

Тепло

Техника

Лучистый теплообмен

Тепловое излучение (световые и инфракрасные лучи) - это электромагнитное излучение, испускаемое веществом и возникающее за счет энергии теплового движения атомов и молекул (т.е. внутренней энергии).

Диапазон излучения световых лучей составляет 0,4-0,8 мкм, инфракрасных - 0,8-40 мкм.

Тепло

Техника

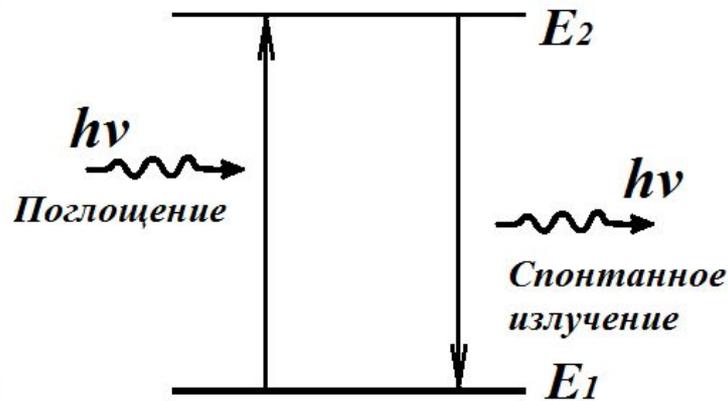
Лучистый теплообмен

Лучистая энергия, поглощается телом, трансформируется в теплоту и снова излучается. Таким образом осуществляется лучистый теплообмен.

При распространении носители лучистой энергии – ведут себя как электромагнитные волны с частотой видимого и инфракрасного диапазона.

При взаимодействии с веществом носители лучистой энергии проявляют себя как *фотоны (кванты энергии)*, обладающие характером движущихся частиц.

С квантовой точки зрения лучистый поток представляет собой поток частиц фотонов, энергия которых равна $h\nu$, где $h=6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с - постоянная Планка и ν - частота колебаний эквивалентного электромагнитного поля.



Длина волны λ связана с частотой ν соотношением $\lambda\nu = c$, где c - скорость распространения колебаний (в вакууме $c=3 \cdot 10^8$ км/с).

Суммарное излучение, проходящее через произвольную поверхность F в единицу времени, называется потоком излучения Q , Вт.

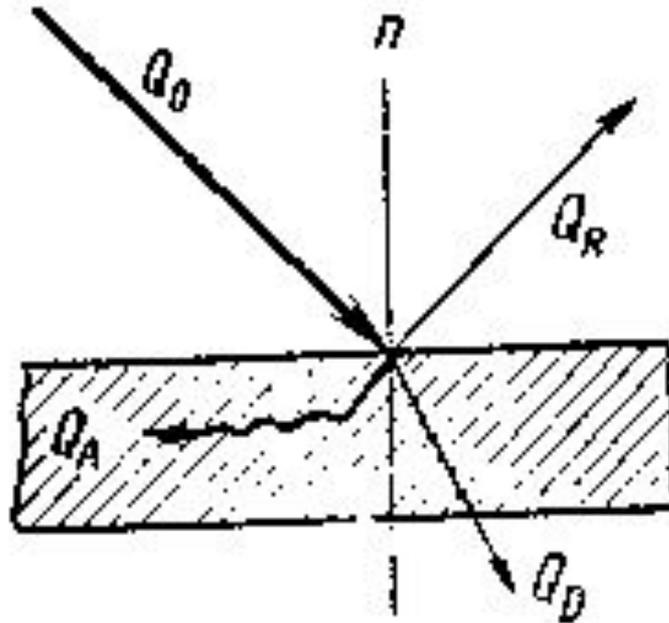
Лучистый поток, излучаемый с единицы поверхности по всем направлениям полусферического пространства, называется плотностью потока излучения E , Вт/м²:

$$E = dQ/dF$$

Поток излучения содержащий лучи различных длин волн называется *интегральным*.

