

УВЕЛИЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ЕЕ ГЕОМЕТРИИ

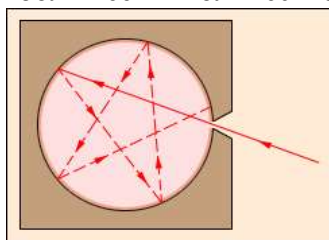
Качковский А.Д., Кучерук Д.А., Пятышкин Г.Г.
Донецкий Национальный Технический Университет

Долговечность и надежность работы теплоэнергетических агрегатов во многом зависит от термической напряженности его ограждающих конструкций. Замечено, что появившаяся трещина в огнеупоре способствует постепенному разрушению стенок.

Рассмотрим тепловое состояние появившейся трещины. Пусть боковые поверхности имеют ту же температуру, что и остальные ограждающие поверхности. Лучистый поток от внутреннего пространства агрегата контактирует с поверхностями трещины через ее ширину.

Известно, что в лучистом переносе тепла моделью абсолютно черного тела принимают замкнутое пространство с небольшим выходным отверстием. Через которое излучение проходит в полость и многократно отражается и постепенно поглощается стенками полости. Естественно, для наблюдателя, находящегося внутри рабочего пространства агрегата из отверстия никакого излучения не наблюдается, т.е. отверстие будет черным.

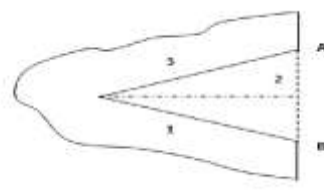
Поэтому, для повышения степени черноты всей поверхности твердого тела необходимо в его тонком слое создать открытые полости маленького размера. Чем меньшего размера будут эти полости, тем ближе они будут расположены друг к другу, будет большее их количество, а значит, будет выше и степень черноты.



а)



б)



в)

С этих позиций любую щербинку на теплообменной поверхности можно рассматривать, как средство повышения степени черноты. В общем теплообмене внутри агрегата, когда трещина отсутствует, в теплообмене участвует площадка А-Б (рис.б). А во втором случае появляются две дополнительные поверхности 1 и 3 (рис. в), которые формируют и направляют тепловой поток через щель в рабочее пространство агрегата.

Повышение степени черноты приводит к повышению температуры этой поверхности, так как количество поглощенного тепла увеличивается. Из этого следует, что будут усиливаться термические напряжения и трещина должна развиваться, что приводит к снижению работоспособности агрегата. При этом вводится понятие эффективной степени черноты, которая будет зависеть от глубины трещины, вернее от площадей поверхностей ее образующих.

Эффективная степень черноты будет увеличиваться по мере увеличения числа ходов луча. В предельном случае она должна стремиться к единице, вне зависимости от степени черноты каждой поверхности. Для уточнения количественных параметров рассмотренного процесса переноса тепло, рассмотрим задачу в следующей постановке.

Дана геометрическая система состоящей из двух серых поверхностей со следующими параметрами: $\varepsilon_1, \varepsilon_3$ - степени черноты; T_1, T_3 – их температуры; L_1, L_3 – длины поверхностей, r - коэффициент отражения. Примыкающая третья поверхность (под номером два) будет представлять окружающую среду. Все три тела образуют замкнутое пространство. Для того, что бы симитировать отсутствие излучения со стороны окружающей среды, примем ее температуру равной нулю, а что бы она ни чего не отражала, следует принять ее степень черноты равной единице.

Плотность собственного лучистого теплового потока q_{cob} будет состоять из плотности поглощенного теплового потока q_{noz} и результирующего потока q_s .

Таким образом:

$$q_{cob} = q_{noz} + q_s; \quad (1)$$

или

$$q_s = q_{cob} - q_{noz} = \varepsilon E - \alpha q_{nad} \quad (2)$$

Где ε - степень черноты поверхности; α - коэффициент поглощения; $E = \sigma T^4$ - плотность излучения абсолютно черного тела при температуре T . σ - постоянная Стефана-Больцмана.

Плотность лучистого эффективного потока от элемента поверхности $q_{z\phi}$ складывается из плотности собственного лучистого потока q_{cob} и плотности отраженного потока q_{omr} .

$$q_{z\phi} = q_{omr} + q_{cob} = r q_{nad} + \varepsilon E \quad (3)$$

В предположении, что излучение носит “серый” характер $\alpha = \varepsilon$ и $r = 1 - \varepsilon$ из выражений (2) и (3) можно получить:

$$\begin{cases} q_{nad} = (q_{z\phi} - \varepsilon E) / r; \\ q_s = \varepsilon E - \frac{\alpha}{r} (q_{z\phi} - \varepsilon E); \\ q_s = \varepsilon E \left(1 + \frac{1-r}{r}\right) - \frac{\alpha}{r} q_{z\phi}; \\ q_s = \frac{\varepsilon}{r} (E - q_{z\phi}). \end{cases} \quad (4)$$

Если в системе серых тел будет M граничных зон, то падающий поток излучения на каждую i – тую граничную зону складывается из эффективных лучистых потоков от остальных $M-1$ граничных зон:

$$\begin{aligned} q_{nad_i} A_i &= \sum_{j=1}^{M-1} \overline{S_j S_i} q_{z\phi_j} \cdot \frac{q_{z\phi_j} - \varepsilon_j E_j}{r_i} A_i = \sum_{j=1}^{M-1} \overline{S_j S_i} q_{z\phi_j}; \\ \sum_{j=1}^{M-1} (\overline{S_j S_i} - \delta_{ij} \frac{A_i}{r_i}) q_{z\phi_j} &= A_i \varepsilon_i E_i / r_i, \end{aligned} \quad (5)$$

Где $\overline{S_j S_i}$ - прямой обменный фактор, величина, учитывающая взаимное расположение граничных зон i и j .

δ_{ij} - символ Кронекерра:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 - i = j; \\ 0 - i \neq j. \end{cases}$$

Для каждой поверхности был составлен баланс лучистых потоков. Каждая поверхность обменивается с остальными эффективными потоками.

Разработана программа расчета падающих, эффективных и результирующих потоков тепла для любого количества поверхностей. Результаты расчета показали, что эффективная степень черноты увеличивается по мере увеличения глубины щели.