

# ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА, ОБРАЗОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЫМА В ПОМЕЩЕНИИ

канд. техн. наук А.Ф. Стоянов, А. В. Елизаров  
(представлено докт. техн. наук О.Т. Тильчиным)

Приведена модель развития пожара, образования и распространения дыма в помещении, позволяющая без решения системы дифференциальных уравнений определить основные характеристики процесса. В основе предлагаемой модели лежат принцип зонирования и предложенное авторами понятие эффективной площади горения.

При изучении практически любого вопроса, связанного с распространением пожара, образованием и распространением дыма в помещении, важную роль играют экспериментальные исследования.

При этом отметим, что натурные эксперименты являются весьма дорогими, поэтому проводятся только в экономически развитых странах (в частности, США[1,2]). Что же касается модельных экспериментов, то несоответствие масштаба между модельными и реальными пожарами часто приводит к весьма существенной разнице в результатах. Последнее недопустимо, т.к. ошибка может привести к потерям человеческих жизней и здоровья.

Целью настоящей работы является создание феноменологической модели развития пожара, образования и распространения дыма в помещении, ориентированной на проведение натурных испытаний в теплодымокамере.

Попытаемся выделить некоторые общие характеристики объектов, позволяющие объединить их в группы, в зависимости особенностей протекания реакции горения, а также такие закономерности протекания пожара, которые позволяют снизить затраты средств и труда при испытаниях.

Рассмотрим помещение, имеющее размеры (длина, ширина, высота)  $X, Y, X$  соответственно. Изучается развитие пожара на ранней стадии, до начала тушения (что практически наиболее важно. т.к. в большинстве случаев вследствие эффективной работы подразделений пожарной охраны пожар не успевает перейти в развитую стадию), поэтому можно не учитывать теплообмен за счет конвекции и излучения.

Введем понятие эффективной площади горения  $S_e$ , показывающее, насколько интенсивно будет происходить процесс для данного объекта. Под эффективной площадью горения будем понимать площадь проекции  $S_j$ , ограничивающих объект, на плоскость ( $XOY$ ), и удовлетворяющих следующему условию: угол  $\alpha$  между нормалью к  $S_j$  и осью  $Z$  не превышает  $90^\circ$ . Интуитивно ясно, что процесс горения медленнее распространяется и медленнее протекает в тех частях объекта, где имеются «нависающие» площадки. Сформулируем следующую гипотезу о влиянии геометрических характеристик объекта на протекание пожара:

Поля температур, концентраций газовой фазы и частиц дыма в помещении для объектов, состоящих из одинакового материала и имеющих

одинаковую эффективную площадь горения, мало отличаются друг от друга, и в практических задачах их можно считать тождественными.

Иными словами:

$$\varphi_i = \varphi_i(k, S_c, \text{расположение и форма объекта } t, X, Y, Z), i=1 \dots N.$$

$$T = T(k, S_c, \text{расположение и форма объекта, } t, X, Y, Z) \quad (1)$$

Здесь индекс  $k$  задает вид материала, из которого состоит объект:  $\varphi_i$ ,  $i=1, \dots, N$  - концентрации компонентов газовой фазы и макрочастиц дыма,  $T$  - абсолютная температура,  $t$  - время. Для некоторых объектов, например, для случая горения ЛВЖ или ГЖ, физический смысл понятия эффективной площади горения очевиден, а ее значение равно площади зеркала жидкости. Сформулируем принцип зонирования (см., например, [2,3]) - основное предположение, которое лежит в основе предлагаемой феноменологической модели:

1. Основные характеристики развития пожара, образования, распространения и осаждения дыма - температура, концентрации компонентов газовой фазы и макрочастиц дыма, практически не меняются внутри «горячей» и «холодной» зон помещения разделенных горизонтальной поверхностью раздела зон,

2. Характеристики, указанные в п.1, слабо зависят от положения объекта, при практических расчетах указанной зависимостью можно пренебречь,

На основе принципа зонирования легко указать, какие именно характеристики следует измерять при сжигании каждого конкретного объекта для того, чтобы получить исчерпывающую информацию о процессе:

а) значения температуры, концентраций компонентов газовой фазы и макрочастиц дыма на уровне пола и потолка помещения:

$$\varphi_{iu} = \varphi_{iu}(k, S_c, m_o, t, X, Y, Z), i=1 \dots N; \quad (2)$$

$$\varphi_{il} = \varphi_{il}(k, S_c, m_o, t, X, Y, Z), i=1 \dots N;$$

$$T_{iu} = T_{iu}(k, S_c, m_o, t, X, Y, Z)$$

$$T_{il} = T_{il}(k, S_c, m_o, t, X, Y, Z)$$

Здесь индексы « $u$ » и « $l$ » соответствуют «горячей» и «холодной» зоне;  $m_o$  - масса объекта в момент возгорания,