Излучение, соответствующее узкому интервалу длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$, называется монохроматическим. Вводят понятие **спектральной интенсивности излучения** I_λ - излучательная способность в интервале $d\lambda$, т.е.

$$I_\lambda = dE / d\lambda.$$



Пусть из всего количества энергии Q_0 , падающей на тело, часть Q_A поглощается, часть Q_R отражается, часть Q_d проходит сквозь тело, т.е.

$$Q_A + Q_R + Q_D = Q_0.$$



Тепло

Техника

Лучистый теплообмен

Значения A , R и D зависят от природы тела, его температуры и спектра падающего излучения.

Для поглощения и отражения тепловых лучей большее значение имеет не цвет, а состояние поверхности.

Отражательная способность гладких и полированных поверхностей во много раз выше шероховатых.

М.Планк вывел закон распределения энергии, излучаемой абсолютно черным телом в зависимости от длин волн:

$$E_{0\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1} = \frac{4\pi^2 \hbar c^2}{\lambda^5 (\exp(2\pi \hbar c/\lambda kT) - 1)} \text{ Вт/м}^3 \quad (1)$$

где $E_{0\lambda}$ - спектр. интенсивность излучения абсолютно черного тела; λ - длина волны, м; T - абсолютная температура тела, К; $c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Вт/м}^2$ и $c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м}\cdot\text{К}$, \hbar - постоянная Планка, k - постоянная Больцмана, c - скорость света.

Формулу (1) запишем через частоту $\nu = c/\lambda$:

$$E_{\text{ол}} = \frac{2\pi h\nu^3 / c^2}{e^{h\nu/kT} - 1}, \quad (1a)$$

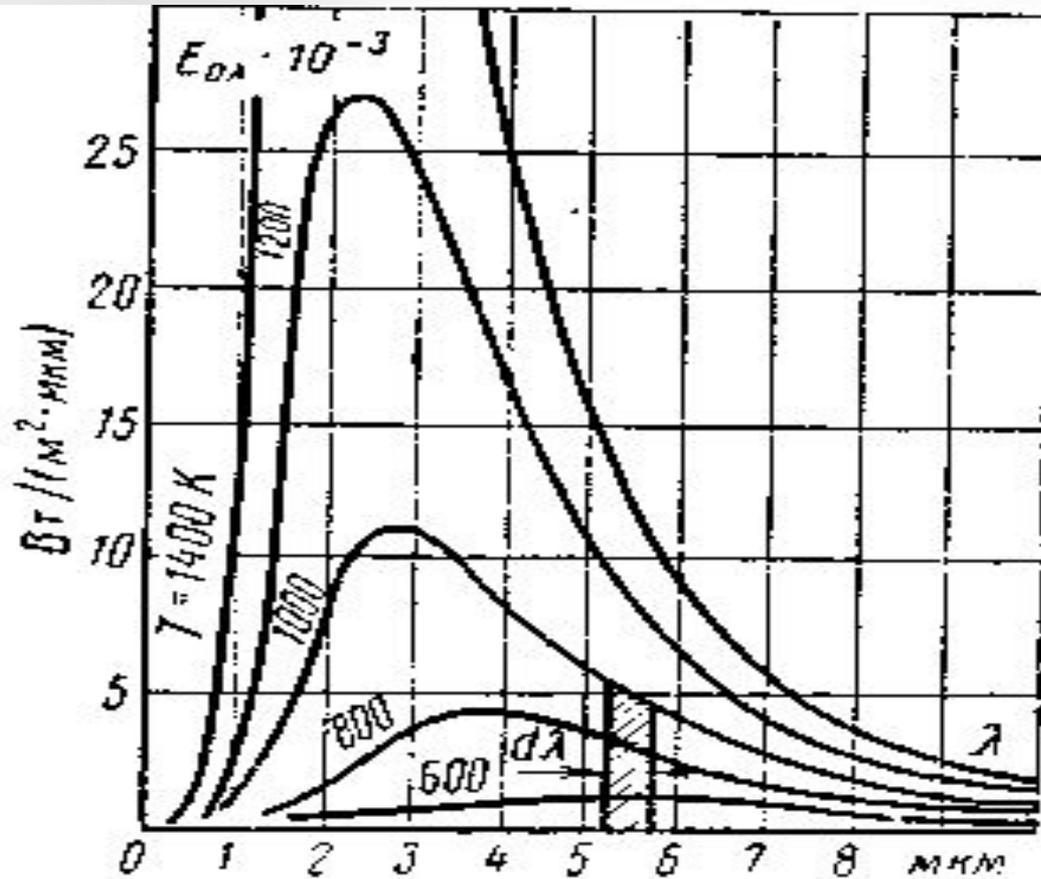
где c - скорость света, m/s ; h и k – постоянные Планка и Больцмана, равные соответственно $6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с и $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Начиная от 0, интенсивность излучения быстро растет с увеличением длины волны, достигая макс, после чего убывает.

