

А.И. Федоров, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ,
О.Е. Безуглов, нач. каф., НУГЗУ

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОМЕЩЕНИИ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА

На основе математической модели пожара в помещении интегрального типа построена оценка максимальной среднеобъемной температуры в помещении. Полученная оценка может быть использована для оперативной оценки опасности пожара в помещении.

Ключевые слова: пожар в помещении, начальная стадия пожара, среднеобъемная температура

Постановка проблемы. Пожары в производственных помещениях являются одними из опаснейших видов чрезвычайных ситуаций техногенного характера и представляют серьезную угрозу как материальным ценностям, так жизни и здоровью людей. Выработка правил пожарной безопасности в помещениях, где в обращении находятся горючие или легковоспламеняющиеся жидкости, невозможна без оценки последствий их возможного разлива и воспламенения.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [2, 3] построена математическая модель среднеобъемной температуры в помещении на начальной стадии пожара, представляющая собой нелинейное дифференциальное уравнение, решение которого может быть получено только численными методами. Это затрудняет оперативное получение оценки последствий пожара пролива горючей или легковоспламеняющейся жидкости в помещении.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является построение оценки максимально достижимой среднеобъемной температуры в помещении на начальной стадии пожара при условии постоянного тепловыделения пожара.

Рассмотрим баланс тепла в помещении. Полный тепловой поток от пожара $Q_{\text{пож}}$ определяется выражением

$$Q_{\text{пож}} = q_y S \eta, \quad (1)$$

где q_y – удельное тепловыделение пожара, Дж/м² с; η – усредненный коэффициент химического недожога (коэффициент полноты сгорания) [1]; S – площадь очага горения. Часть выделившегося

тепла Q_w поглощается ограждающими конструкциями, а оставшаяся часть идет на нагрев воздуха в помещении. Эмпирические формулы, полученные на основе исследования пожаров горючих жидкостей (дизельное топливо, бензин, спирты), древесины и органического стекла в помещениях объемом $2,5 \div 6000 \text{ м}^3$ с ограждающими конструкциями из кирпича и бетона, описывающие тепловой поток в ограждения, имеют вид [3]:

$$Q_w = \alpha_1 F [a(T - T_0) - b_1(T - T_0)^2]^{4/3}, \quad T_0 < T < 333 \text{ К}, \quad (2)$$

$$Q_w = \alpha_2 F [a(T - T_0) - b_1(T - T_0)^2] e^{n(T - T_0)}, \quad T \geq 333 \text{ К}, \quad (3)$$

где $a = 0,8 \text{ К}^{-1}$, $\alpha_1 = 4,07 \text{ Вт/м}^2$, $\alpha_2 = 11,6 \text{ Вт/м}^2$, $b_1 = 0,00065 \text{ К}^{-2}$, $n = 0,0023 \text{ К}^{-1}$ – константы; F – общая площадь ограждающих конструкций (стен, пола, потолка); T – температура воздуха в помещении; T_0 – температура в помещении до начала пожара.

Анализ соотношений (2)-(3) показывает, что в области применимости формулы (2) (при температурах $20^\circ \text{С} < T < 60^\circ \text{С}$) формулы (2) и (3) практически не отличаются друг от друга – абсолютная погрешность не превосходит $35 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$, что на 2 порядка меньше, чем величина плотности теплового потока при температурах $T \geq 60^\circ \text{С}$. Поэтому, с целью упрощения, в дальнейшем будем использовать соотношение (3) во всем диапазоне температур.

Тепловой поток $Q_b = Q_{\text{пож}} - Q_w$, полученный воздухом, приводит к увеличению его температуры:

$$Q_b = m_b c_p \frac{dT}{dt}, \quad (4)$$

где m_b , c_p – масса и теплоемкость (при постоянном давлении) воздуха. Учитывая негерметичность помещения и то, что изменение температуры газа приводит к изменению его объема по закону $V_1/V_2 = T_1/T_2$, где V_1 – объем газа при температуре T_1 , а V_2 – при температуре T_2 , запишем (4) в виде

$$Q_b = \frac{T_0}{T} m_0 c_p \frac{dT}{dt} = \frac{T_0}{T} \rho_0 V c_p \frac{dT}{dt}, \quad (5)$$