б) то же - на уровне человеческого роста (данное требование важно, в первую очередь, с точки зрения практических нужд пожарной охраны);

$$\varphi_{im} = \varphi_{im}(k, S_c, t, X, Y, Z), i=1 \dots N.$$

$$T_m = T_m(k, S_c, m_o, t, X, Y, Z) \quad (3)$$

в) изменение массы объекта в зависимости от времени (проще всего поместить объект на весы):

$$m = m(m_0, S_c, t, X, Y, Z) \quad (4)$$

Описание физико-химического процесса пожара не исчерпывается приведенными выше величинами - к ним следует добавить значения давления и плотности газовой фазы в целом и ее компонентов и поле скоростей во всех точках помещения, Однако указанные величины меняются незначительно, и их изменение не влияет на эффективность работы подразделений пожарной охраны. Для обработки первичных экспериментальных данных каждого отдельного испытания применим регрессионный анализ, следовательно будем искать зависимости вида:

$$\begin{aligned} \varphi_{iu} &= a_{0i} + a_{1i}t + a_{2i}t^2 + \dots, i=1, \dots, N; \\ \varphi_{il} &= b_{0i} + b_{1i}t + a_{2i}t^2 + \dots, i=1, \dots, N; \\ T_u &= c_{0i} + c_{1i}t + c_{2i}t^2 \dots; \\ T_l &= d_{0i} + d_{1i}t + d_{2i}t^2 + \dots; \\ m &= m_0 + e_1t + e_{2i}t^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Очевидно, что формулы типа (5) неприменимы для аппроксимации характеристик развития пожара, образования и распространения дыма на высоте человеческого роста, т.к. здесь возможен «скачок» - резкое изменение параметров в течение небольшого промежутка времени. В то же время из принципа зонирования непосредственно следует:

$$\begin{aligned} \varphi_{im} &= \Theta(t-t^*)(a_{0i} + a_{1i}t + a_{2i}t^2 + \dots) + (1-\Theta(t-t^*))(a_{0i} + a_{1i}t + a_{2i}t^2 + \dots, i=1 \dots N; \\ T_{im} &= \Theta(t-t^*)(c_{0i} + c_{1i}t + c_{2i}t^2 + \dots) + (1-\Theta(t-t^*))(d_{0i} + d_{1i}t + d_{2i}t^2 + \dots); \end{aligned} \quad (6)$$

Поэтому значения основных характеристик в данном случае полностью определяются значением  $t^*$  - момента времени, когда поверхность раздела зон находится на высоте  $H=1,7$  м.

Предлагаемый способ обработки первичных результатов испытания позволяет в компактной форме хранить большой объем информации, восстановить с заданной точностью зависимости типа (4)-(5) не составляет труда. Введем в рассмотрение обобщенные факторы  $X_1, X_2$ :

$$\begin{aligned} X_1 &= (m - m_{\min}) / (m_{\max} - m_{\min}); \\ X_2 &= (S_e - S_{e \min}) / (S_{e \max} - S_{e \min}). \end{aligned} \quad (7)$$

Коэффициенты (5) представим в виде линейных зависимостей (эмпирическую модель, созданную на основе приведенного выше предположения, будем называть моделью А):

$$\begin{aligned} a_{0i} &= A_{0io} + A_{0i1}X_1 + A_{0i2}X_2; \quad a_{1i} = A_{1io} + A_{1i1}X_1 + A_{2i1}X_2; \\ b_{0i} &= B_{0io} + B_{0i1}X_1 + B_{0i2}X_2; \quad b_{1i} = B_{1io} + B_{1i1}X_1 + B_{2i1}X_2; \end{aligned} \quad (8)$$

$$c_o=C_{o0}+C_{o1}X_1+C_{o2}X_2; c_1=C_{1o1}+C_{11i}X_1+C_{112}X_2;$$

$$d_o=D_{o0}+D_{o1}X_1+D_{o2}X_2; d_1=D_{1o}+D_{11}X_1+D_{12}X_2;$$

$$e_o=E_{oio}+E_{o1}X_1+E_{o2}X_2; e_1=E_{1o}+E_{1i}X_1+E_{12}X_2$$

Набор формул, аналогичных (8) и представляющих собой полиномы второго порядка, будем называть моделью Б, третьего порядка- моделью В и т.д. Выбор модели (А, Б, В, ...) и рациональное планирование количества испытаний, позволяющее с достаточной степенью точности определить коэффициенты соответствующих полиномов и подтвердить адекватность предлагаемой модели, представляет собой самостоятельную задачу. Новизна данной работы состоит в том, что предлагаемая модель позволяет на основе анализа и обобщения экспериментальных результатов, без решения системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс пожара, рассчитать основные характеристики развития пожара, образования и распространения дыма в помещении. Предлагаемая работа является актуальной, т.к. рассчитываются именно те характеристики, которые необходимы для повышения эффективности и безопасности работы подразделений пожарной охраны.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. М.: Стройиздат, 1989,- 320 с.
- 2 Henry E. Mitler Comparison of Several Compartment Fire Models: An Intern Report/ZNational Institute of Standarts and technology, Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg. MD 20899, 1985. - 34 p,
- 3 Richard D. Peacock, Glenn P. Forney, Paul Reneke, Rebecca Fortier, Walter W. Jones CFAST, the consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport// Nist Technical Note 1299, 1993.-235 P.