c_c- коэффициенты пропорциональности(постоянная излучения различия ; σ_c = 5,67 х10^{-8}Вт/($М^2К^4$); c_c =5, 67 Вт/($М^2К^4$)

Этот закон опытным путем был установлен чешским ученым Стефаном в1879г. И теоретически обоснован австрийским ученым Больцманомв1881г.

Плотность суммарного излучения реальных (серых) тел принято определять, по уравнению:

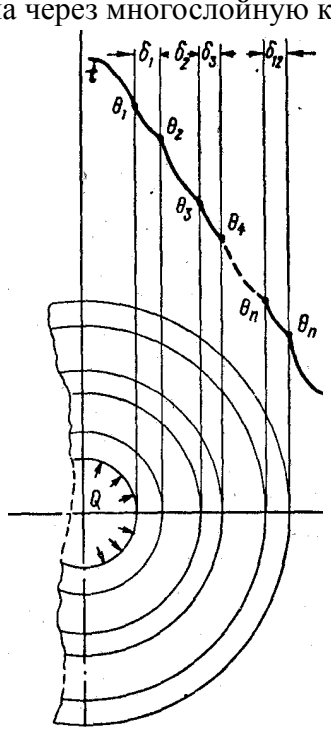
$$E = c\,(T/100)^4 \quad (8.7.)$$

Сопоставление плотностей суммарного излучения серого и абсолютно черного тел при одинаковой температуре приводит к характеристике, называемой *степенью черноты* ε*:*

$$\varepsilon = E/E_c \quad (8\ .8.).$$

6.Теплопередача через плоскую и криволинейную однослойную и многослойную стенку.

Рис 8 .2.Теплопередача через многослойную криволинейную стенку.



Процесс теплопередачи состоит из процессов теплоотдачи от нагревающей(горячей) жидкости к поверхности стенки, передачи тепла теплопроводностью через многослойную (или однослойную) стенку и процесса теплоотдачи от поверхности стенки к нагреваемой (холодной) жидкости. При установившемся процессе теплопередачи тепловой поток во всех перечисленных стадиях сохраняет неизменное значение (q=idem). В связи с этим для многослойной криволинейной (цилиндрической и

сферической) стенки (рис. 8.2.) можно написать ряд равенств, характеризующих установившийся процесс теплопередачи:

$Q= \acute{\alpha}_1 H(t-\Theta_1)= \frac{\lambda 1}{1} H_{M1}*(\Theta_1- \Theta_2)=\frac{\lambda 2}{2} (\delta_2 H_{M2}*(\Theta_2- \Theta_3)=\ldots=\frac{\lambda n}{n} H_{Mn}*(\Theta n– \Theta n + 1)$(8.9.)

В этом ряду равенств первое уравнение определяет количество тепла, передаваемого конвекцией (и излучением) от горячей жидкости 1кстенке; второе уравнение -то же количество тепла, передаваемого теплопроводностью через первый слой стенки; третье уравнение и последующие характеризуют передачу одного итого же количества тепла теплопроводностью через все последующие слои стенки и уравнение передачу того же самого количества тепла конвекцией (и излучением) от стенки к холодной жидкости есть величина, обратная полному термическому сопротивлению, называется водяным эквивалентом поверхности теплопередачи, Вт / С.

Интенсифицировать теплообмен можно следующими путями:

1) повышением меньшего коэффициента теплоотдачи; 2)повышением обоих коэффициентов или любого из них.

Помимо увеличения коэффициентов теплоотдачи интенсифицировать процесс теплопередачи можно за счет оребрения поверхности теплоотдачи. Оребряется та поверхность, со стороны которой *а* меньше. Теоретическим пределом оребрения является равенство термических сопротивлений теплоотдачи, в итоге при этом увеличивается произведение k*H и повышается Q:

Температура слоев стенки вычисляется по формулам :

$$\Theta_1=t-R_1Q;$$
$$\Theta_2= \Theta_1-Rc_1Q;$$
$$\Theta_3= \Theta_2-Rc_2Q;$$
$$\Theta_{n+1}= \Theta_n-Rc_nQ;(8.10.)$$

Контрольные вопросы.

1.От чего зависит тепловой поток при передаче теплоты теплопроводностью (от температуры или ее изменения в теле) через плоскую стенку?

2.Сформулируйте условия замены плоской многослойной стенки, эквивалентной (расчетной) однослойной.

3.От чего зависит тепловой поток при передаче теплоты теплопроводностью через криволинейные стенки?

4.Что такое линейная плотность теплового потока и от чего она зависит?

5.От чего зависит тепловой поток в условиях теплоотдачи (как формулируется основной закон)?

6.Каков физический смысл коэффициента теплоотдачи, и от каких факторов главным образом он зависит?

7.Каково строение потока при ламинарном, турбулентном режимах течения и как осуществляется теплоотдача в этих условиях?

8.Как происходит теплообмен излучением?