

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ БЛОКИРОВАНИЯ ВЫХОДОВ В ИМИТАЦИОННОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЁТА ВЕРОЯТНОСТИ ЭВАКУАЦИИ**

*Показано использование в разработанной авторами имитационной модели потери видимости в зданиях с многосветными пространствами при пожарах как критерия для блокирования эвакуационных путей.*

*Ключевые слова: критическое значение, опасные факторы пожара, концентрация, потеря видимости.*

*I.V. Kosterin, V.I. Prasadkov, O.I. Orlov*

## **USE THE CRITERIA FOR BLOCKING EMERGENCY EXITS IN THE SIMULATION STOCHASTIC MODEL FOR CALCULATING THE PROBABILITIES OF EVACUATION**

*Using a simulation model of vision loss, developed by the authors, in buildings with numerous spaces during fire as a condition for blocking emergency exits are showed.*

*Key words: critical, fire hazards, concentration, lack of visibility.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 28 апреля 2014 г.

Как известно, при расчёте времени блокирования путей эвакуации за расчётное время выбирается наименьшее время достижения одним из **опасных факторов пожара (ОФП)** критического значения при рассмотренных сценариях пожара [1]:

- по повышенной температуре – 70 °С;
- по тепловому потоку – 1400 Вт/м<sup>2</sup>;
- по потере видимости – 20 м;
- по пониженному содержанию кислорода – 0,226 кг/м<sup>3</sup>.

Общая энергия теплового излучения определяется законом Стефана-Больцмана:

$$Q_{кр} = \sigma_0 (T_{кр}^4 - T_0^4), \quad (1)$$

где  $Q_{кр}$  – критическое значение плотности теплового потока (1,4 кВт/м<sup>2</sup> согласно [1]);

$\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);

$T_{кр}$  – критическая температура, °К;

$T_0$  – температура "облучаемого" тела, °К.

Из (1) получим:

$$T_{кр} = \sqrt[4]{\frac{Q_{кр}}{\sigma_0}} + T_0. \quad (2)$$

Высота дверных проёмов в помещениях, как правило, не менее 1,7 м, поэтому, принимая за предельную высоту опускания горячего дыма 2 м, мы имеем в виду, что дым не распространяется за пределы помещения.

Покажем, что потеря видимости является одним из определяющих ОФП для зданий с многосветными пространствами.

Определим объём  $V$ , который задымляется до наступления критического значения оптической плотности дыма при сгорании 1 кг горючей нагрузки:

$$V = D/\mu_{кр}, \quad (3)$$

где  $V$  – объём исследуемого помещения,  $м^3$ ;

$D$  – минимальное значение дымообразующей способности горючей нагрузки,  $Нп \cdot м^2/кг$ , определяемое на основе анализа свойств горючей нагрузки исследуемого объекта ( $Нп$  – Непер (доля топлива, которая идёт на образование дымовых частиц));

$\mu_{кр}$  – критическое значение оптической плотности дыма, при которой достигается критическое значение ОФП – потеря видимости, равное 20 м.

Как известно, оптическая плотность дыма связана с расстоянием предельной видимости в дыму соотношением

$$l_{пр} = 2,38/\mu_{кр}, \quad (4)$$

где  $l_{пр} = 20$  м (согласно Методике [1]).

Таким образом,  $\mu_{кр} = 0,119$   $Нп/м$ , соответственно из (3)  $V = 344$   $м^3$ .

Определим, каких значений достигают остальные ОФП, определенные в [1], при заполнении дымом данного объёма, выделяющегося при сгорании 1 кг горючей нагрузки.

1. Концентрация СО:

$$X_{CO} = L_{CO}/V = 0,169/344 = 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ (кг/м}^3\text{)}, \quad (5)$$

где  $L_{CO}$  – выделение СО,  $кг/кг$ .

На основе анализа свойств горючей нагрузки в зданиях максимальное значение  $L_{CO} = 0,169$   $кг/кг$  (вид горючей нагрузки – "издательства, типографии" согласно [2]).

Согласно Методике [1], критическое значение  $X_{CO} = 1,16 \cdot 10^{-3}$   $кг/м^3$ , таким образом, концентрация СО ниже критической в 2,36 раза.

2. Концентрация СО<sub>2</sub>:

$$X_{CO_2} = L_{CO_2}/V = 1,55/344 = 0,004 \text{ (кг/м}^3\text{)}, \quad (6)$$

где  $L_{CO_2}$  – выделение СО<sub>2</sub>,  $кг/кг$ .