Тепло

Техника

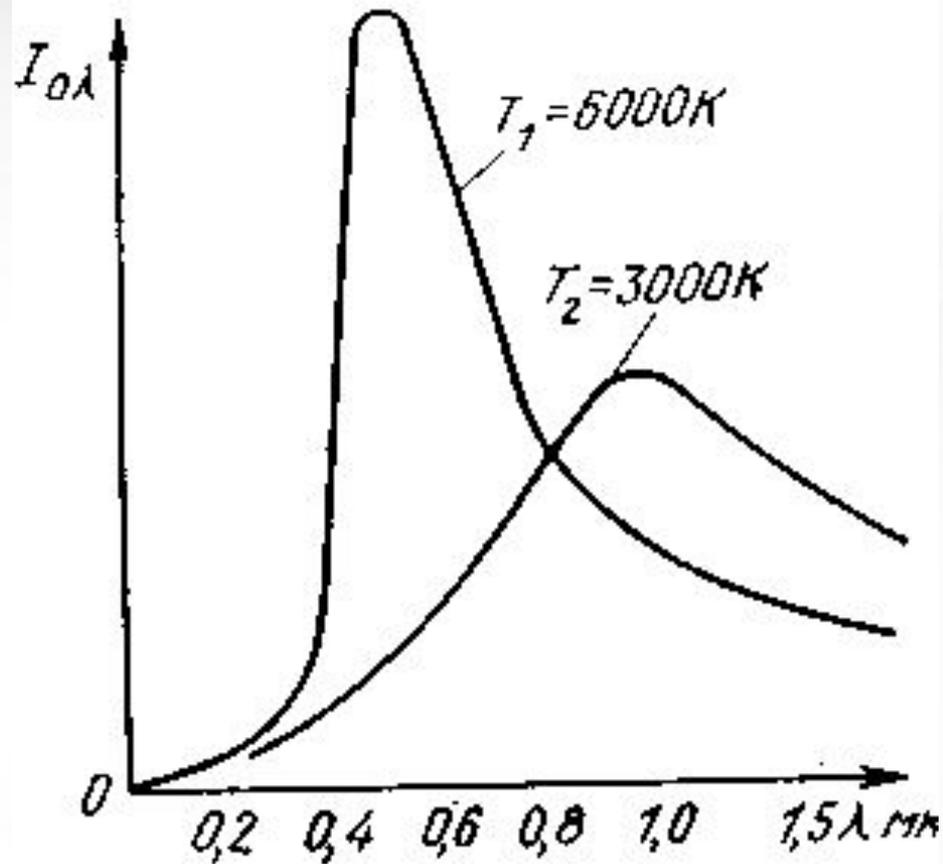
Формула Планка



$E_{0\lambda} = f(\lambda, T)$ по закону Планка

Тепло

Техника



Закон смещения Вина

Максимальная интенсивность излучения при повышении температуры смещается в область коротких волн - закон *Вина*:

$$\lambda_{\text{макс}} T = 2,9 \text{ ммК.} \quad (2)$$

Полное количество энергии, излучаемой 1 м² поверхности абсолютно черного тела, для всех длин волн определяется выражением:

$$E_0 = \int_0^{\infty} E_{0\lambda} d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{c_1 d\lambda}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)}.$$

$$E_0 = \sigma_0 T^4 \quad \text{- закон Стефана—Больцмана,}$$

где $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ - постоянная Стефана-Больцмана.

