

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА ДЫМОВЫМИ ТОЧЕЧНЫМИ ИЗВЕЩАТЕЛЯМИ

Получено математическое выражение для времени обнаружения пожара дымовыми точечными извещателями. Проведён количественный анализ для разных условий возникновения и протекания пожара.

Ключевые слова: обнаружение пожара, дымовые извещатели.

V.Yu. Fedorov, T.A. Butcinskaya **A MATHEMATICAL MODEL OF FIRE DETECTION BY POINT SMOKE DETECTORS**

The mathematical expression for the time detection of fire smoke point detectors are received. A quantitative analysis for different conditions of nascency and occurrence fire are held.

Key words: fire detection, smoke detectors.

К настоящему времени разработано несколько математических динамических моделей процесса обнаружения пожара дымовыми точечными пожарными извещателями (ДТПИ).

В работе [1] нестационарный процесс развития пожара рассматривается как совокупность квазистационарных установившихся процессов. Физическая модель обнаружения пожара ДТПИ представлена следующим образом. В помещении высотой H на потолке расположены ДТПИ, защищаемая площадь каждого из которых равна.

$$F_3 = \pi R^2, \quad (1)$$

где R – радиус зоны обнаружения ДТПИ.

В помещении начинается пожар, при этом сгорает некоторое количество материала ΔP_m . Часть сгоревшего материала в виде частиц дыма образует задымленную среду. Неравномерность заполнения дымом помещения по его высоте учитывается коэффициентом φ .

Для условий развития кругового очага пожара увеличение концентрации дыма под потолком будет характеризоваться выражением:

$$C = \frac{\pi K_D \varphi V_M V_L^2 \tau^3}{3 F_3 H}. \quad (2)$$

В момент достижения концентрации дыма C ($\text{кг}/\text{м}^3$), равной пороговой $C = C_{\text{п}}$, в точке установки дымового извещателя, с координатами H , R , он срабатывает. Поэтому время обнаружения $\tau_{\text{обн}}$ можно определить из (1), (2) с помощью выражения:

$$\tau_{\text{обн}} = \sqrt[3]{\frac{C_{\text{п}} \cdot H \cdot R^2}{0,33 \cdot V_M \cdot V_L^2 \cdot \varphi \cdot K_D}} + \tau_{\text{и}}, \quad (3)$$

где $\tau_{\text{и}}$ – инерционность ДТПИ.

Недостатком данного подхода является отсутствие учета начального этапа возникновения пожара и связанных с этим временных задержек на развитие пожара до обнаруживаемых размеров, а также распространение обнаруживаемого фактора (дыма) до потолка помещения.

Коллективом ученых под руководством профессора Ф.И. Шаровара разработана теория развития пожара на основе математического моделирования процессов пространственно-временных распределений избыточной температуры и объемной концентрации дыма под потолком помещения [2, 3].

Задачей моделирования являлось определение характеристик стационарного неравномерного поля концентрации дыма, создаваемого очагом пожара, который имеет постоянную тепловую мощность Q и постоянную дымопроизводительность G , характеризуемую массой частиц дыма, генерируемых очагом в единицу времени [2]. Принималось, что тепловыделение, сопутствующее горению, образует конвективную струю, переносящую частицы дыма к потолку помещения. Поток, поднимающийся над очагом пожара, достигая потолка, растекается вдоль него, превращаясь в осесимметричную веерную полуограниченную струю.

На основе известных теоретических и экспериментальных закономерностей полей скоростей потока в полуограниченных струях, авторами получены следующие выражения для распределения скоростей фронта потока с концентрацией дыма, равной порогу обнаружения по вертикальной оси (высоте z) и горизонтальной оси (радиусу r) [3]:

$$U_{\phi}(z) = 1,56 A^{1/3} Q^{1/3} z^{-1/3}; \quad (4)$$

$$U_{\phi}(r) = 0,418 A^{1/3} Q^{1/3} H^{-1/3} (r/H)^{-5/6}, \quad (5)$$

где A – постоянный коэффициент, учитывающий теплофизические характеристики окружающего воздуха вне струйного течения и размерность определяемого параметра [3, 4];

Q – тепловая мощность очага пожара.

Данные выражения удовлетворительно согласуются с результатами экспериментальных исследований, представленных в работах [5, 6].

Интегрируя выражения (4) и (5) по z и r соответственно, получим приближенное время движения фронта струи от очага пожара к месту размещения ДТПИ у потолка на высоте H в точке R :

$$t_{\phi}(R) \cong \int_0^H \frac{dz}{U_{\phi}(z)} + \int_0^R \frac{dr}{U_{\phi}(r)} = a_1 \frac{0,48 H^{4/3}}{A^{1/3} Q^{1/3}} + a_2 \frac{1,3 H^{-1/2} R^{11/6}}{A^{1/3} Q^{1/3}}, \quad (6)$$

где a_1, a_2 – коэффициенты размерности.

