

# ОГНЕСТОЙКОСТЬ КОЛОНН ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

*Пазен О.Ю., Вовк С.Я.*

Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности

Важным фактом обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений в настоящее время является применение строительных конструкций с четко определенными данными огнестойкости и распространения огня в зданиях и сооружениях различной степени огнестойкости. Поскольку в настоящее время широкое внедрение получили здания с каркасной конструктивной схемой (основными несущими элементами которых являются колонны прямоугольного поперечного сечения), вопрос определения предела огнестойкости таких колонн является весьма актуальным. Для определения предела огнестойкости колонн прямоугольного поперечного сечения необходимо решить две задачи: теплотехническую (найти распределение нестационарного температурного поля) и механически (определить, как изменятся механические свойства материала колонны вследствие их нагрева).

Задача о распределении нестационарного температурного поля (теплотехническая задача) в колонне прямоугольного поперечного сечения сводится к решению уравнения

$$c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

с краевыми условиями третьего рода

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha t(x_0, y, \tau) - \lambda \frac{\partial t(x_0, y, \tau)}{\partial x} = \alpha \psi(\tau), \\ \alpha t(x_a, y, \tau) - \lambda \frac{\partial t(x_a, y, \tau)}{\partial x} = \alpha \psi(\tau), \\ \alpha t(x, y_0, \tau) - \lambda \frac{\partial t(x, y_0, \tau)}{\partial y} = \alpha \psi(\tau), \\ \alpha t(x, y_b, \tau) - \lambda \frac{\partial t(x, y_b, \tau)}{\partial y} = \alpha \psi(\tau), \end{array} \right. \quad (2)$$

при начальном условии

$$t(x, y, 0) = \varphi(x, y), \quad (3)$$

где  $\psi(\tau)$  – закон изменения температуры среды по периметру поперечного сечения прямоугольника (стандартный температурный режим пожара),  $\alpha$  – коэффициент теплообмена между средой и периметра поверхности прямоугольника,  $c$  – массовая удельная теплоемкость,  $\rho$  – плотность,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\varphi(x, y)$  – начальное распределение температурного поля по толщине прямоугольной колонны.

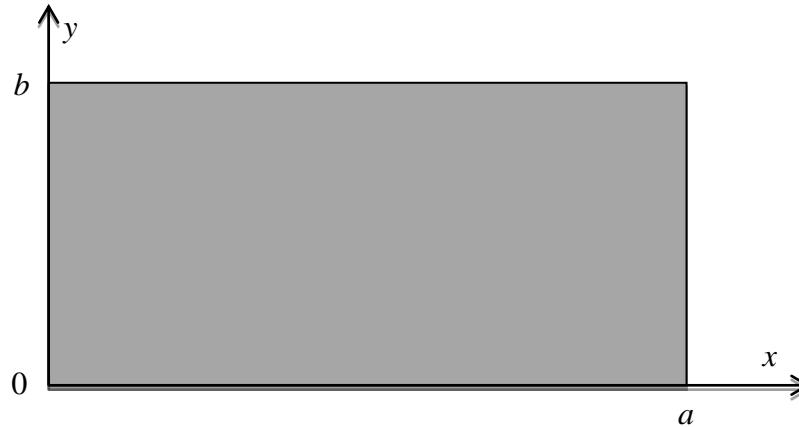


Рис. 1. – Поперечное сечение прямоугольника

В работе [1] установлено, что расчет нестационарного температурного поля прямоугольного поперечного сечения с достаточной точностью может быть найден с помощью известного в теории теплопроводности соотношение безразмерных относительных температур:

$$\frac{\psi(\tau) - t(x, y, \tau)}{\psi(\tau) - t(x, y, 0)} = \frac{\psi(\tau) - t(x, \tau)}{\psi(\tau) - t(x, y, 0)} \cdot \frac{\psi(\tau) - t(y, \tau)}{\psi(\tau) - t(x, y, 0)}, \quad (4)$$

где  $t(x, y, \tau)$  – температура двумерного температурного поля;  $t(x, \tau)$  и  $t(y, \tau)$  – температура одномерных температурных полей;  $t(x, y, 0)$  – начальная температура.