Для технических целей удобнее пользоваться формулой:

$$E_0 = c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 ,$$

где c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Серыми телами называют тела, спектр излучения которых подобен спектру абсолютно черного тела и отличается от него интенсивностью излучения.

Сопоставляя энергию собственного излучения тела с энергией излучения абсолютно черного тела при той же температуре, получаем характеристику тела, которая называется *степенью черноты* :

$$\varepsilon = E/E_0 = c (T/100)^4/c_0 (T/100)^4 = c/c_0.$$

$$\varepsilon = 0 \div 1.$$

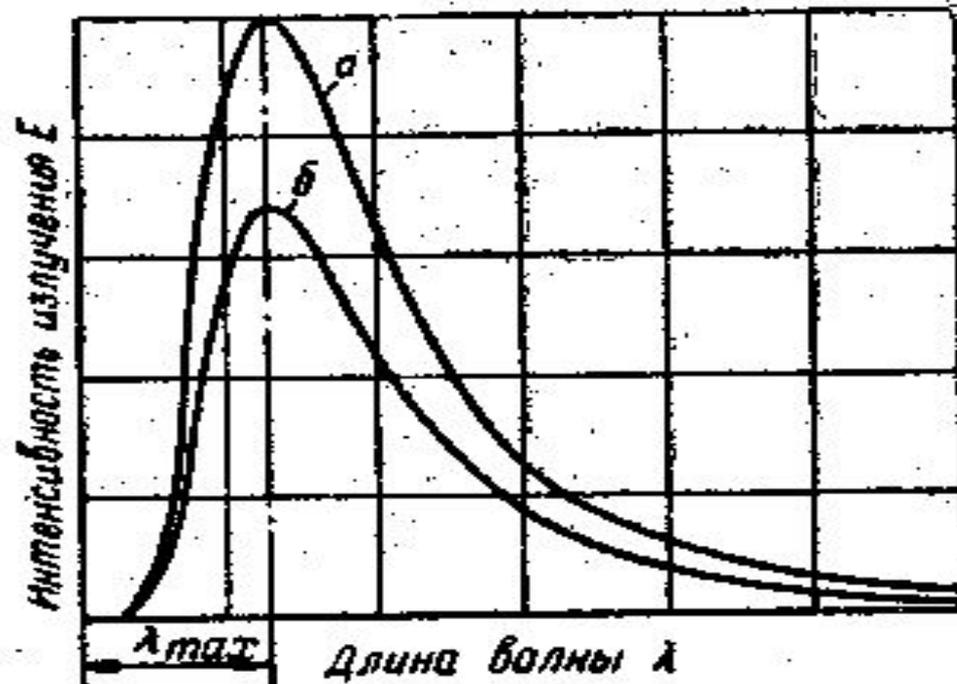


Рис. 14-4. Спектры излучения абсолютно черного (а) и серого (б) тела при одной и той же температуре

Закон *Стефана – Больцмана*, выраженный через степень черноты имеет вид:

$$W_T = \epsilon \sigma_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad / \quad ^2$$