Для определения фактического времени обнаружения пожара $\tau_{\text{обн}}$ ДТПИ необходимо дополнительно учесть инерционность извещателя $\tau_{\text{и}}$, а также время развития очага пожара до обнаруживаемых ДТПИ значений генерируемых концентраций частиц дыма.

Инерционность извещателя $\tau_{\text{и}}$ определяется конструкцией и электрической схемой построения ДТПИ.

Время развития пожара зависит от условий возникновения и протекания пожара. Если считать, что горение начинается из "точки", а затем площадь очага пожара возрастает с одинаковой скоростью $V_{\text{л}}$ (по кругу), изменение во времени t количества горящего вещества, перешедшего в дым ($P_{\text{д}}$), будет:

$$\frac{dP_{\text{д}}}{dt} = G_0 \pi V_{\text{л}}^2 t^2, \quad (7)$$

где G_0 – удельная дымопроизводительность горящего вещества.

Интегрируя выражение (7) по t от 0 до $t_{\text{р}}$ – времени достижения обнаруживаемой ДТПИ концентрации дыма, соответствующей $P_{\text{дк}}$, и раскрывая его относительно $t_{\text{р}}$, получим выражение для времени развития пожара:

$$t_{\text{р}} \cong \left(\frac{P_{\text{дк}}}{G_0 V_{\text{л}}^2} \right)^{1/3}. \quad (8)$$

Таким образом, время обнаружения ДТПИ очага пожара будет:

$$\tau_{\text{обн}} \cong \left(\frac{P_{\text{дк}}}{G_0 V_{\text{л}}^2} \right)^{1/3} + a_1 \frac{0,48 H^{4/3}}{(AQ)^{1/3}} + a_2 \frac{1,3 H^{-1/2} R^{11/6}}{(AQ)^{1/3}} + \tau_{\text{и}}. \quad (9)$$

Оценим количественные значения составляющих времени $\tau_{\text{обн}}$ обнаружения пожара ДТПИ.

Инерционность извещателя $\tau_{\text{и}}$ указывается в технической документации на ДТПИ и, как правило, составляет не более 10 с.

Длительность остальных этапов обнаружения существенно зависит от условий термического разложения, характеристик горящего материала и параметров размещения ДТПИ.

На рис. 1 представлены характерные зависимости изменения оптической плотности воздушной среды m (дБ/м) от времени под потолком помещения высотой 4 м при испытаниях пожарных извещателей по методике международного стандарта [7, 8]. По этой методике ДТПИ устанавливается на потолке на расстоянии 3 м по горизонтали от очага пожара. На рис. 1 представлены зависимости $m(t)$ для четырех тестовых пожаров: TF2-TF5. При этом:

TF2 представляет собой тление брусков древесины, которые установлены на плиту, нагретую до температуры 600 °С;

TF3 представляет собой тление хлопка, начинающееся с одновременного поджога всех 90 отрезков хлопковых фитилей;

TF4 – это горение синтетического материала (нескольких листов чистого пенополиуретана размером 50×50×2 см);

TF5 - горение легковоспламеняющейся жидкости (смеси *n*-гептана с толуолом).

Из графиков рис. 1 видно, что минимальное время начала увеличения оптической плотности до достижения порога срабатывания ДТПИ (условно обозначен пунктирной линией) имеют тестовые пожары TF3-TF4, поскольку для них по условиям испытаний практически отсутствует начальный этап развития пожара.

