Теплообмен излучением между твердыми телами

Параллельные пластины

Если тело участвует в теплообмене излучением с другими телами, то н рассматриваемое тело падает извне энергия излучения в количестве $E_{па}$ Часть падающей энергии излучения в количестве $AE_{пад}$ телом поглощается превращается в его внутреннюю энергию. Остальная часть энергии излучени в количестве $RE_{пад}$ отражается от тела.

Сумма собственного и отраженного излучений, испускаемых поверхность данного тела, называется *эффективным излучением*

$$E_{эф} = E_{соб} + RE_{пад} = E_{соб} + (1 - A)E_{пад}$$

$$D = 0, \quad R = 1 - A$$

Эффективное излучение зависит не только от физических свойств температуры данного тела, но и от физических свойств, температуры спектра излучения других окружающих тел.

Для черного тела $E_{эф} = E_{соб}$, т.к. для него $RE_{пад} = E_{отр} = 0$ (при $R = 0$).

Рассмотрим теплообмен излучением между двумя серыми параллельными пластинами, разделенными прозрачной средой. Размеры пласти значительно больше расстояния между ними, так что излучение одной из ни будет полностью попадать на другую.

Обозначим: температуры пластин T_1 и T_2, коэффициенты поглощения A_1 A_2; собственные излучения пластин E_1 и E_2, эффективные излучения пласти $E_{1эф}$ и $E_{2эф}$, коэффициенты излучения C_1 и C_2. Полагаем, что $T_1 > T_2$.

Суммарный поток излучения первой пластины, состоящий из собственно излучения E_1 и отраженного излучения второй пластины $(1–A_1)E_{2эф}$, находи из уравнения

$$E_{1эф} = E_1 + (1 - A_1)E_{2эф}$$

Аналогично суммарное излучение второй пластины

$$E_{2эф} = E_2 + (1 - A_2)E_{1эф}$$

Решая эти два уравнения относительно $E_{1эф}$ и $E_{2эф}$, получаем

$$E_{1эф} = \frac{E_1 + E_2 - A_1 E_2}{A_1 + A_2 - A_1 A_2} \qquad E_{2эф} = \frac{E_1 + E_2 - A_2 E_1}{A_1 + A_2 - A_1 A_2}$$

Тепловое излучение, получаемое второй пластиной:

$$q = E_{1эф} - E_{2эф}\text{; при } T = \text{const} \quad e = A$$

или

$$q = \frac{A_2E_1 - A_1E_2}{A_1 + A_2 - A_1A_2} = \frac{A_2A_1C_s(T_1/100)^4 - A_1A_2C_s(T_2/100)^4}{A_1 + A_2 - A_1A_2}$$

или

$$q = \frac{(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4}{\frac{A_1}{A_1A_2C_s} + \frac{A_2}{A_1A_2C_s} - \frac{A_1A_2}{A_1A_2C_s}} = \frac{(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s}}$$

Таким образом, тепловое излучение между параллельными поверхностям
эпределяется уравнением

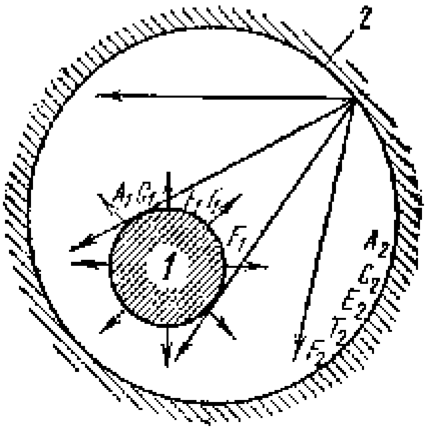
$$Q = C_{np}\left[(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4\right]F$$

-де $C_{np} = \dfrac{1}{\dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} - \dfrac{1}{C_s}} = e_{np}C_s = \dfrac{1}{\dfrac{1}{C_s}\left(\dfrac{1}{e_1} + \dfrac{1}{e_2} - 1\right)}$ – приведенный коэффициен

излучения.

Теплообмен излучением между телами, одно из которых находится внутри другого

Обозначим величины внутреннего тела через A_1, C_1, e_1, T_1, F_1 и внешне – A_2, C_2, e_2, T_2, F_2.



В отличие от теплообмена между параллельным пластинами в данном случае на внутреннее тел падает лишь часть φ от эффективного излучени внешнего тела. Остальная часть энергии излучени (1-φ) падает на поверхность внешнего тела.

