

УДК 004.023

**МНОГОФАКТОРНЫЙ МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ПОЖАРА  
В ЗДАНИЯХ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**MULTI-FACTOR FIRE DYNAMICS MONITORING  
IN TEXTILE INDUSTRY BUILDINGS**

*Б.Б. ГРИНЧЕНКО, А.В. КУЗНЕЦОВ, М.О. БАКАНОВ, Д.В. ТАРАКАНОВ*  
*B.B. GRINCHENKO, A.V. KUZNETSOV, M.O. BAKANOV, D.V. TARAKANOV*

**(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)**

**(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia)**

E-mail: mask-13@mail.ru, den-pgsm@mail.ru

*В статье рассмотрены особенности функционирования систем мониторинга динамики пожара в зданиях текстильной промышленности. Описаны уровни противопожарной защиты в зданиях и особенности функционирования систем пожарной автоматики, автоматических установок пожаротушения и оперативных пожарно-спасательных подразделений. Установлена линейная зависимость между факторами пожара, по которым реализуется*

*его мониторинг в помещениях зданий при использовании точечных пожарных извещателей с максимально-дифференциальной характеристикой.*

*The article discusses the features of the functioning of fire dynamics monitoring systems in buildings of the textile industry. Describes the levels of fire protection in buildings and the features of the functioning of fire automatics systems, automatic fire extinguishing installations and operational fire rescue units. A linear relationship has been established between the factors of fire, according to which it is monitored in the premises of buildings when using point fire detectors with a maximum differential characteristic.*

**Ключевые слова:** мониторинг динамики пожара, модель экспоненциального роста с насыщением, факторы пожара, корреляционная зависимость "Температура – Видимость".

**Keywords:** fire dynamics monitoring, saturation exponential growth model, fire factors, "Temperature – Visibility" correlation dependence.

Пожары в промышленных зданиях, в том числе зданиях текстильных производств, наносят колоссальный ущерб экономике страны. В результате пожаров на производственных объектах возникают прямые и косвенные потери [5]. В случае пожаров на производственных объектах косвенные потери (в том числе материальные ценности – продукция и потенциальная прибыль) по экономическим показателям превышают прямые. Данный факт определяет особую важность при разработке мероприятий по профилактике и тушению пожаров на объектах промышленности. Общеизвестно, что крупный пожар в текстильном цехе влечет за собой увеличение косвенных потерь, которые в свою очередь могут повысить себестоимость продукции на рынке и т.п. [6].

Здания объектов промышленности оборудуются системами мониторинга пожара, к которым также относятся системы и подсистемы охранно-пожарной автоматики. С точки зрения тушения пожаров перед системой мониторинга имеются две задачи: 1 – обнаружение пожара за необходимое время; 2 – мониторинг динамики параметров пожара во времени. При решении первой задачи обеспечивается своевременная активизация системы противопожарной защиты, а результаты в ходе решения второй задачи обуславливают ее эффективную работу. В связи с этим современные системы противопожарной защиты зданий текстиль-

ных производств являются технически сложными и направлены на реализацию многоуровневой процедуры борьбы с пожаром в здании.

При тушении пожаров в производственных зданиях, в том числе и зданиях текстильных производств, рассматривают три уровня противопожарной защиты [7]. На первом уровне используются огнетушащие вещества первичных средств пожаротушения; на втором уровне используются огнетушащие вещества, подаваемые с помощью систем автоматического пожаротушения. На последнем, третьем, уровне в случае, когда мероприятия предшествующих уровней оказались неэффективными, предусматривается подача привозных огнетушащих веществ с использованием пожарных подразделений (далее – ГДЗС) [7].

Для эффективного управления системой противопожарной защиты необходима многофакторная информация о динамике пожара. В общем случае в качестве анализируемых факторов используют: 1 – видимость в дыму и 2 – температуру газовой среды (далее – температуру дыма). В случае информационного обеспечения первого и второго уровней системы противопожарной защиты видимость в дыму, как правило, используется для решения первой задачи мониторинга, а температура дыма – для второй. Так, например, в модульных установках пожаротушения по дыму опреде-

ляют наличие пожара в помещении, а по динамике температурных полей – количество инициируемых средств пожаротушения. На третьем уровне противопожарной защиты температура дыма является фактором пожара, ограничивающим возможности применения пожарных дыхательных аппаратов, имеющих ограничения по температурным условиям эксплуатации [3]. В свою очередь, условия видимости в дыму существенно влияют на скорость движения пожарных внутри здания и поэтому являются фактором, обеспечивающим кратчайшие сроки решения задач пожаротушения.

