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

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 $k_v = \dfrac{V_{св}}{V_a}$

3) $f_м = 10^{-1} – 10^0$ м^2/м^3.

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

5) Порозность слоя ε_v= 0…0,5.

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

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОГО РАДИАЦИОННОГО РЕЖИМА ВНЕШНЕГО ТЕПЛООБМЕНА (РРРРВТ)

$$Q_{см} = Q_{см}^{л}$$

$$Q_{см}^{л} = \varphi(T_{г}, T_{м}, \varepsilon_{г}, \varepsilon_{м}, F_{м}, F_{к})$$

<u>Модель РРРРВТ получена при следующих упрощающих предпосылках:</u>

- 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 $T_{г}, T_{м}, \;_{к}$ – однородно.
- Поля плотностей лучистых потоков $q_{im}^{л}$ и $q_{ik}^{л}$ однородны.
- Кладка находится в стационарном тепловом состоянии, т.е. $\dfrac{dT_k}{d\tau} = 0$

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

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РРРРВТ

$$Q^л_{см} = Q^л_{гкм} \qquad Q^л_{см} = Q^л_{пад} - Q^л_{эфф.м} = Q^л_{пад} - Q^л_{эм}$$

<u>Случай I</u>. Поверхность материала плоская или выпуклая
(т.е. участки поверхности друг друга не видят)

$Ф_{мм}=0$

$$1).\ Q^л_{см} = Q^л_{гм} + Q^л_{км} - Q^л_{эф.м} = \sigma_0 \varepsilon_г F_м T^4_г + Q^л_{эф.к}\overline{\varphi_{км}}(1-\varepsilon_г) - Q^л_{эф.м} \quad (1)$$

$$2).\ Q^л_{ск} = \sigma_0 \varepsilon_г F_к T^4_г + Q^л_{эф.м}\overline{\varphi_{мк}}(1-\varepsilon_г) - Q^л_{эф.к}\overline{\varphi_{кк}}(1-\varepsilon_г) - Q^л_{эф.к} = 0 \quad (2)$$

$$3).\ Q^л_{эф.м} = Q^л_{соб.м} + Q^л_{отр.м} = \sigma_0 \varepsilon_м F_м T^4_м + (1-\varepsilon_м)\left[\sigma_0 \varepsilon_г F_м T^4_г + Q^л_{эф.к}\overline{\varphi_{км}}(1-\varepsilon_г)\right]$$

Из (2) и (3) $\Rightarrow Q^л_{эф.м}$ и $Q^л_{эф.к}$, из (1) $\Rightarrow Q^л_{см}$

Выразим φ через $F_м$ и $F_к$

<u>Воспользуемся свойствами лучистых потоков</u>:

1)свойство замыкаемости лучистых потоков;

2)свойство взаимности лучистых потоков.

Согласно 1) $\varphi_{мм} + \varphi_{мк} = 1$ т.к. $\varphi_{мм} = 0$ $\Rightarrow$ $\varphi_{мк} = 1$

Согласно 2) $\varphi_{мк} F_м = \varphi_{км} F_к$ $\Rightarrow$ $\varphi_{км} = \dfrac{F_м}{F_к} = \dfrac{1}{\omega}$

ω – коэффициент обмурованности рабочего пространства;

к 1) $\varphi_{кк} + \varphi_{км} = 1$; $\varphi_{кк} = 1 - \dfrac{1}{\omega}$; $Q^л_{см} = \sigma_в F_м (T_г^4 - T_м^4)$;

$\sigma_в$ – видимый коэффициент излучения газа на поверхность материала (иногда называют $\sigma_{гкм}$).

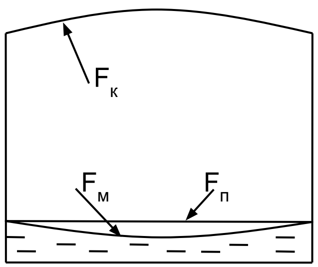
$$Q^л_{см} = \sigma_в F_м (T_г^4 - T_м^4)$$

$$\sigma_в = \sigma_0 \varepsilon_г \varepsilon_м \frac{\omega + 1 - \varepsilon_г}{(1-\varepsilon_г)\left[\varepsilon_м + \varepsilon_г (1-\varepsilon_м)\right] + \omega \varepsilon_г}$$

$$\boxed{Q^л_{см} = c_в F_м \left[\left(\frac{T_г}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_м}{100}\right)^4\right]}$$

$c_в$ – видимый коэффициент лучеиспускания.

<u>Случай II</u>. Поверхность материала вогнутая (т.е. участки поверхности видят друг друга).



$$\varphi_{км} = \frac{F_п}{F_к}; \ \varphi_{мк} = \frac{F_п}{F_м}$$

1) $Q^{л}_{мм} = Q^{л}_{эфф.м}\varphi_{мм}(1-\varepsilon_г)$ – это нужно добавить в уравнения 1, 3.

2) дополнительно вводится $F_п$ – плоская поверхность.

