

ПРИБЛИЖЕННЫЙ СПОСОБ УЧЕТА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГОРЮЧЕГО ВЕЩЕСТВА ПРИ РАСЧЕТЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧАСТИЦ ДЫМА И ВРЕДНЫХ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ ВО ВРЕМЯ ПОЖАРЕ

А.В.Елизаров
(представлено д.т.н., проф. О.Т. Тильчиным)

В работе рассмотрен химический баланс процесса пожара в замкнутом объеме и предложен приближенный способ учета химического состава горючего вещества

При исследовании процесса дымообразования и дымоосаждения весьма существенную роль играет решение задачи о возникновении, распространении, осаждении дыма и разработка на основе теоретического решения вычислительных алгоритмов и соответствующего программного обеспечения

Разработанные в СССР и впоследствии в России решения [1] являются весьма приближенными и не учитывают, например, таких факторов, как изменение состава горючего вещества во времени под влиянием высокой температуры.

Согласно определению [1], дымом называется конденсационный аэрозоль с твердой дисперсной фазой. Однако весьма существенным в процессе пожара является также выделение диоксида углерода (CO_2) и других газовых компонентов (HCN , HCl), вредно действующих на организм человека. Поэтому выделение таких газов необходимо рассматривать наряду с выделением твердых частиц.

Рассмотрим движение внутри помещения следующих веществ: частицы дыма (сажа), хлороводород (HCl), цианид водовода (HCN), диоксид углерода (CO_2), оксид углерода (CO), сероводород (H_2S).

В общем случае математическая модель химического баланса компонентов горючего и продуктов горения при пожаре разработана в работе [2].

Нашей целью будет построить приближенную модель учета химического состава горючего вещества, которая, в отличие от [2], позволит оформить результаты в виде конечных формул и, следовательно, удобна в инженерных расчетах.

В качестве характеристик горючего вещества в происходящей реакции будем рассматривать следующие величины: S/C – соотношение массы сажи (твердых частиц дыма), которая возникает в результате горения, к массе углерода в веществе; C/ρ – то же для углерода / всей

массы вещества, здесь ρ - плотность вещества; CO/CO_2 – то же для оксида / диоксида углерода; HCl/C – массовые отношения в горючем веществе – хлороводород / углерод; HCN/C то же для цианида водорода / углерода; H/C – то же для водорода/углерода; $\text{H}_2\text{S}/\text{C}$ – то же для сероводорода/углерода.

Подчеркнем, что первые три величины, приведенные выше, относятся к продуктам горения, а последующие четыре – к составу горючего вещества. Причем, если состав горючего вещества постоянен, то соотношение различных продуктов горения меняется во времени, поэтому естественно задать величины S/C и CO/CO_2 как $\text{S}/\text{C}(t)$ и $\text{CO}/\text{CO}_2(t)$, то есть в виде функций времени.

Покажем, каким образом на основании приведенных данных можно рассчитать содержание компонентов продуктов горения в помещении.

Зададим в числе условий задачи скорость пиролиза вещества $v_p(t)$ – количество вещества, которое переходит в газообразную фазу в единицу времени (возможно неполное сгорание, поэтому скорость пиролиза при недостатке кислорода, вообще говоря, не совпадает со скоростью выгорания $v_f(t)$, то есть количество вещества горючего, которое участвует в реакции, сгорающем за единицу времени). Тогда, например, скорость выделения газообразного хлороводорода и частиц дыма определяются уравнениями

$$\begin{aligned} V_{\text{HCl}} &= (\text{HCl}/\text{C}) (\text{C}/\rho) v_p, \\ V_{\text{S}} &= (\text{S}/\text{C})(\text{C}/\rho) v_p. \end{aligned} \quad (1)$$

Количество остальных компонентов, не участвующих в реакции, в продуктах горения определяются аналогично.

Для определения массового выхода продуктов горения используем известное уравнение [2,3]

$$v_0 = \frac{v_f \cdot H_c}{1.32 \cdot 10^7}, \quad (2)$$

где v_0 – масса кислорода, участвующая в реакции в единицу времени, кг/с; H_c – теплота сгорания вещества, Дж/кг, v_f – скорость выгорания.

Уравнение (2) дает связь между скоростью выгорания и количеством потребляемого кислорода (в процессе рассматриваемой реакции кислород расходуется на взаимодействие с углеродом, который содержится в горючем веществе). На основании закона сохранения вещества имеем:

$$v_f + v_o = v_{co2} + v_{co} + v_s + v_{HCl} + v_{HCN} + v_{H2O} . \quad (3)$$

Отсюда получаем для скорости выделения диоксида углерода:

$$v_{co2} = v_f (1 + H_c / 1.32 \cdot 10^7 - \varphi_s - \varphi_{HCl} - \varphi_{HCN} - \varphi_{H2O}) / (1 + CO/CO_2) , \quad (4)$$

где φ_s , φ_{HCl} , φ_{HCN} , φ_{H2O} – значение массы соответствующего вещества, которая выделяется при сгорании единицы массы горючего вещества.

Для оксида углерода соответственно:

$$v_{co} = v_{co2} (CO/CO_2) . \quad (5)$$

Полученные результаты непосредственно применимы для приближенной оценки концентрации дыма при развитии пожара в помещениях.

Рассмотрим образец, представляющий собой брусок горючего материала, причем толщина образца мала в сравнении с другими размерами. Горение начинается в центре образца. Рассматривается период времени, когда характерные размеры пожара значительно меньше длины и ширины образца.

Пусть для вещества известна скорость выгорания с единицы площади - v_{fl} и скорость распространения пламени по поверхности – v^* (м/с). Тогда площадь пожара в момент времени t можно оценить по формуле

$$S_f = \pi(v^* \cdot t)^2 . \quad (6)$$

Отсюда скорость выгорания (в нашем случае считаем ее равной скорости пиролиза)

$$V_f = \pi(v^* \cdot t)^2 v_{fl} . \quad (7)$$

Поэтому можно утверждать, что масса диоксида углерода, хлороводорода и т.д., которые выделяются в процессе реакции горения в единицу времени, приближенно рассчитывается, как полином второй степени (7). Соответственно масса продуктов горения по всему объему помещения растет как t^3 .

Приведенная методика может быть легко распространена на образец произвольной формы, если задана скорость распространения пламени по его поверхности.

Новизна предложенной работы состоит в том, что на основании общих основ теории горения и распространения пожара в ней получены простые формулы для оценки концентрации дыма и газообразных продуктов горения в помещении. Кроме того, результаты могут быть использованы и в случае более сложных моделей развития пожара (зонной модели; модели, построенной на основе уравнений в частных производных).

Полученные соотношения позволяют без использования сложного программного обеспечения, на основании конечных формул, оценивать концентрацию продуктов горения в помещении во время пожара, что является важным при разработке рациональной тактики работников пожарной охраны, а также для разработки оперативных документов пожарной охраны, а также при составлении рациональных планов эвакуации из здания в случае пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы тушения пожаров / И.М.Абдурагимов, В.Ю.Говоров, В.Г.Макаров. – М.: ВИПТШ, 1980. – 255 с.
2. Richard D. Peacock, Glenn P. Forney, Paul Reneke, Rebecca Portier. Walter W/ Jones CFAST. The consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport //Nist Technical Note 1299. – 1993.- 253 p.
3. Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release for Materials and Product Using the Consumption Calorimeter. ASTM E1354, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, RA 1990. 36 p.