

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО ГОРЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЯХ

**Бржанов Р.Т.**

*Ғимаратарың конструктивтік ерекишелеріне сәйкес жарылып жану процесстерінің математикалық нобайы келтірілге.*

*It is examined the mathematic model of the process of explosive burning to depend upon constructive particulars of buildings.*

При математическом описании процесса взрывного горения в промышленных и гражданских зданиях необходимо исходить из того, что допустимые уровни взрывных нагрузок внутри зданий не должны превышать  $\Delta P_{\text{доп}}=10-15$ кПа. При давлениях, больших  $\Delta P_{\text{доп}}$ , основные строительные конструкции большинства зданий разрушаются.

Невысокие уровни избыточного давления позволяют внести в математическую модель ряд упрощений. Во-первых, можно считать, что скорость нормального горения, степень расширения продуктов сгорания и плотность свежей смеси являются величинами постоянными. Во-вторых, использовать принцип квазистатичности избыточного давления, когда давление является функцией только координат и не зависит от времени, т.е. время выравнивания давления существенно превышает время изменения параметров системы. [1]

Динамика изменения давления (нагрузок) в этом случае может быть описана соотношением:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\alpha \cdot S(t) \cdot (\varepsilon - 1) \cdot U_n - \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho_j}} \cdot S_{\text{пр}} \cdot f(t, \Delta P)}{\frac{V_1}{\gamma_1} + \frac{V_2}{\gamma_2}} \cdot P(t) \quad (1)$$

$P(t)$  - текущее значение давления;  $\Delta P$  - избыточное давление;  $S(t)$  - текущее значение площади поверхности фронта пламени;  $S_{\text{пр}}$  - суммарная площадь сбросных проемов;  $\rho_j$  - плотность холодной газовой смеси ( $\rho_1$ ) или продуктов сгорания ( $\rho_2$ );  $\varepsilon$  - степень расширения смеси при сгорании,  $\varepsilon = \rho_1/\rho_2$ ;  $\gamma_i$  - показатель адиабаты свежей смеси ( $\gamma_1$ ) или продуктов взрыва ( $\gamma_2$ );  $U_n$  - нормальная скорость распространения пламени;  $V_j$  - текущий объем свежей смеси ( $V_1$ ) или продуктов взрыва ( $V_2$ );  $f(t, \Delta P)$  - функциональная зависимость вскрытия предохранительных конструкций (стекло в оконных проемах, ЛСК и т.д.);  $\alpha$  - коэффициент интенсификации процесса горения;  $\mu$  - коэффициент расхода, истекающих через сбросной проем газов.

Из (1) следует, что параметры, от которых зависит темп нарастания давления (кроме параметров, характеризующих горючую смесь  $U_n$  и  $\varepsilon$ ) являются: площадь фронта пламени, объем помещения, плотность истекающих через сбросные проемы газов и площадь сбросных проемов.

Из формулы (1) в предположении, что все продукты сгорания мгновенно сбрасываются в атмосферу и при условии, что на сбросных проемах отсутствуют предохранительные конструкции, следует упрощенное соотношение для определения текущего значения давления:

$$\Delta P(t) \approx 0,5 \cdot \rho_j \cdot U_n^2 \cdot (\varepsilon - 1)^2 \cdot \left(\frac{\alpha}{\mu}\right)^2 \cdot \left(\frac{S(t)}{S_{нп}}\right)^2, \quad (2)$$

где  $S(t)$  - текущее значение площади поверхности фронта пламени.

Количественное определение влияния параметров предохранительных конструкций (ПК) на уровни взрывных нагрузок проводится по различным методикам в зависимости от того, используется в качестве ПК «глухое» остекление или легкосбрасываемые конструкции (ЛСК).

Для определения  $f(t, \Delta P)$  в помещениях, оборудованных ЛСК, необходимо знать функциональную зависимость смещения ЛСК от времени -  $x(t)$ . Для ее определения уравнение (1) дополняется системой из двух обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = V(t), \\ \frac{dV(t)}{dt} = \frac{g \cdot (\Delta P - K \cdot \Delta P_{инер})}{\Delta P_{инер}}, \end{cases} \quad (3)$$

$$\Delta P_{инер} = \frac{m \cdot g}{S_{лпк}}$$

где  $V(t)$  - скорость перемещения ЛСК; - параметр, характеризующий инерционность легкосбрасываемых конструкций;  $K$  - параметр, характеризующий место расположения ЛСК ( $K=1$  - при расположении ЛСК на крыше здания,  $K=0$  - при расположении ЛСК в стенах здания);  $g$  - ускорение свободного падения;  $m$  - масса единичной легкосбрасываемой конструкции.

Для подтверждения корректности описанной вычислительной схемы было проведено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными (рис.7). Полученное удовлетворительное согласие между результатами расчета и эксперимента позволяет говорить о применимости расчетной схемы для прогнозирования взрывных нагрузок на объектах, где в качестве предохранительных конструкций используются ЛСК.

