

Внешний теплообмен в ТТР с нефилтруемым слоем технологического материала. Постановка задачи равномерно распределенного радиационного режима внешнего теплообмена (PPPPBT). Алгоритм решения задач PPPPBT

Слой материала расположен в нижней части РК, т.е. газы не фильтруются через ТМ.

Характерные особенности:

1) Большой объем рабочего пространства $V_{РП} = V_a + V_{св}$

2) Высокий уровень коэффициента свободного объема $k_v = \frac{V_{св}}{V_a}$

3) $f_m = 10^{-1} - 10^0 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

4) Удельный унос минимален: $m_{ун} = \min$.

5) Порозность слоя $\varepsilon_v = 0 \dots 0,5$.

6) В таких реакторах реализуют противоток газов и нагреваемых материалов независимо от гранулометрического состава.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОГО РАДИАЦИОННОГО РЕЖИМА ВНЕШНЕГО ТЕПЛОБМЕНА (PPRRBT)

$$Q_{см} = Q_{см}^л$$

$$Q_{см}^л = \varphi(T_г, T_м, \varepsilon_г, \varepsilon_м, F_м, F_к)$$

Модель PRRBT получена при следующих упрощающих предпосылках:

- Участвуют три тела. $F_м, F_к$ - не прозрачны для тепловых лучей. $V_г$ - объем газов; не отражает тепловых лучей.

- Все тела серые, т.е. поглощательная способность поверхности материала равна коэффициенту теплового излучения этой поверхности: $A_м = \varepsilon_м, A_к = \varepsilon_к$

- Температурное поле $T_г, T_м, T_к$ - однородно.

- Поля плотностей лучистых потоков $q_{im}^л$ и $q_{ik}^л$ однородны.

- Кладка находится в стационарном тепловом состоянии, т.е. $\frac{dT_k}{d\tau} = 0$

$$\begin{cases} Q_{ск} = Q_{ск}^л + Q_{гк}^к = Q_{ос} = Q_{ос}^{менл} \\ Q_{ос}^{менл} = Q_{гк}^к \Rightarrow Q_{гк}^л = 0 \end{cases}$$

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РРРРВТ

$$Q_{см}^л = Q_{гкм}^л \quad Q_{см}^л = Q_{над}^л - Q_{эфф.м}^л = Q_{над}^л - Q_{эм}^л$$

➔ **Случай I.** Поверхность материала плоская или выпуклая
(т.е. участки поверхности друг друга не видят)

$$\Phi_{мм} = 0$$

$$1). Q_{см}^л = Q_{гм}^л + Q_{км}^л - Q_{эфф.м}^л = \sigma_0 \varepsilon_2 F_m \frac{4}{\varepsilon} + \frac{Q_{км}^л}{\varphi_{км}} (1 - \varepsilon_2) - \frac{Q_{эм}^л}{\varphi_{эм}} \quad (1)$$

$$2). Q_{ск}^л = \sigma_0 \varepsilon_2 F_k \frac{4}{\varepsilon} + \frac{Q_{мк}^л}{\varphi_{мк}} (1 - \varepsilon_2) - \frac{Q_{кк}^л}{\varphi_{кк}} (1 - \varepsilon_2) - \frac{Q_{эфф.к}^л}{\varphi_{эфф.к}} = 0 \quad (2)$$

$$3). Q_{эфф.м}^л = Q_{соб.м}^л + Q_{отр.м}^л = \sigma_0 \varepsilon_m F_m \frac{4}{\varepsilon} + (1 - \varepsilon_m) \left[\sigma_0 \varepsilon_2 F_m \frac{4}{\varepsilon} + \frac{Q_{км}^л}{\varphi_{км}} (1 - \varepsilon_2) \right]$$

Из (2) и (3) $\Rightarrow Q_{эфф.м}^л$ и $Q_{эфф.к}^л$, из (1) $\Rightarrow Q_{см}^л$

Выразим φ через F_m и F_k

Воспользуемся свойствами лучистых потоков:

- 1) свойство замыкаемости лучистых потоков;
- 2) свойство взаимности лучистых потоков.

