

М.Ю. Овсянников, Е.Г. Родионов

ЧАСТНОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРИ ЛИНЕЙНОМ РАЗВИТИИ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

Анализ нормативных документов [1-3] показывает, что они не содержат требований безопасной эвакуации людей из помещения очага пожара при обеспечении незадымления смежных с ним помещений (защиты дверей эвакуационных выходов). Они не констатируют требований к критической продолжительности пожара (промежутку времени от начала возникновения горения до достижения величины хотя бы одним из опасных факторов пожара его критического для человека значения).

Авторами на основе исследований уравнений развития пожара получено частное решение уравнения материального баланса, позволившее аналитически описать динамику температурного режима в помещении очага пожара и предложить аналитическую зависимость для критической продолжительности пожара в этом помещении.

На основе интегральной математической модели развития пожара при решении вопросов противодымной защиты помещений, смежных с помещением очага пожара, получен ряд аналитических решений [4, 5].

Здесь, как и в работах [4, 5], исследован процесс развития пожара в двух смежных помещениях. Помещения, имеют один общий проём и проем, связанный с атмосферой. Развитие пожара происходит в помещении, не связанном с атмосферой, и в нем устроена система вытяжной вентиляции. Параметрам, описывающим развитие пожара, присвоен индекс 1 - для первого помещения, не связанного с атмосферой, и 2 - для второго ($i = 1, 2$).

Пожар в двух помещениях описан на уровне усредненных термодинамических параметров системой обыкновенных дифференциальных уравнений, при этом принято, что изменением давления в помещениях можно пренебречь, т.е. $\rho_{m1} T_{m1} = \rho_a T_a$, параметры газовой среды второго помещения (смежного) аналогичны параметрам атмосферы. Тепловой поток в ограждения равен своему среднему значению на рассматриваемом интервале времени $Q_{w1} = const$, процесс распространения пожара по поверхности твердого горючего материала (ТГМ) является линейным, следовательно, массовая скорость выгорания может быть выражена зависимостью

$$\psi_1 = \psi_0 b_{\Gamma} v_{\Gamma} \tau, \quad (1)$$

где ψ_0 - удельная массовая скорость выгорания, $кг/(м^2 \cdot с)$;

v_{Γ} - линейная скорость распространения пламени по поверхности ТГМ, $м/с$;

b_{Γ} - ширина фронта пламени, $м$;

τ - время распространения пожара.

Уравнение материального баланса относительно ρ_{m1} в общем случае с учётом $G_B = W\rho_{m1}$ и выражением G_2 из уравнения энергии запишется в виде

$$V_1 \frac{d\rho_{m1}}{d\tau} = \frac{m_3 C_{pm1} W \rho_a}{C_{pB}} + \frac{Q_{w1} - \psi_1(\tau) \cdot (\eta_1 Q_H^p + q_{n1})}{C_{pB} T_a} + \psi_1(\tau) - W \rho_{m1}, \quad (2)$$

где V_1 - объём помещения, m^3 ;

ρ_{m1} - среднеобъёмная плотность среды в первом помещении, $кг/м^3$;

$W = const$ - объёмный расход удаляемых газов, $м^3/с$;

Q_{w1} - тепло, поглощаемое за единицу времени ограждающими конструкциями первого помещения, $Вт$;

Q_H^p - теплота сгорания горючего материала, $Дж/кг м^2$;

C_{pB} - теплоемкость воздуха (атмосферы) при постоянном давлении, $Дж/кг К$;

C_{pm1} средняя теплоемкость газов в первом помещении при постоянном давлении, $Дж/кг К$;

η_1 - коэффициент полноты сгорания единицы массы материала;

ρ_a - плотность атмосферы, $кг/м^3$;

T_a - температура атмосферы, $К$;

m_3 - коэффициент, учитывающий неоднородность температурного поля газов в помещении;

τ - время, $с$.

При *линейном* распространении пожара, скорости выгорания, определяемой по (1), с учётом начальных условий частное решение уравнений (2) найдётся в виде

$$\rho_{m1} = \rho_{m1.0} + (\rho_a - \rho_{m1.0}) \exp(-C\tau) + \frac{M_{\rho_{m1}} b_{\Gamma} \nu}{C} \left[\tau - \frac{(1 - \exp(-C\tau))}{C} \right], \quad (3)$$

где $C = \frac{W}{V_1}$, $b_{\rho_{m1}} = \frac{1}{V_1} (k_1 + k_2)$, $k_1 = \frac{m_3 C_{pm1} W \rho_a}{C_{pB}}$, $k_2 = \frac{Q_{w1}}{C_{pB} T_a}$, $M_{\rho_{m1}} = \psi_0 \frac{1 - k_3}{V_1}$,

$$k_3 = \frac{\eta_1 Q_H^p + q_{n1}}{C_{pB} T_a}.$$

Анализ величин, входящих в уравнение динамики опасного фактора пожара (температуры - $\rho_{m1} T_{m1} = \rho_a T_a$) показал, что на результат решения существенное влияние оказывает величина коэффициента $C = W/V_1$. Она

может изменяться в широких пределах при "неизменных" значениях других данных.

При исследовании функциональных зависимостей динамики развития пожара установлено, что при расчёте функции $\exp(-C\tau)$ целесообразно сделать следующие допущения:

- $\exp(-C\tau) = 0$ при $0,01 \leq C \leq 1$;
- $\exp(-C\tau) = 1 - C\tau$ (первые члены разложения в ряд Тейлора функции $\exp(-C\tau)$ при $0,0001 < C < 0,01$;
- $\exp(-C\tau) = 1$ при $C \leq 0,0001$.

Критическая продолжительность пожара по достижении значения критической температуры в помещении может быть представлена в виде

- при условии $0,01 \leq C \leq 1$

$$\tau^T = \frac{1}{C} + \frac{(\rho_{kp} - \rho_{m1}) \cdot C}{M_{\rho_{m1}} b_{\Gamma} v}, \quad (4)$$

- при $0,0001 < C < 0,01$

$$\tau^T = \frac{\rho_a - \rho_{kp}}{C \cdot (\rho_a - \rho_{m1})}, \quad (5)$$

- при $C \leq 0,0001$

$$\tau^T = C \frac{\rho_{kp} - \rho_a}{M_{\rho_{m1}} b_{\Gamma} v}. \quad (6)$$

Предложенным методом можно прогнозировать возникновение опасных факторов пожара в помещении без решения системы дифференциальных уравнений.

Литература

1. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой России. – М.: АПП ЦИТП, 1992. – 64 с.
2. Противодымная защита зданий и помещений: Пособие 4.91 к СНиП 2.04.05-91. – М.: Промстройпроект, 1992. – 75 с.
3. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. Овсянников М.Ю. Частное решение уравнения развития пожара в условиях работы механической вентиляции удаления дыма из помещения очага пожара при обеспечении незадымления смежного с ним помещения // Юбилейный сборник научных трудов. Академия ГПС МВД России, Ивановский филиал, Ивановский Государственный университет. – Иваново: Изд-во Ивановский Государственный университет, 2001. – С. 23-26.
5. Овсянников М.Ю. Развитие пожара в двух смежных помещениях в условиях работы механической системы дымоудаления. Частные решения // Пожарная безопасность. – 2002. – № 5. – С.37-42.