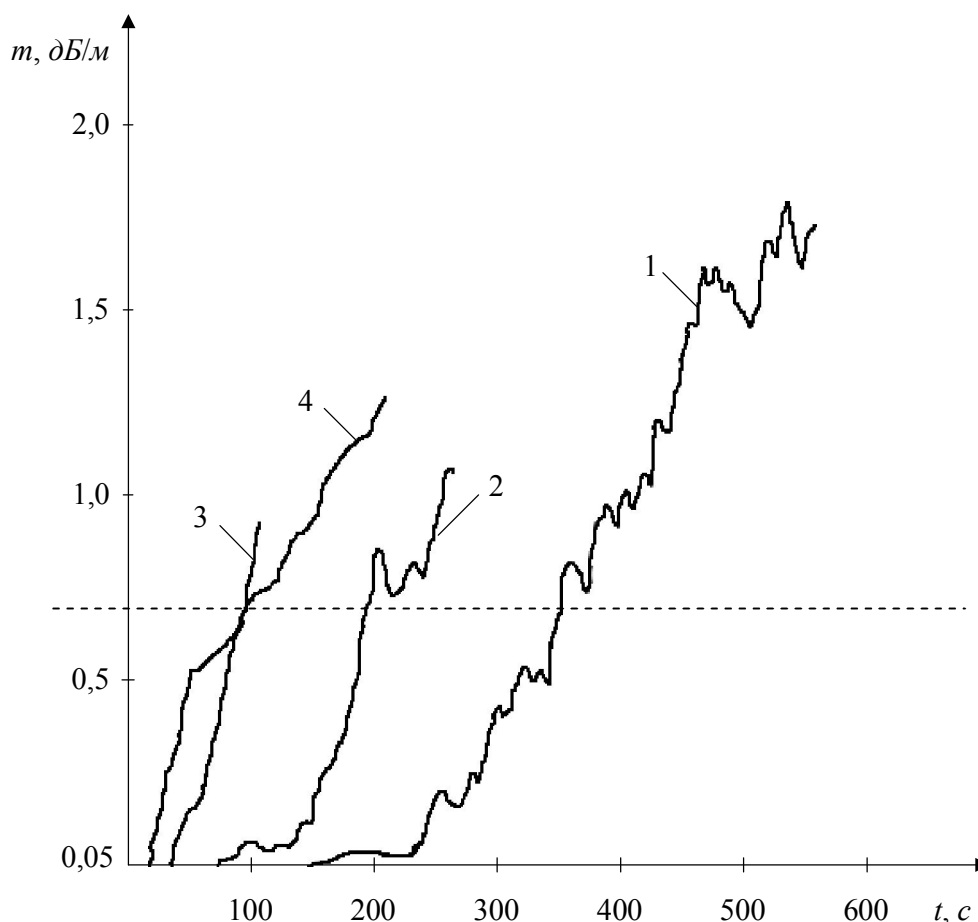


Рис. 1. Зависимости изменений оптической плотности воздушной среды от времени для тестовых очагов пожара TF2-TF5:
1 - TF2; 2 – TF3; 3 - TF4; 4 - TF5

Для тестового пожара TF2 начальный этап развития пожара составляет более 200 с.

По приведенным графикам время вертикального подъема частиц дыма с тепловыми потоками воздуха на высоту 4 м и достижения ими ДТПИ можно оценить в 10-15 с. Учитывая зависимость $\tau_{\text{и}}(H)$ в формуле (9) при увеличении высоты помещения до максимально допустимого (12 м) [9], это время может увеличиться до 30-50 с.

Время нарастания концентрации дыма до порогового значения в месте установки ДТПИ для разных тестовых пожаров по графикам рис. 1 занимает от 150 до 300 с, то есть составляет наибольшую часть времени обнаружения. Зависимость этого этапа от радиуса R существенна (пропорциональна $R^{11/6}$).

Общее время обнаружения в соответствии с рис. 1 может составить от 120 до 600 с.

Из проведенного анализа следует, что для высоты помещения 4 м уменьшение R до 1 м может почти на порядок уменьшить длительность этого этапа, сократив в 1,5-5 раз общее время обнаружения.

Таким образом, в производственных помещениях со стационарным размещением технологических установок может быть рекомендовано при формировании системы пожарной сигнализации размещать ДТПИ непосредственно над этими установками или в непосредственной близости от них. Данные рекомендации не противоречат обязательным требованиям, приведенным в [9].

Литература

1. **Бабурин В.В.** Разработка рекомендаций по выбору и применению средств пожарной сигнализации в установках противодымной защиты зданий повышенной этажности: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: ВИПТШ МВД России, 1984.
2. **Шаровар Ф.И.** Принципы построения устройств и систем автоматической пожарной сигнализации. М.: Стройиздат, 1983. 335 с.
3. **Кузнецов В.А.** Закономерности распространения дыма в помещении в начальной стадии развития загораний и разработка фотолучевых устройств его обнаружения: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: ВИПТШ МВД России, 1983. 180 с.
4. **Медяник Ю.М.** Разработка методов и устройств оптимального обнаружения тепловых очагов загораний: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: ВИПТШ МВД России, 1984.
5. **Alpert R.L.** Calculation of Response Time of Ceiling mounted Fire Detectors // 76-th Annual meeting. NFPA, 1972.
6. **Экспериментальное** исследование работы дымовых пожарных извещателей в помещениях при горении различных материалов / Андрюшкин Ю.А., Борисов В.С., Роде А.А., Рыжов А.М. // В сб.: Автоматическое тушение пожаров. М.: ВНИИПО МВД России, 1975. С. 72-99.
7. **Баканов В.В.** Взгляд на пожарные дымовые извещатели через призму тестовых пожаров. Часть 1 // Системы безопасности, январь-февраль 2010, № 1 (91). М.: Гротек, 2010. С. 94-96.
8. **Баканов В.В.** Взгляд на пожарные дымовые извещатели через призму тестовых пожаров. Часть 2 // Системы безопасности, апрель-май 2010, № 2 (92). М.: Гротек, 2010. С. 110-114.
9. **СП-7. 13133.2009.** Системы противопожарной защиты. Часть 2. Оповещение и управление эвакуацией людей при пожарах. Требования пожарной безопасности. М.: ВНИИПО МЧС России, 2009.