На основе анализа свойств горючей нагрузки в зданиях максимальное значение  $L_{CO_2} = 1,55$   $кг/кг$  (вид горючей нагрузки – "мебель: дерево + облицовка (0,9 + 0,1)" согласно [2]).

Согласно Методике [1], критическое значение  $X_{CO_2} = 0,11$   $кг/м^3$ , таким образом, концентрация СО<sub>2</sub> ниже критической в 27,5 раз.

3. Концентрация О<sub>2</sub>.

Масса кислорода  $m_{O_2}$  в помещении в начальный момент времени:

$$m_{O_2} = 0,23 \cdot \rho_в \cdot V, \quad (7)$$

где  $\rho_в = 1,293$   $кг/м^3$  – плотность воздуха при температуре  $T_0$ .

Масса кислорода  $m'_{O_2}$  в помещении после сжигания 1 кг горючей нагрузки:

$$m'_{O_2} = 0,23 \cdot \rho_v \cdot V - L_{O_2}, \quad (8)$$

где  $L_{O_2}$  – потребление кислорода, кг/кг.

На основе анализа свойств горючей нагрузки максимальное значение  $L_{O_2} = -3,698$  кг/кг (вид горючей нагрузки – "верхняя одежда: ворс. ткани (шерсть + нейлон)" согласно [2]).

Таким образом, концентрация кислорода  $X_{O_2}$  определяется как

$$X_{O_2} = m'_{O_2}/V = 0,23 \cdot \rho_v - L_{O_2}/V; \quad (9)$$

$$X_{O_2} = 0,23 \cdot 1,2 - 3,698/344 = 0,265 \text{ кг/м}^3, \quad (10)$$

Согласно Методике [1], критическое значение  $X_{O_2} = 0,226$  кг/м<sup>3</sup>, таким образом, концентрация O<sub>2</sub> выше критической в 1,17 раз.

#### 4. Температура.

Энтальпия продуктов горения в задымленной зоне, кДж:

$$Q_3 = c_p \cdot V \cdot \rho_v \cdot T_0 + 0,7Q_H^p, \quad (11)$$

где  $0,7Q_H^p$  – количество теплоты, образовавшееся в результате сжигания горючей нагрузки, кДж;

$T_0 = 293$  °K – начальная температура в помещении.

Температура, до которой прогрелся дым при сгорании 1 кг горючей нагрузки, определяется как

$$T = \frac{Q_3}{c_p \cdot V \cdot \rho_v} = \frac{c_p \cdot V \cdot \rho_v \cdot T_0 + 0,7Q_H^p}{c_p \cdot V \cdot \rho_v} = T_0 + \frac{0,7Q_H^p}{c_p \cdot V \cdot \rho_v}. \quad (12)$$

Подставив исходные данные, получим:

$$T = 293 + \frac{0,7 \cdot 23540}{1 \cdot 344 \cdot 1,293} = 352,9 \text{ (K)}, t = 59,9 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (13)$$

Согласно [1], критическое значение  $t_{кр} = 70$  °C, то есть температура дыма в помещении ниже критической в 1,16 раз.

Таким образом, определяющим фактором блокирования эвакуационных путей, является потеря видимости, так как критическое значение оптической плотности дыма достигается раньше, чем критические значения других ОФП, определенных Методикой [1].

В свою очередь, время блокирования путей эвакуации предлагается определять из условий:

$$\left. \begin{array}{l} y_i \leq y_{кр} \\ \text{и} \\ \mu \geq \mu_{кр} \end{array} \right\}, \quad (14)$$

где  $y_i$  – высота незадымляемой зоны на  $i$ -м уровне атриума, м;

$y_{кр}$  – критическая высота незадымляемой зоны в атриуме, м;

$\mu$  – оптическая плотность дыма при пожаре на высоте  $y$ , Hn/м.

$\mu_{кр}$  – критическая оптическая плотность дыма при пожаре на высоте  $y$ , Hn/м.

При этом  $y_{кр} = 1,7 \text{ м}$  (Методика [1], ГОСТ 12.1.004-91 [3]) или  $y_{кр} = 2 \text{ м}$  (NFPA 92B, New Zealand Building Code Handbook and Approved Documents и др.);  $\mu_{кр} = 0,119 \text{ Нп/м}$  (Методика, ГОСТ 12.1.004-91 [3]).

Именно фактор потери видимости рассматривался в имитаторе как условие блокирования эвакуационных выходов.

### **Литература**

1. **Приказ** МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 "Методика определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности".

2. **Кошмаров Ю.А.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

3. **ГОСТ** 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.