Из соотношения (4) находим формулу для определения двумерного температурного поля прямоугольного поперечного сечения

$$t(x, y, \tau) = t_{cm} - \frac{(t_{cm} - t(x, \tau)) \cdot (t_{cm} - t(y, \tau))}{t_{cm} - t(x, y, 0)}. \quad (5)$$

Соотношение (5) отражает результат наложения одномерных температурных полей  $t(x, \tau)$  и  $t(y, \tau)$  друг на друга. Поэтому для нахождения двумерного температурного поля необходимо и достаточно найти распределение одномерного температурного поля по направлению оси  $x$  и по направлению оси  $y$ .

Для нахождения распределения одномерного температурного поля по толщине прямоугольника, использован алгоритм, который подробно изучен и описан в работе [2].

Для определения несущей способности (механическая задача) необходимо проанализировать как изменяется прочность материала (в данном случае бетон) колонны прямоугольного поперечного сечения при нагревании.

Если на колонну действует некоторая постоянная нагрузка  $N$ , то напряжения, возникающие в поперечном сечении колонны площадью  $A$  можно вычислить по формуле

$$\sigma_b = \frac{N}{A} \quad (6)$$

Максимальные напряжения, которое может выдержать бетон до разрушения можно вычислить исходя из условий прочности бетона

$$\sigma_{\max} = R_b \gamma_b \quad (7)$$

где  $R_b$  - расчетное сопротивление бетона при сжатии, МПа,  $\gamma_b$  - коэффициент работы бетона при нагревании.

Из формулы (7) видно, что в зависимости от величины максимальные напряжения которые может принять бетон изменятся. Изменение этой величины в зависимости от температуры показано на рис.2.

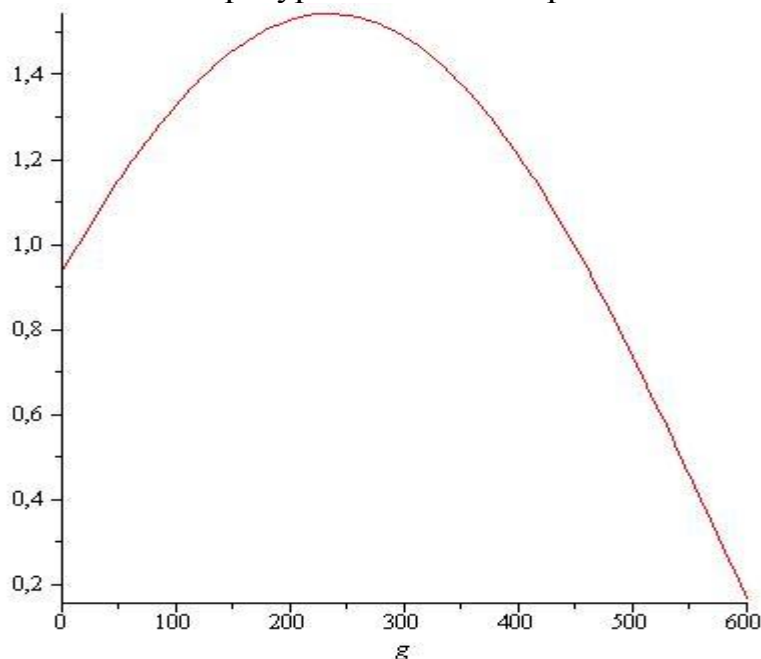
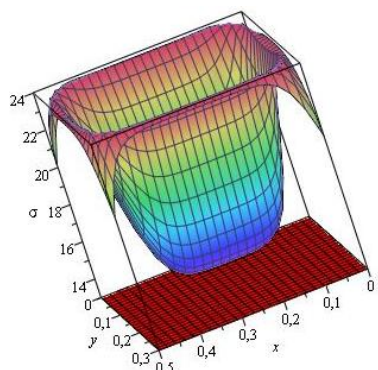