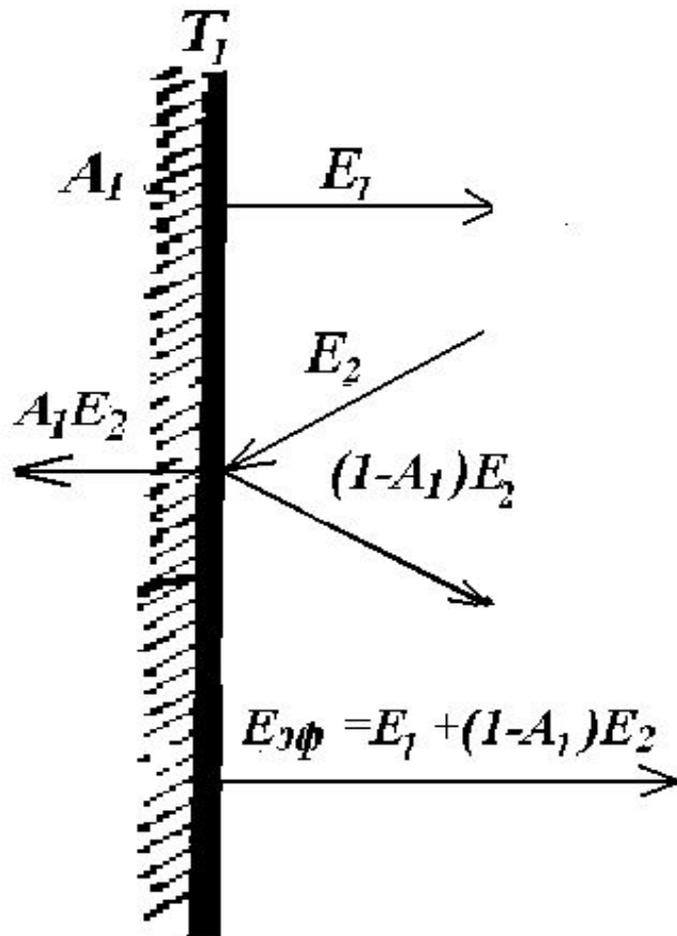
Пусть с первой поверхности тела отводится лучистый поток энергии E_1 (Вт/м²) - это собственное излучение тела или его излучательная способность.

Со стороны других тел падает лучистая энергия E_2 . Часть падающего излучения в количестве $A_1 E_2$ поглощается телом, остальное в количестве $(1 - A_1) E_2$ - отражается.

Собственное излучение тела в сумме с отраженным называется эффективным излучением тела:

$$E_{\text{эфф}} = E_1 + (1 - A_1) E_2;$$

$E_{\text{эфф}}$ - это фактическое излучение тела, которое мы ощущаем и измеряем приборами.



Эффективное излучение

Результирующее излучение $E_{рез}$ есть разность между собственным излучением тела и той частью падающего внешнего излучения E_2 , которая поглощается телом ($A_1 E_2$):

$$E_{рез} = E_1 - A_1 E_2.$$

Величина $E_{рез}$ определяет поток энергии, который тело передает окружающим его телам в процессе лучистого теплообмена. Если величина $E_{рез} < 0$, то тело получает энергию.

Закон Кирхгофа устанавливает связь между излучательной и поглощательной способностями тела.

Пусть имеются две поверхности, серая (T, E, A) и черная (T_0, E_0, A_0).

Баланс лучистого теплообмена между двумя поверхностями (при $T > T_0$):

$$E_{рез} = q = E - AE_0.$$

При $T=T_0$ система находится в т/д равновесии и $q=0$ и имеем:

$$E/A = E_0 = C_0 (T/100)^4 .$$

Отношение излучательной способности к поглотательной способности для всех тел одинаково. Оно равно излучательной способности абсолютно черного тела при той же температуре и зависит только от температуры.

$$E_\lambda / A_\lambda = f(\lambda(T)).$$

1. $A = \varepsilon$ – поглощательная способность и степень черноты тела численно равны между собой.

$$E = c \left(T/100 \right)^4, \quad c_1 / A c_0, \quad A = \varepsilon.$$

2. Т.к. поглощательная способность серых тел всегда < 1 , то при любой температуре излучательная способность абсолютно черного тела является максимальной.

3. Излучательная способность тел тем больше, чем больше их поглощательная способность.