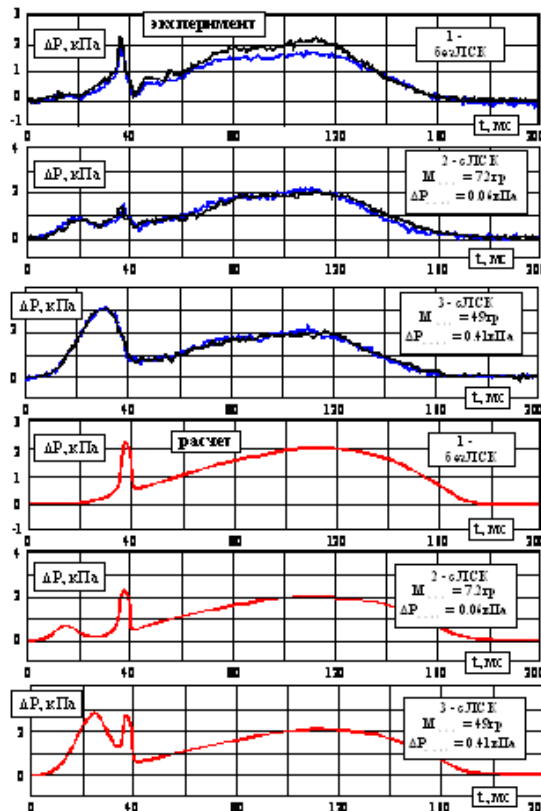


Рис.1. Сравнение экспериментальных и расчетных осциллограмм давления при взрыве пропановоздушной смеси в кубической камере ( $h = 305\text{мм}$ ).

1 – открытые проемы;

2,3 – проемы закрыты пластинами, моделирующими ЛСК.

При определении динамики взрывного давления в помещении, оборудованном ПК с «глухим» остеклением, используются эмпирические зависимости  $f(t, \Delta P)$ , описывающие процесс вскрытия (освобождения) оконного проема от стекла.

Опираясь на изложенный материал, рассмотрим последствия аварийных взрывов в жилых домах. Основной причиной возникновения взрывоопасной ситуации в жилых домах является утечка газа. При этом утечки газа можно подразделить на три группы: утечка через не зажженную конфорку; обрыв (частичный или полный) подводящего к стояку шланга или отрыв газовой плиты от стояка; коррозионный износ газовых коммуникаций или неплотность в системе газоснабжения.

Необходимо напомнить, что рабочее давление в газовой системе составляет около  $100\text{мм.вод.ст.}$  При аварийной ситуации первой группы приток метана в помещение определяется расходом газа через не зажженные конфорки. Для одной конфорки расход газа составляет около  $q_k = 0.1\text{м}^3/\text{час}$ . При неплотности в системе газоснабжения расход составляет около  $q = 0.19\text{м}^3/\text{час} \cdot S(\text{мм}^2)$ , где  $S$  – площадь неплотности в  $\text{мм}^2$ .

Учитывая, что для взрыва газовой смеси концентрация горючей компоненты в ней должна находиться между нижним и верхним концентрационными пределами (рис.1), при анализе причин и последствий аварийных взрывов в жилых домах необходимо рассмотреть вопрос формирования взрывоопасного облака. Например, метановоздушная смесь

способна взрываться при объемном содержании в ней метана от 5 до 15%, т.е. пределы воспламеняемости метана составляют  $C \approx 5-15\%$ .

Распределение концентрации вещества по объему и его изменение во времени описывается уравнением диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \frac{\partial Q}{\partial V_{см}} - \operatorname{div}(\vec{v} \cdot C) \quad (4)$$

где  $C$  - объемная концентрация вещества в смеси;  $D$  - коэффициент диффузии для различных направлений;  $Q = q - L_{вент} \cdot C$  - объемный расход вещества;  $q$  - расход метана через аварийное отверстие;  $L_{вент}$  - вентиляционный расход;  $v$  - скорость воздушного потока в помещении;  $x, y, z$  - пространственные координаты;  $t$  - время;  $V_{см}$  - объем смеси.

Уравнение (4) решается при нулевых начальных условиях и следующих

граничных условиях:  $C=0$  - на свободной границе;  $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$  - на жесткой границе. Скорость воздуха в помещении должна быть определена заранее, исходя из условий связи помещения с внешней средой.

Анализ уравнения (4), записанного в безразмерном виде, показывает, что

характер его решения зависит от соотношения между  $\frac{Q}{V_{см}}$  и  $\frac{D}{L^2}$ , где  $V_{ист}$  - характерный размер источника вещества;  $L$  - характерный линейный размер

помещения, или от безразмерного параметра  $\frac{Q \cdot L^2}{V_{см} \cdot D}$ . При относительно

больших расходах или малых значениях коэффициента диффузии  $\left( \frac{Q \cdot L^2}{V_{см} \cdot D} \gg 1 \right)$  концентрация вещества в помещении значительно зависит от пространственной координаты, а в решении уравнения (4) присутствует явно выраженный максимум, расположенный у источника. При малых расходах вещества  $\left( \frac{Q \cdot L^2}{V_{см} \cdot D} \ll 1 \right)$  концентрация вещества в помещении практически не зависит от пространственной координаты.

В расчетах принят минимальный коэффициент диффузии  $D=0.0005 \text{ м}^2/\text{с}$ . Принято, что дверь на кухню закрыта и отсутствует вентиляция  $L_{вент}=0 \text{ м}^3/\text{час}$ , т.е. нет связи с внешней средой. Расход газа -  $q=0.4 \text{ м}^3/\text{час}$  соответствует производительности четырех газовых конфорок.

### Литература:

1. Чечина О.Н., Надиров К.С. Математические методы в электрохимии и биотехнологий. Уч. пособие, - Алматы; Ғылым, 2001 - 123 с.