Рис. 2 Зависимость коэффициента работы бетона при нагревании

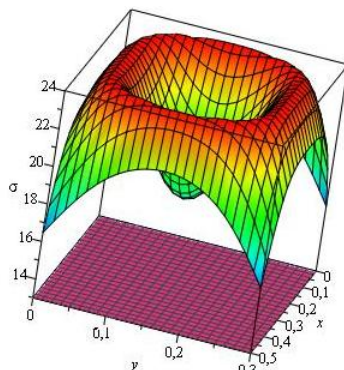
Математически  $\gamma_b$  можно описать в виде зависимости

$$\gamma_b = 2 \cdot 10^{(-11)} t(x, y, \tau)^4 - 2 \cdot 10^{(-8)} t(x, y, \tau)^3 - 0.5 \cdot 10^{-5} t(x, y, \tau)^2 + 0.46 \cdot 10^{-2} t(x, y, \tau) + 0.9366 \quad (8)$$

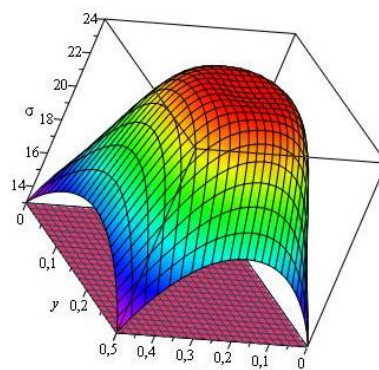
Для нахождения несущей способности сравним как будут изменяться напряжение в колонне прямоугольного поперечного сечения при заданной постоянной нагрузке  $N$  и изменении напряжений  $\sigma_{\max}$ . Для вычисления  $\sigma_{\max}$  используем распределение нестационарного температурного поля колонны прямоугольного сечения который подставим как функцию изменения температуры в коэффициент  $\gamma_b$ .