Тепло

Техника

Лучистый теплообмен между телами

В теплотехнических расчетах требуется рассчитать лучистый теплообмен между телами, качество поверхности, размеры и температура которых известны. По этим данным энергия излучения обоих тел может быть определена на основании закона Стефана – Больцмана

Рассмотрим круговорот лучистой энергии в случае теплообмена между 2-мя серыми параллельными поверхностями $((T_1, E_1, A_1)$ и $(T_2, E_2, A_2))$, спектр излучения которых является серым. Лучистый теплообмен определяется разностью потоков эффективного излучения:

$$Q = E_{1\text{эфф}} - E_{2\text{эфф}}$$

где

$$E_{1\text{эфф}} = E_1 + (1 - A_1) E_{2\text{эфф}},$$

$$E_{2\text{эфф}} = E_2 + (1 - A_2) E_{1\text{эфф}}.$$

Лучистый теплообмен определяется формулой:

$$q = \frac{E_1 A_2 - E_2 A_1}{A_1 + A_2 - A_1 A_2}.$$

Для серых тел равенство поглощательной способности и степени черноты

$$A_1 = \varepsilon_1, \quad A_2 = \varepsilon_2$$

имеет место не только при температурном равновесии (закон Кирхгофа), но и в условиях лучистого теплообмена, когда $T_1 \neq T_2$.

$$q = \varepsilon_n c_0 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4],$$

где

$$\varepsilon_n = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}.$$

Коэффициент ε_n наз. приведенной степенью черноты системы тел, между которыми происходит процесс лучистого теплообмена. Величина ε_n изменяется от 0 до 1.



Тепло

Техника

Лучистый теплообмен между телами

Чтобы интенсифицировать лучистый теплообмен, необходимо увеличить температуру излучающего тела и усилить степень черноты системы. Чтобы уменьшить теплообмен, необходимо снизить температуру излучения тела и уменьшить степень черноты.

Когда температуру изменять нельзя, для снижения лучистого теплообмена применяются экраны.

Тепло

Техника

Лучистый теплообмен
между телами

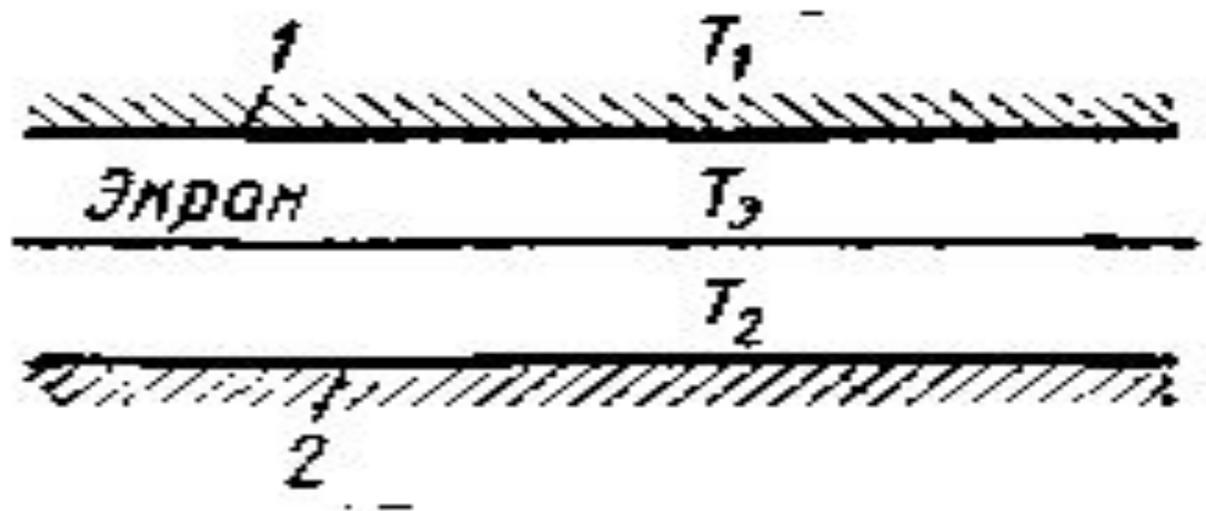


Схема расположения тонкостенного экрана между параллельными поверхностями. Степени черноты для всех поверхностей предполагаются одинаковыми.