3) Рассмотрим пары в системе «поверхность – кладка – материал»

$\underline{F_п, F_м}$:

$$\varphi_{пп} + \varphi_{пм} = 1; \varphi_{пп} = 0 \Rightarrow \varphi_{пм} = 1$$

$$\varphi_{пм}F_п = \varphi_{мп}F_м \Rightarrow \varphi_{мп} = \frac{F_п}{F_м} = \varphi_{мк}$$

$\underline{F_п, F_к}$:

$$\varphi_{пп} + \varphi_{пк} = 1 ... \varphi_{пк} = 1$$

$$\varphi_{пк}F_п = \varphi_{кп}F_к \Rightarrow \varphi_{кп} = \frac{F_п}{F_к} = \varphi_{км}$$

$\underline{F_м, F_к}$:

$$\varphi_{мм} + \varphi_{мк} = 1 ... \varphi_{мм} = 1 - \varphi_{мк}$$

$$\varphi_{кк} + \varphi_{км} = 1 ... \varphi_{кк} = 1 - \varphi_{км}$$

Преобразуем их, выражая через $\varphi_{мм}$:

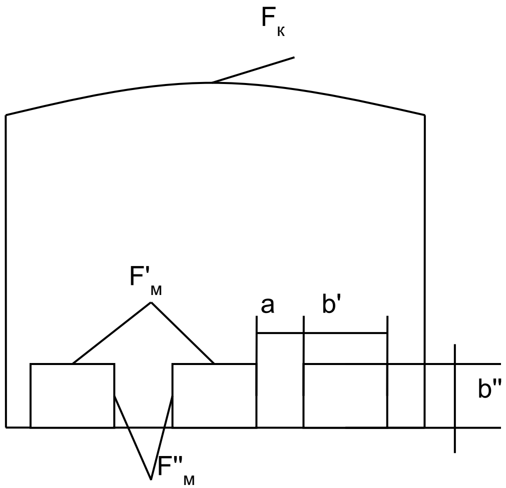
$$\varphi_{мм} = 1 - \frac{F_п}{F_м}; \quad \varphi_{мк} = 1 - \varphi_{мм}; \quad \varphi_{км} = 1 - \frac{\varphi_{мм}}{\omega}; \quad \varphi_{кк} = \frac{\omega + \varphi_{мм} - 1}{\omega};$$

<u>В итоге получаем:</u>

$$Q^{л}_{см,\varphi} = \sigma_{в,\varphi} F_м (T''_г - T''_м) \qquad \varphi_{мм} \neq 0$$

$$\sigma_{в,\varphi} = \sigma_0 \varepsilon_г \varepsilon_м \frac{\omega + (1-\varepsilon_г)(1-\varphi_{мм}) - \omega\varphi_{мм}(1-\varepsilon_г)}{(1-\varepsilon_г)(1-\varphi_{мм})\left[\varepsilon_м + \varepsilon_г(1-\varepsilon_м)\right] + \omega\varepsilon_г\left[1-\varphi_{мм}(1-\varepsilon_м)(1-\varepsilon_г)\right]}$$

Случай III. Материал – равноотстоящие тела прямоугольного поперечного сечения.



$$F_м = F'_м + F''_м\,; \quad \varphi'_{мм} = 0; \quad \varphi''_{мм} \neq 0$$

$$Q^{л}_{см,\Sigma} = \sigma_{в,\Sigma} \times F_м \times (T''_г - T''_м)$$

$$\sigma_{в,\Sigma} = \frac{\sigma'_в F'_м + \sigma''_в F''_м}{F_м}$$

Для поверхности $F'_м$ $\quad \sigma'_в = \sigma_0 \varepsilon_г \varepsilon_м \dfrac{\omega' + 1 - \varepsilon_г}{(1-\varepsilon_г)\left[\varepsilon_м + \varepsilon_г(1-\varepsilon_м)\right] + \omega'\varepsilon_г}$

$\omega' = \dfrac{F_к + F''_м}{F'_м}$ - степень обмурованности по отношению к $F'_м$. В этом случае $F''_м$ выполняет и роль кладки.

$$\sigma'' = \sigma_0 \varepsilon_г \varepsilon_м \frac{\omega'' + \left(1-\varepsilon_г\right)\left(1-\varphi''_{мм}\right) - \omega''\varphi''_{мм}(1-\varepsilon^*_г)}{(1-\varepsilon_г)\left(1-\varphi''_{мм}\right)\left[\varepsilon_м + \varepsilon_г(1-\varepsilon_м)\right] + \omega''\varepsilon_г\left[1-\varphi''_{мм}(1-\varepsilon_м)(1-\varepsilon^*_г)\right]}$$

$$\omega'' = \frac{F_к + F'_м}{F''_м}$$

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

$$\varphi_{мм} = \sqrt{1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2} - \frac{a}{b} \qquad a << 1 \Rightarrow \varphi_{мм} \to 1; \quad a >> 1 \Rightarrow \varphi_{мм} \to 0$$

Поглощательная способность газов равна их излучательной способности: $A_г = \varepsilon_г$

$Q^л_{мм} = Q^л_{эфф.м}\varphi_{мм}(1 - \varepsilon^*_г)$, где $\varepsilon^*_г$ - поглощательная способность газового объема в зазоре между заготовками. Если a мало, то $\varepsilon^*_г$ на порядок отличается от $\varepsilon_г$ свободного объема.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!