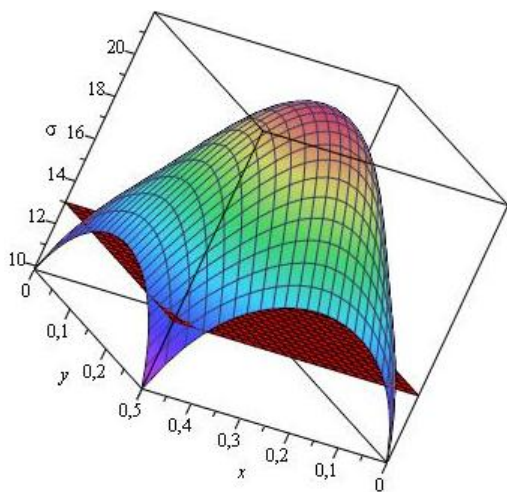
30 мин



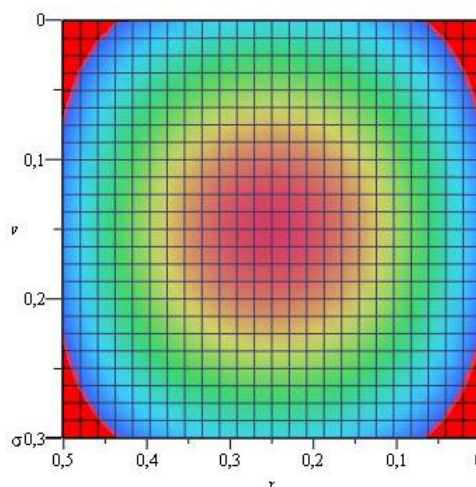
60 мин

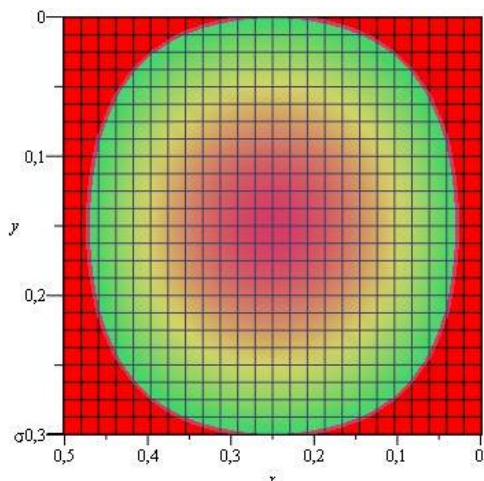
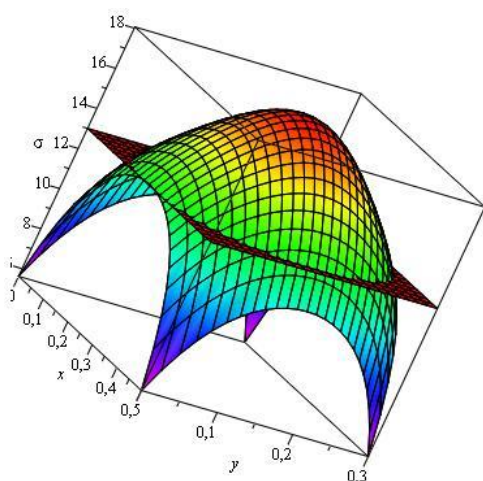


120 мин

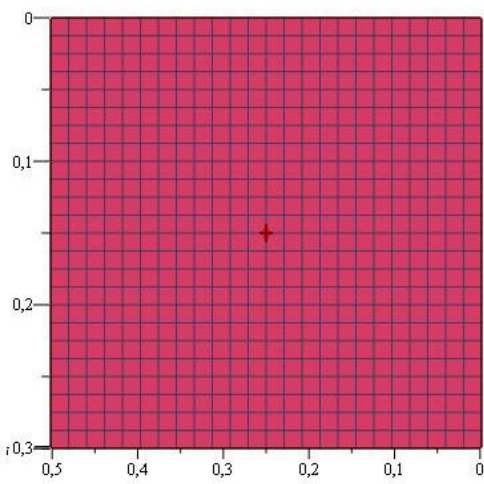
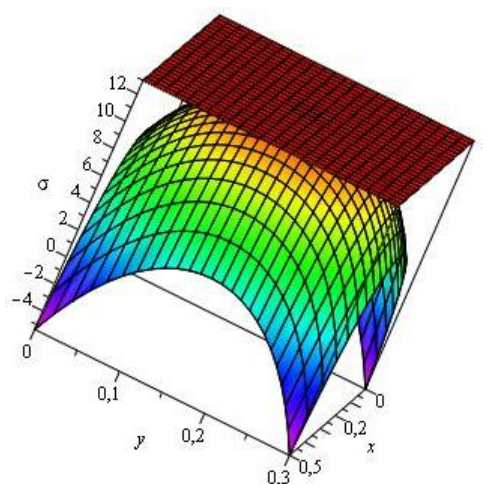


180 мин





240 мин



360 мин

*Рис. 3. Изменение прочности бетона в условиях нагрева*

Вывод. Анализ рисунка 3 дает возможность оценить изменение несущей способности колонны прямоугольного поперечного сечения в условиях нагрева. Очевидно, что через 180 мин после начала пожара в углах колонны произойдет разрушение, вследствие того, что прочность бетона будет ниже нагрузки, которая действует на нее, а через 360 мин колонна полностью разрушится.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М: Высшая школа, 1967. – 559 с.
2. О. Y. Pazen and R. M. Tatsii, "General boundary-value problems for the heat conduction equation with piecewise-continuous coefficients," Journal of Engineering Physics and Thermophysics, vol. 89, no. 2, pp. 357-368, March 2016.