Связь между лучистой $T_л$ и молекулярной $T_м$ температурами (при $k$=const) определяется следующим соотношением:

$$T_л^4 - T_м^4 = \frac{1}{4k^2} \nabla^2 T_л^4 \qquad (4)$$

Из (2), (3), (4) получаем, что с изменением молекулярной температуры (т. е. с изменением вектора конвективно-кондуктивного переноса теплоты $\vec{q}_{конв.+конд.}$) изменяется и лучистая температура, т. е., в конечном итоге, вектор радиационного переноса тепла $\vec{q}_{рад}$. 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 $A_{конв.}$ (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.

Уравнения равновесия несущего слоя оболочки с заполнителем можно записать в следующем виде:

$$D_2\frac{d^4u}{dz^4}-\left(-p_2+\frac{B_2\mu_2\delta_2}{2R_2}\right)\frac{d^2u}{dz^2}+\frac{B_2}{R_2^2}u+\frac{B_2\mu_2}{R_2}\cdot\frac{dw}{dz}+\sigma_r-\frac{\delta_2}{2}\cdot\frac{d\tau}{dz}=0,$$

$$B_2\left(\frac{d^2w}{dz^2}-\frac{\delta_2}{2}\cdot\frac{d^3u}{dz^3}\right)+\frac{B_2\mu_2}{R_2}\cdot\frac{du}{dz}-\tau=0, \qquad (1)$$

где $E_2, \delta_2, \mu_2, R_2, p_2$ — модуль упругости, толщина, коэффициент Пуассона, радиус, погонная сжимающая нагрузка несущего слоя;

$$B_2=\frac{E_2\delta_2}{1-\mu_2^2},$$

$$D_2=\frac{E_2\delta_2^3}{12(1-\mu_2^2)};$$

$\sigma_r, \tau$ — компоненты напряжений в цилиндрической системе координат, действующих со стороны заполнителя на несущий слой;

$u$, $w$ — компоненты перемещения на поверхности контакта несущего слоя с заполнителем.

Перемещения и напряжения точек заполнителя можно представить в следующем виде [1].

$$u=\frac{\alpha^2}{2G}\left(C_1I_1+C_2\varrho I_0-C_3K_1-C_4\varrho K_0\right)\sin\alpha z;$$

$$w=\frac{\alpha^2}{2G}\Big\{C_1I_0+C_2[4(1-\mu)I_0+\varrho I_1]+C_3K_0+C_4[-4(1-\mu)K_0+$$

$$+\varrho K_1]\Big\}\sin\alpha z, \qquad (2)$$

$$\sigma_r=\alpha^3\Big\{C_1\left(I_0-\frac{I_1}{\rho}\right)+C_2[(1-2\mu)I_0+\varrho I_1]+C_3\left(K_0+\frac{K_1}{\rho}\right)+$$

$$+C_4[-(1-2\mu)K_0+\varrho K_1]\Big\}\sin\alpha z,$$

$$\tau=\alpha^3\Big\{C_1I_1+C_2[\varrho I_0+2(1-\mu)I_1]-C_3K_1+C_4[-\varrho K_0+$$

$$+2(1-\mu)K_1]\Big\}\cos\alpha z,$$

где $\varrho=\alpha r$; $\alpha=\dfrac{m\pi}{L}$; $L$ — длина оболочки;

$m$ — число полуволн выпучивания;

$r$ — расстояние точек заполнителя до оси оболочки;

$\mu, G, E, 2h, r_1, r_2$ — коэффициент Пуассона, модуль сдвига, модуль упругости, толщина, внутренний и наружный радиус заполнителя;

$C_1, C_2, C_3, C_4$ — произвольные постоянные;

$I_i(\varrho), K_i(\varrho)$ — функции Бесселя первого рода мнимого аргумента и функции Макдональда порядка $i$.

Полагая в зависимости (2) $r=r_2$, после подстановки в уравнения (1) получим два однородных уравнения относительно постоянных $C_1, C_2, C_3, C_4$. Еще два уравнения получим, используя условие отсутствия напряжений на внутренней поверхности заполнителя:

$$\sigma_r=\tau=0 \qquad \text{при } r=r_1 \qquad (3)$$

Приравнивая нулю определитель получающейся системы, найдем после ряда преобразований выражение для критической нагрузки:

$$-p_2=B_2\frac{\Delta_0}{\Delta_2}, \qquad (4)$$

$$\Delta_0=\begin{vmatrix} c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24}\\ c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14}\\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24}\\ d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14}\end{vmatrix}; \qquad \Delta_2=\begin{vmatrix} \bar I_{12} & \varrho_2\bar I_{02} & -\bar K_{12} & -\varrho_2\bar K_{02}\\ c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14}\\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24}\\ d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14}\end{vmatrix}$$

$$\bar I_{12}=e^{\rho_2-\rho_1}\sqrt{\frac{r_1}{r_2}}\,\frac{I'_1(\rho_2)}{I'_1(\rho_1)},\quad \bar I_{02}=e^{\rho_2-\rho_1}\sqrt{\frac{r_1}{r_2}}\,\frac{I'_0(\rho_2)}{I'_1(\rho_1)},\quad \bar I_{01}=\frac{I'_0(\rho_1)}{I'_1(\rho_1)},$$