При отсутствии экрана теплообмен излучением между поверхностями 1 и 2 определяется:

$$q_{12} = \varepsilon_n c_0 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4].$$

При наличии экрана:

$$\begin{aligned} q_{\text{э}} &= \varepsilon_n c_0 [(T_1/100)^4 - (T_{\text{э}}/100)^4] = \\ &= \varepsilon_n c_0 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]. \end{aligned}$$

Выразим из формулы температуру экрана

$$T_{\text{э}}^4 = (T_1^4 + T_2^4)/2.$$

Поток энергии при наличии экрана:

$$q_{\text{э}} = \frac{1}{2} \varepsilon_n c_0 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4].$$

Тепло

Техника

Лучистый теплообмен. экранирование

При наличии 1-го экрана количество передаваемого тепла уменьшается в 2 раза. При наличии двух экранов количество переданного тепла уменьшается в 3 раза, при наличии n экранов - в $(n+1)$ раз.

Еще больший эффект снижения получается, если применяются экраны с малой степенью черноты.

Если между 2-мя плоскими поверхностями со степенью черноты ε установлено n экранов со степенью черноты $\varepsilon_{\text{э}}$, то:

$$\frac{q_{\text{э}}}{q_{1-2}} = \frac{1}{1+n} \cdot \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{1-2}}.$$

Установка 1-го экрана со степенью черноты $\varepsilon_{\text{э}} = 0,1$ между поверхностями с $\varepsilon = 0,8$ дает снижение лучистого теплообмена \approx в 14 раз.



Тепло

Техника

Сложный теплообмен

Разделение теплопереноса на теплопроводность, конвекцию и излучение является удобным для изучения этих процессов. В действительности часто встречается сложный теплообмен, обусловленный двумя или тремя способами теплопередачи одновременно.

Теплоотдача от поверхности к газу сопровождается конвективным теплообменом между поверхностью и омывающим ее газом и теплообменом посредством излучения. Интенсивность сложного теплообмена в этом случае характеризуют суммарным коэффициентом теплоотдачи:

$$\alpha = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{и}}.$$

Обычно считают, что конвекция и излучение не влияют друг на друга. Коэффициент теплоотдачи α_k считают на основании теории конвективного теплообмена, $\alpha_{\text{и}}$ определяют как отношение плотности теплового потока излучения к разности температур поверхности газа:

$$\alpha_{\text{и}} = q_{\text{и}} / (t_{\text{с}} - t_{\text{г}}).$$

Тепло

Техника

Теплопередача между жидкостями через разделяющую их стенку

Вначале теплота передается от горячего теплоносителя $t_{ж1}$ к одной из поверхности стенки путем конвективного теплообмена (+ теплообмен излучением) с коэффициентом теплоотдачи α_1 . Затем теплопроводностью с коэффициентом λ теплота передается от одной поверхности стенки к другой. И опять теплота путем конвективного теплообмена к коэффициентом теплоотдачи α_2 передается от поверхности стенки к холодной жидкости.

Согласно закону Ньютона-Рихмана:

$$1) t_{ж1} - t_{c1} = Q / (\alpha_1 F) = QR_{\alpha 1},$$

2) между поверхностями стенки:

$$t_{c1} - t_{c2} = QR_{\lambda},$$

для плоской стенки $R_{\lambda} = \delta / \lambda F$.

$$3) t_{ж2} - t_{c2} = Q / (\alpha_2 F) = QR_{\alpha 2}.$$

Плотность теплового потока для теплопередачи через плоскую стенку имеет вид:

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2} = k(t_{ж1} - t_{ж2}) \quad \text{- уравнение теплопередачи.}$$

$$k = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2} \quad \text{- коэффициент теплопередачи.}$$

Тепло

Техника



Тепло

Техника



Тепло

Техника



•

Тепло

Техника



•