

*А.В. Елизаров, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

## **УЧЕТ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГОРЮЧЕГО ВЕЩЕСТВА ПРИ РАСЧЕТЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ**

(представлено д-ром техн. наук Прохачем Э.Е.)

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

**Ключевые слова:** химический баланс, «холодная» и «горячая» зона, скорость выгорания, продукты горения, удельная теплота сгорания.

**Постановка проблемы.** 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

**Анализ последних исследований и публикаций.** 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.

**Постановка задачи и ее решение.** Нашей задачей 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.

Согласно определению [1], дымом называется конденсационный аэрозоль с твердой дисперсной фазой. Однако весьма существенным в процессе пожара является также выделение диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и других газовых компонентов ( $\text{HCN}$ ,  $\text{HCl}$ ), 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 ( $\text{HCl}$ ), цианид водовода ( $\text{HCN}$ ), диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), оксид углерода ( $\text{CO}$ ), сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

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

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;  $C/\rho$  – то же для углерода / всей мас-

сы вещества, здесь  $\rho$  - плотность вещества;  $\text{CO}/\text{CO}_2$  – то же для оксида / диоксида углерода;  $\text{HCl}/\text{C}$  – массовые отношения в горючем веществе – хлороводород / углерод;  $\text{HCN}/\text{C}$  то же для цианида водорода / углерода;  $\text{H}/\text{C}$  – 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  $\text{CO}/\text{CO}_2$  как  $S/C(t)$  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 выделение газообразного хлороводорода и частиц дыма определяются уравнениями

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

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

$$v_f + v_0 = v_{\text{CO}_2} + v_{\text{CO}} + v_s + v_{\text{HCl}} + v_{\text{HCN}} + v_{\text{H}_2\text{O}}. \quad (3)$$

Отсюда получаем для скорости выделения диоксида углерода

$$v_{\text{CO}_2} = v_f (1 + H_c / 1.32 \cdot 10^7 - \varphi_S - \varphi_{\text{HCl}} - \varphi_{\text{HCN}} - \varphi_{\text{H}_2\text{O}}) / (1 + \text{CO}/\text{CO}_2), \quad (4)$$

где  $\varphi_S$ ,  $\varphi_{\text{HCl}}$ ,  $\varphi_{\text{HCN}}$ ,  $\varphi_{\text{H}_2\text{O}}$  – значение массы соответствующего вещества, которая выделяется при сгорании единицы массы горючего вещества.

Для оксида углерода соответственно:

$$v_{\text{CO}} = v_{\text{CO}_2} (\text{CO}/\text{CO}_2). \quad (5)$$

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 –  $v_{\text{fl}}$  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)

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

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  $t^3$ .

Предложенный способ может быть легко распространен на образец произвольной формы, если задана скорость распространения пламени по его поверхности.

**Выводы.** 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 действий при ликвидации пожаров, а также для разработки оперативных документов на объекты.

## 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. – 253p.
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.
4. Єлізаров О.В. Оперативне визначення основних характеристик утворення і розповсюдження диму при пожежі у приміщенні [Текст]: автореф.... канд. техн. наук: 21.06.02 / Олександр Вікторович Єлізаров; – Х., 2001. – 17с.

О.В. Єлізаров

**Спосіб обліку хімічного складу горючої речовини при розрахунку розповсюдження продуктів горіння при пожежі у приміщенні**

У статті розглянуто хімічний баланс процесу пожежі в замкнутому об'ємі і запропоновано спосіб урахування хімічного складу горючої речовини.

**Ключові слова:** хімічний баланс, "холодна" і "гаряча" зона, швидкість вигорання, продукти горіння, питома теплота згорання.

A.V. Elizarov

**The method of accounting of the chemical composition of combustible material in the calculation of the spread of combustion products in a fire at the premises**

The article examines the chemical balance of the process of a fire in a confined space and the method of accounting of the chemical composition of combustible material.

**Keywords:** chemical balance, "cold" and "hot" zone, the speed of burnout, the products of combustion, specific heat of combustion.