$$\bar K_{12}=e^{\rho_1-\rho_2}\sqrt{\frac{r_1}{r_2}}\cdot\frac{K'_1(\rho_2)}{K'_1(\rho_1)},\quad \bar K_{02}=e^{\rho_1-\rho_2}\sqrt{\frac{r_1}{r_2}}\,\frac{K'_0(\rho_2)}{K'_1(\rho_1)};$$

$$\bar K_{01}=\frac{K'_0(\rho_1)}{K'_1(\rho_1)},$$

$$\rho_1=\alpha r_1; \qquad \rho_2=\alpha r_2;$$

$$K'_i(\rho)=\left(\frac{\pi}{2\rho}\right)^{-\frac{1}{2}}e^{\rho}K_i(\rho);\; I'_i(\rho)=(2\pi\rho)^{\frac{1}{2}}e^{-\rho}I_i(\rho); \qquad (i=0,1)$$

$$c_{11}=\bar{a}_{11}\bar{I}_{01}+\bar{a}_{10}; \qquad c_{21}=\bar{a}_{12}\bar{I}_{02}+\bar{a}_{20}\bar{I}_{12};$$

$$c_{12}=(\varrho_1\bar{a}_{10}+\bar{a}_{13})\bar{I}_{01}+\varrho_1\bar{a}_{11}, \qquad c_{22}=(\varrho_2\bar{a}_{20}+\bar{a}_{23})\bar{I}_{02}+(\varrho_2\bar{a}_{21}+\bar{a}_{24})\bar{I}_{12},$$

$$c_{13}=\bar{a}_{11}\bar{K}_{01}-\bar{a}_{10}; \qquad c_{23}=\bar{a}_{21}\bar{K}_{02}-\bar{a}_{20}\bar{K}_{12},$$

$$c_{14}=-(\varrho_1\bar{a}_{10}+\bar{a}_{13})\bar{K}_{01}+\varrho_1\bar{a}_{11}, \qquad c_{24}=-(\varrho_2\bar{a}_{20}+\bar{a}_{23})\bar{K}_{02}+(\varrho_2\bar{a}_{21}+\bar{a}_{24})\bar{K}_{12},$$

$$d_{11}=\bar{b}_{12}, \qquad d_{21}=\bar{b}_{21}\bar{I}_{02}+\bar{b}_{22}\bar{I}_{12},$$

$$d_{12}=\varrho_1\bar{b}_{12}\bar{I}_{01}+\bar{b}_{14}, \qquad d_{22}=(\varrho_2\bar{b}_{22}+\bar{b}_{23})\bar{I}_{02}+(\varrho_2\bar{b}_{21}+\bar{b}_{24})\bar{I}_{12},$$

$$d_{13}=\bar{b}_{12}, \qquad d_{23}=\bar{b}_{21}\bar{K}_{02}-\bar{b}_{22}\bar{K}_{12},$$

$$d_{14}=-\varrho_1\bar{b}_{12}\bar{K}_{01}+\bar{b}_{14}, \qquad d_{24}=-(\varrho_2\bar{b}_{22}\pm\bar{b}_{23})\bar{K}_{02}+(\varrho_2\bar{b}_{11}+\bar{b}_{24})\bar{K}_{12},$$

$$\bar{a}_{11}=-\frac{2G}{B_2\alpha}, \qquad \bar{a}_{21}=\frac{1}{\alpha}\left(\frac{2G}{B_2}-\frac{\mu_2}{R_2}\right),$$

$$\bar{a}_{13}=-\frac{4(1-\mu)G}{B_2\alpha}, \qquad \bar{a}_{23}=\frac{4(1-\mu)}{\alpha}\left(\frac{G}{B_2}-\frac{\mu_2}{R_2}\right),$$

$$\bar{b}_{12}=\frac{2G}{B_2\alpha}, \qquad \bar{a}_{24}=2(1-\mu)\frac{G\delta_2}{B_2},$$

$$\bar{b}_{14}=\frac{4(1-\mu)G}{B_2\alpha}, \qquad \bar{b}_{21}=-1,$$

$$\bar{a}_{10}=\frac{2G}{B_2\alpha\rho_1}, \qquad \bar{b}_{22}=\frac{\mu_2}{R_2\alpha}+\frac{\delta_2\alpha}{2}-\frac{2G}{B_2\alpha},$$

$$\bar{b}_{23}=-4(1-\mu),$$

$$\bar{b}_{24}=-4(1-\mu)\frac{G}{B_2\alpha},$$

$$\bar{a}_{20}=\frac{D_2\alpha^2}{B_2}+\frac{\mu_2\delta_2}{2R_2}+\frac{G\delta_2}{B_2}-\frac{2G}{B_2\alpha\rho_2}+\frac{1}{(R_2\alpha)^2}.$$

**Литература:**

1. **Карножицкий В. П.**, Об устойчивости трехслойных пластин и оболочек. V Всесоюзная конференция по теории оболочек и пластин. Аннотации докладов, Москва, 1965 г.

---

С. Е. САВИЦКИЙ, С. Г. КОВЧУР, Я. В. ШКЛЯР, З. Е. КОВЧУР, В. И. УРОДОВ, А. Е. САВКИН

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВАТОРОВ Co, Ni И Cr В ПРИСУТСТВИИ Pr НА СПЕКТРАЛЬНУЮ АБСОРБЦИЮ СВИНЦОВЫХ И НАТРИЕВОКАЛЬЦЕВОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ

Спектральная абсорбция стекол, активированных окисями Co, Ni, Cr и др. красителями, в диапазоне длин волн 400—