

С. Е. САВИЦКИЙ, Я. В. ШКЛЯР, С. Г. КОВЧУР, З. Е. КОВЧУР

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЛОЖНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПЛАМЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Передача тепла от движущихся раскаленных продуктов сгорания топлива в пламенном пространстве стекловаренных печей обуславливается совместными процессами теплопроводности, радиации и конвекции, т. е. подчиняется закономерностям сложного теплообмена.

Исходя из этого, на основе одномерной схемы излучения, было получено уравнение, описывающее процесс сложного, конвективно-кондуктивно-радиационного теплообмена в пламенном пространстве стекловаренных печей:

$$\frac{\varepsilon_n}{Bo} \left[\tau \Theta_2^2 - \Theta_{ст}^4 + A_{конв}(m\sqrt{\Theta_2} - \Theta_{ст}) \right] + \Theta_2 - 1 = 0 \quad (1)$$

Здесь:

$$Bo = \frac{B_r V_r \cdot \bar{c}_v}{\sigma_0 \cdot T_1^3 \cdot H} \text{ — радиационный критерий Больцмана;}$$

$$A_{конв} = \frac{\alpha_{конв}}{\sigma_0 \cdot T_1^3} \text{ — критерий, учитывающий конвективный перенос тепла;}$$

ε_n — степень черноты продуктов сгорания топлива;

τ — опытный коэффициент; $m = \sqrt[4]{\tau}$.

$$\Theta_2 = \frac{T_2}{T_1} \text{ — безразмерная температура уходящих газов;}$$

$$\Theta_{ст} = \frac{T_{ст}}{T_1} \text{ — безразмерная температура поверхности нагрева;}$$

T_1, T_2 и $T_{ст}$ — соответственно температуры продуктов сгорания

на входе в камеру, на выходе из нее и тепловоспринимающей поверхности, K ;

V_r — часовой расход топлива (газа), $нм^3/час$;

V_p — объем продуктов сгорания топлива, $нм^3/нм^3$;

c'_p — средняя теплоемкость продуктов сгорания топлива в интервале температур $T_1 + T_2$, $дж/град \cdot нм^3$;

σ_0 — коэффициент излучения абсолютно черного тела, $вт/м^2 \cdot ^\circ K^4$;

H — тепловоспринимающая поверхность, $м^2$;

σ_v — видимый коэффициент излучения продуктов сгорания топлива, $вт/м^2 \cdot ^\circ K^4$;

$\alpha_{конв}$ — коэффициент конвективной теплоотдачи, $вт/м^2 град$.

В связи с исключительной сложностью физико-химических процессов, имеющих место в камере сгорания топлива, в целях определенного упрощения расчетов теплообмена, была принята, в качестве рабочей, гипотеза аддитивности составляющих сложного теплообмена. В этом случае считается, что перенос теплоты конвекцией не зависит от переноса тепла теплопроводностью и радиацией.

Однако ряд теоретических и экспериментальных исследований указывает на взаимную связь отдельных составляющих сложного теплообмена.

Действительно, рассматривая течение серой излучающей среды около тепловоспринимающей поверхности, векторы радиационного и конвективно-кондуктивного переноса теплоты можно представить в виде:

$$\vec{q}_{рад} = -\frac{\sigma_0}{k} grad T_d \quad (2)$$

и

$$\vec{q}_{конв+конд} = -\lambda_{конв+конд} grad T_m \quad (3)$$

Здесь:

T_d и T_m — соответственно лучистая и молекулярная температуры среды (в общем случае величины переменные);

k — коэффициент поглощения среды;

$\lambda_{конв+конд}$ — коэффициент молярной и молекулярной теплопроводности среды.

Связь между лучистой $T_{л}$ и молекулярной $T_{м}$ температурами (при $k = \text{const}$) определяется следующим соотношением:

$$T_{л}^4 - T_{м}^4 = \frac{1}{4k^2} \nabla^2 T_{л}^4 \quad (4)$$

Из (2), (3), (4) получаем, что с изменением молекулярной температуры (т. е. с изменением вектора конвективно-кондуктивного переноса теплоты $\vec{q}_{\text{конв.}+\text{конд.}}$) изменяется и лучистая температура, т. е., в конечном итоге, вектор радиационного переноса тепла $\vec{q}_{\text{рад.}}$. Следовательно, радиационный и конвективно-кондуктивный переносы теплоты взаимно связаны и друг друга взаимно обуславливают.

Общую картину этой взаимосвязи применительно к условиям работы неохлаждаемых камер сгорания можно, в первом приближении, установить на основании анализа уравнения (1).

Решение этого уравнения, проведенное с помощью ЭВМ, позволило получить зависимость критерия конвективного теплообмена $A_{\text{конв.}}$ (т. е., в сущности, критерия конвективно-кондуктивного переноса) от радиационного критерия Больцмана Bo для диапазона безразмерной температуры $\Theta_2 = 0,75 + 0,94$, что соответствует условиям работы стекловаренных печей. При этом было установлено, что конвективный перенос теплоты для рассматриваемого случая является прямой функцией радиационного переноса и наоборот.

Характер полученных аналитических зависимостей подтверждается опытами по воздушной продувке, проведенными на модели одной из реальных печных установок.

В. П. КАРНОЖИЦКИЙ, В. Л. ИНГУЛЬЦОВ

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ С ПУСТОТЕЛЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

При определении критических напряжений сжатия оболочки заполнитель рассматривается как трехмерное упругое тело, которое до момента выпучивания свободно от напряжений. Оболочка считается достаточно длинной, рассматривается осесимметричная форма потери устойчивости, задача решается в линейной постановке.