Согласно 1) $\varphi_{MM} + \varphi_{MK} = 1$ т.к. $\varphi_{MM} = 0 \quad \square \quad \varphi_{MK} = 1$

Согласно 2) $\varphi_{MK} F_M = \varphi_{KM} F_K \quad \square \quad \varphi_{KM} = \frac{F_M}{F_K} = \frac{1}{\omega}$ ω – коэффициент обмурованности рабочего пространства;

к 1) $\varphi_{KK} + \varphi_{KM} = 1; \quad \varphi_{KK} = 1 - \frac{1}{\omega}; \quad Q_{CM}^l = \varepsilon \sigma_{\nu} F_M \left(\frac{T_z}{100}^4 - \frac{T_M}{100}^4 \right);$

σ_{ν} – видимый коэффициент излучения газа на поверхность материала (иногда называют σ_{gkm}).

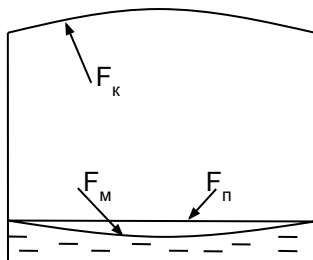
$$Q_{CM}^l = \varepsilon \sigma_{\nu} F_M \left(\frac{T_z}{100}^4 - \frac{T_M}{100}^4 \right) \quad \sigma_{\nu} = \sigma_0 \varepsilon_z \varepsilon_M \frac{\omega + 1 - \varepsilon_z}{(1 - \varepsilon_z) [\varepsilon_M + \varepsilon_z (1 - \varepsilon_M)] + \omega \varepsilon_z}$$

$$Q_{CM}^F = \varepsilon_M \left[\left(\frac{T_z}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_M}{100} \right)^4 \right]$$

ε_M – видимый коэффициент лучеиспускания.



Случай II. Поверхность материала вогнутая (т.е. участки поверхности видят друг друга).



$$\varphi_{KM} = \frac{F_n}{F_K}; \quad \varphi_{MK} = \frac{F_n}{F_M}$$

- 1) $Q_{MM}^n = Q_{эфф.м}^n \varphi_{MM} (1 - \varepsilon_2)$ – это нужно добавить в уравнения 1, 3.
- 2) дополнительно вводится F_n – плоская поверхность.
- 3) Рассмотрим пары в системе «поверхность – кладка – материал»

F_n, F_M :

$$\varphi_{nn} + \varphi_{nM} = 1; \varphi_{nn} = 0 \Rightarrow \varphi_{nM} = 1$$

$$\varphi_{nM} F_n = \varphi_{Mn} F_M \Rightarrow \varphi_{Mn} = \frac{F_n}{F_M} = \varphi_{MK}$$

F_n, F_K :

$$\varphi_{nn} + \varphi_{nK} = 1 \dots \varphi_{nK} = 1$$

$$\varphi_{nK} F_n = \varphi_{Kn} F_K \Rightarrow \varphi_{Kn} = \frac{F_n}{F_K} = \varphi_{KM}$$

F_M, F_K :

$$\varphi_{MM} + \varphi_{MK} = 1 \dots \varphi_{MM} = 1 - \varphi_{MK}$$

$$\varphi_{KK} + \varphi_{KM} = 1 \dots \varphi_{KK} = 1 - \varphi_{KM}$$

Преобразуем их, выражая через φ_{MM} :