Эффективное излучение внутреннего тела состоит из собственно
излучения и отраженного, полученного от внешнего тела

$$E_{1эф} = E_1 F_1 + (1 - A_1) j E_{2эф} \qquad \text{(а)}$$

Эффективное излучение внешнего тела состоит из:
1. собственного излучения, 2. отраженного от внутреннего тела, отраженного собственного излучения

$$E_{2эф} = E_2 F_2 + (1 - A_2) E_{1эф} + (1 - A_2)(1 - j) E_{2эф} \qquad \text{(б)}$$

Величина теплообмена излучением между телами:

$$Q = E_{1эф} - E_{2эф}$$

Решая совместно уравнения (а) и (б), получаем

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2}\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s}\right)}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]F_1$$

или

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{e_1} + \frac{F_1}{F_2}\left(\frac{1}{e_2} - 1\right)} C_s \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]F_1$$

Если поверхность F_1 мала по сравнению с поверхностью F_2, то отношени
F_1/ F_2 приближается к нулю и $C_{пр}=C_1$, уравнение теплообмена принимает вид

$$Q = C_1 F_1 \left[\left(T_1 /100 \right)^4 - \left(T_2 /100 \right)^4 \right]$$

Теплообмен между параллельными пластинами при наличии экранов

Экран представляет собой тонкий металлический лист с больш отражательной способностью. Температуры обеих поверхностей экра можно считать одинаковыми (сопротивление теплопроводности лис бесконечно мало).

Рассмотрим действие экрана между двумя плоскими безграничны параллельными поверхностями, причем передачей теплоты конвекцией воздушных прослойках будем пренебрегать. Поверхности стенок и экра считаем одинаковыми. Температуры стенок T_1 и T_2 поддерживают постоянными, причем $T_1 > T_2$.

Допускаем, что коэффициенты излучения стенок и экрана равны меж собой, тогда $C_1 = C_2 = C_{эк} = C_{пр}$.

Тепловой поток, передаваемый от первой поверхности ко второй (бе экрана):

$$q_0 = C_{пр}\left[(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4\right].$$

Тепловой поток, передаваемый от первой поверхности к экрану:

$$q_1 = C_{пр}\left[(T_1/100)^4 - (T_{эк}/100)^4\right],$$

а от экрана ко второй поверхности:

$$q_2 = C_{пр}\left[(T_{эк}/100)^4 - (T_2/100)^4\right].$$

При установившемся тепловом состоянии q_1=q_2, поэтому

$$(T_{эк}/100)^4 = \frac{1}{2}\left[(T_1/100)^4 + (T_2/100)^4\right]$$

В итоге:

$$q_{1-2} = \frac{1}{2} C_{пр}\left[(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4\right]$$

Т.о. установка одного экрана уменьшает теплоотдачу излучением в дв
раза

$$q_{1-2} = \frac{1}{2} q_0$$

При наличии нескольких экранов:

$$q_{1,э1} = A_{1,э1} C_s \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{э1}}{100} \right)^4 \right]$$

$$q_{э1,э2} = A_{э1,э2} C_s \left[\left(\frac{T_{э1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{э2}}{100} \right)^4 \right]$$

$$\ldots$$

$$q_{эn,2} = A_{эn,2} C_s \left[\left(\frac{T_{эn}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

$$\frac{q_{1,э1}}{C_s}\left(\frac{1}{A_{1,э1}}+\frac{1}{A_{э1,э2}}+\ldots+\frac{1}{A_{эn,2}}\right)=\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4$$

где $\frac{1}{A_{1,э1}}+\frac{1}{A_{э1,э2}}+\ldots+\frac{1}{A_{эn,2}}=\frac{1}{A_{(1,2)э}}=\left(\frac{1}{A_1}+\frac{1}{A_{э1}}-1\right)+\left(\frac{1}{A_{э1}}+\frac{1}{A_{э2}}-1\right)+\ldots$

$\ldots+\left(\frac{1}{A_{эn}}+\frac{1}{A_2}-1\right)$

или $\frac{1}{A_{(1,2)э}}=\left(\frac{1}{A_1}+\frac{1}{A_2}-1\right)+\left(\frac{2}{A_{э1}}-1\right)+\left(\frac{2}{A_{э2}}-1\right)+\ldots+\left(\frac{2}{A_{эn}}-1\right)$

Если $A = \text{const}$, то $$A_{(1,2)э} = \frac{1}{n+1} A_{1,2} = \frac{1}{n+1}\left(\frac{1}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} - 1}\right)$$

И $$q_{(1,2)э} = \frac{1}{n+1}\left(\frac{1}{\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} - 1}\right) C_s \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]$$