где ρ_0 – плотность воздуха при начальной температуре T_0 ; V – объем помещения. Тогда уравнение теплового баланса для воздуха в помещении примет вид:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta + T_0}{c_p \rho_0 T_0 V} (q_y S \eta - \alpha_2 F [a\theta - b_1 \theta^2] e^{n\theta}), \quad (6)$$

$$\theta(0) = 0. \quad (7)$$

где $\theta = T - T_0$. Полученное уравнение является нелинейным дифференциальным уравнением относительно прироста среднеобъемной температуры в помещении, и возможности его решения определяются особенностями процессов, протекающих в очаге горения.

Анализ уравнения (6) показывает, что в случае постоянного тепловыделения пожара максимально достижимое изменение среднеобъемной температуры $\theta_{\max}$ в помещении будет определяться трансцендентным уравнением:

$$\begin{aligned} q_y S \eta - \alpha_2 F [a\theta_{\max} - b_1 \theta_{\max}^2] e^{n\theta_{\max}} &= 0, \\ \alpha_2 [a\theta_{\max} - b_1 \theta_{\max}^2] e^{n\theta_{\max}} &= q_w, \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$q_w = \frac{q_y S \eta}{F}, \quad (9)$$

т.е. максимально достижимый прирост температуры определяется плотностью теплового потока от очага горения, приходящегося на ограждающие конструкции (рис. 1).

Решение трансцендентного уравнения (8) может быть аппроксимировано полиномом третьей степени:

$$\theta_{\max} = 0,1677 q_w^3 - 5,3098 q_w^2 + 91,226 q_w, \quad (10)$$

где q_w задается в $\text{кВт}/\text{м}^2$. Сравнение (10) с решением уравнения (8) показывает, что погрешность аппроксимации не превосходит 15% в диапазоне приростов температур $\theta \leq 200 \text{ К}$ (тепловой поток $q_w \leq 2,4 \text{ кВт}/\text{м}^2$) и не превосходит 3% для приростов температур $200 \leq \theta \leq 800 \text{ К}$ (тепловой поток $2,4 \leq q_w \leq 16, \text{ кВт}/\text{м}^2$) – рис. 1.



Рис. 1 – Зависимость максимально достижимого прироста среднеобъемной температуры в помещении $\theta_{\max}$ в зависимости от плотности теплового потока на ограждающие конструкции q_w : 1 – решение трансцендентного уравнения (8); 2 – аппроксимация полиномом 3-й степени; 3 – относительная погрешность δ (по правой оси)

Выводы. В предположении о постоянном тепловыделении пожара построена оценка максимально достижимой среднеобъемной температуры в помещении на начальной стадии пожара. Полученная оценка может быть использована для оперативного прогнозирования последствий пожара разлива горючей жидкости в производственном помещении. Перспективы дальнейших исследований связаны с аппроксимацией зависимости среднеобъемной температуры от времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
2. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС, 2000. – 118 с.
3. Кошмаров Ю.А. Процессы нарастания опасных факторов пожара в производственных помещениях и расчет критической продолжительности пожара / Ю.А. Кошмаров, В.В. Рубцов. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – 89 с.
nuczu.edu.ua

О.И. Федоров, О.Е. Безуглов

Оцінка максимальної температури у приміщенні на початковій стадії пожежі.

На основі математичної моделі пожежі в приміщенні інтегрального типу побудовано оцінку максимальної середньооб'ємної температури в приміщенні. Одержана оцінка може бути використана для оперативної оцінки небезпеки пожежі в приміщенні.

Ключові слова: пожежа в приміщенні, початкова стадія пожежі, середньооб'ємна температура.

A.I. Fedorov, O.E. Bezuglov

Evaluation of the maximum temperature at the early stages of fire.

Based on mathematical models of fire at the integral type estimates average-volume maximum temperature in the room. The estimations can be used for operational fire risk assessment in the room.

Keywords: fire in the room, the initial stage of fire, average-volume temperature.