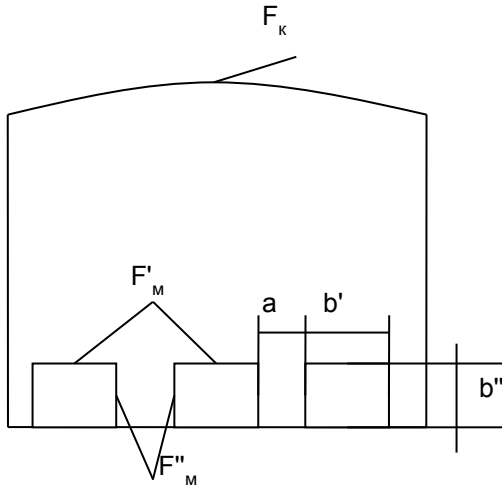
$$\varphi_{MM} = 1 - \frac{F_n}{F_M}; \quad \varphi_{MK} = 1 - \varphi_{MM}; \quad \varphi_{KM} = 1 - \frac{\varphi_{MM}}{\omega}; \quad \varphi_{KK} = \frac{\omega + \varphi_{MM} - 1}{\omega};$$

В итоге получаем:

$$Q_{см,ф}^n T = \sigma_{в,ф} F_M \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - \frac{1}{\varepsilon_M} \right) \quad \varphi_{MM} \neq 0$$

$$\sigma_{в,ф} = \sigma_0 \varepsilon_2 \varepsilon_M \frac{\omega + (1 - \varepsilon_2)(1 - \varphi_{MM}) - \omega \varphi_{MM} (1 - \varepsilon_2)}{(1 - \varepsilon_2)(1 - \varphi_{MM}) [\varepsilon_M + \varepsilon_2 (1 - \varepsilon_M)] + \omega \varepsilon_2 [1 - \varphi_{MM} (1 - \varepsilon_M) (1 - \varepsilon_2)]}$$

➔ **Случай III.** Материал – равноотстоящие тела прямоугольного поперечного сечения.



$$F_M = F'_M + F''_M; \quad \varphi'_{MM} = 0; \quad \varphi''_{MM} \neq 0$$

$$Q_{CM, \Sigma}^L = \sigma_{\epsilon, \Sigma} \times F_M \times (\epsilon'' - \epsilon'_M)$$

$$\sigma_{\epsilon, \Sigma} = \frac{\sigma'_\epsilon F'_M + \sigma''_\epsilon F''_M}{F_M}$$

Для поверхности F'_M

$$\sigma'_\epsilon = \sigma_0 \epsilon_2 \epsilon_M \frac{\omega' + 1 - \epsilon_2}{(1 - \epsilon_2) [\epsilon_M + \epsilon_2 (1 - \epsilon_M)] + \omega' \epsilon_2}$$

$\omega' = \frac{F_K + F''_M}{F'_M}$ - степень обмурованности по отношению к F'_M . В этом случае F''_M выполняет и роль кладки.

$$\sigma'' = \sigma_0 \epsilon_2 \epsilon_M \frac{\omega'' + (1 - \epsilon_2)(1 - \varphi''_{MM}) - \omega'' \varphi''_{MM} (1 - \epsilon_2^*)}{(1 - \epsilon_2)(1 - \varphi''_{MM}) [\epsilon_M + \epsilon_2 (1 - \epsilon_M)] + \omega'' \epsilon_2 [1 - \varphi''_{MM} (1 - \epsilon_M) (1 - \epsilon_2^*)]}$$

$$\omega'' = \frac{F_K + F'_M}{F''_M}$$

Если заготовки квадратного сечения ($b = b' = b''$), то средний угловой коэффициент излучения между поверхностями заготовок будет находиться по формуле:

$$\varphi_{mm} = \sqrt{1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2} - \frac{a}{b} \quad a \ll 1 \Rightarrow \varphi_{mm} \rightarrow 1; \quad a \gg 1 \Rightarrow \varphi_{mm} \rightarrow 0$$

Поглощательная способность газов равна их излучательной способности: $A_2 = \varepsilon_2$

$Q_{mm}^l = Q_{эфф.м}^l \varphi_{mm} (1 - \varepsilon_2^*)$, где ε_2^* - поглощательная способность газового объема в зазоре между заготовками. Если a мало, то ε_2^* на порядок отличается от ε_2 свободного объема.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!