На практике системы мониторинга пожара способны контролировать только один ведущий параметр пожара (то есть являются однофакторными системами), выбор которого зависит от специфики решения первой задачи мониторинга [9]. Выбор ведущего фактора пожара зависит от вида горючей нагрузки в помещении здания. В помещениях текстильных производств в качестве горючей нагрузки могут рассматриваться такие материалы, как вешала текстильных изделий, лен, шерсть, дерево (тара), поэтому в качестве ведущего фактора пожара могут выступать повышенная температура газовой среды, пониженная оптическая проницаемость дыма (далее – видимость в дыму). Вместе с тем, на рынке услуг в области систем противопожарной защиты существуют многофакторные [4] системы мониторинга динамики пожара, однако их высокая стоимость проектирования, монтажа, эксплуатации и утилизации не позволяют сделать их предпочтительнее классических однофакторных систем.

Одним из возможных тривиальных решений восполнения многофакторной информации от систем мониторинга является объединение однофакторных систем в многофакторную систему. В этом случае требования к количественному составу средств мониторинга по разным факторам может не совпадать, что приведет к их избыточному числу, а также необоснованному повышению стоимости системы мониторинга. В этом случае может произойти снижение надежных показателей многофакторной системы мониторинга. Рациональным решени-

ем данной проблемы с социально-экономической точки зрения является прогнозирование динамики косвенного фактора пожара, оценка которого системой мониторинга не производится по основному фактору, то есть фактору, изменение показателей которого фиксируют средства мониторинга однофакторной системы. Для практической реализации данного решения необходимо установление корреляционной зависимости между контролируемыми системой мониторинга факторами пожара. Для предприятий текстильной промышленности необходимо установить корреляционную зависимость между факторами температуры дыма и видимости в дыму при пожаре.

Рассмотрим следующие методы исследования.

Общее уравнение мониторинга для зоны контроля системы мониторинга представляет собой вид общеизвестной модели экспоненциального роста с насыщением [10]:

$$\Phi = \Phi^* + (\Phi_0 - \Phi^*)f(\tau), \quad (1)$$

где  $\Phi$  – фактор пожара;  $\Phi^*$  и  $\Phi_0$  – пороговое и начальное значения фактора пожара;  $f(\tau)$  – функция, определяющая интенсивность динамики контролируемого системой мониторинга фактора пожара.

Результаты исследований [1] показали, что вид функции  $f(\tau)$  является экспоненциальным, а константы функции для каждой зоны контроля системы мониторинга зависят от двух основных параметров – это размеры зоны контроля и ее расположение относительно очага пожара. Стоит отметить, что при установлении регрессии между факторами пожара по его мониторингу конкретный вид функции  $f(\tau)$  не имеет определяющего значения, поэтому в дальнейших рассуждениях эту составляющую уравнения мониторинга можно не учитывать.

Факторы пожара при мониторинге можно классифицировать по характеру их динамики: положительная динамика фактора и отрицательная динамика. Для первой группы факторов характерно ( $\Phi^* > \Phi_0$ ), для второй группы факторов, наоборот: ( $\Phi_0 > \Phi^*$ ). Это показывает сущность физических про-

цессов, протекающих при пожаре в помещении, и обуславливает необходимость формально представить их зависимость в виде корреляции при сочетании различных параметров, характеризующих физико-химическую картину пожара. Так, например, изменение температуры газовой среды внутри помещения  $T$  обратно пропорционально изменению фактора видимости в задымленной зоне, что может негативно сказаться на работе звеньев ГДЗС при тушении пожаров в помещении [8].

Специфика мониторинга в общей концепции предусматривает деление пространства защищаемого от пожара помещения на зоны контроля. Тогда прогнозирование динамики показателей температуры в газовой среде и видимости в дыму в  $i$ -й зоне контроля системы мониторинга можно описать зависимостями, аналогичными (1):

- температура газовой среды внутри помещения

$$T_i = T^* + (T_0 - T^*)f(\tau), \text{ К}, \quad (2)$$

где  $T$  – температура газовой среды пожара, К;  $T^*$  и  $T_0$  – пороговое и начальное значения температура газовой среды пожара, К;

- видимость в дыму внутри помещения

$$\Omega_i = \Omega^* + (\Omega_0 - \Omega^*)f(\tau), \text{ м}, \quad (3)$$

где  $\Omega$  – видимость в дыму при пожаре, м;  $\Omega^*$  и  $\Omega_0$  – пороговое и начальное значения видимости в дыму при пожаре, м.

Таким образом, главным допущением модели мониторинга пожара является тот факт, что все факторы пожара как с положительной, так и отрицательной динамикой изменяются по одному и тому же закону. Данное допущение неоднократно обосновано в работах, посвященных конструированию многофакторных пожарных извещателей [11]. Используя данное допущение модели для целей установления корреляции "Температура – Видимость", получим общее тождество факторов пожара при его мониторинге в помещении:

$$\frac{(\Omega_i - \Omega^*)}{(\Omega_0 - \Omega^*)} = \frac{(T_i - T^*)}{(T_0 - T^*)} = \frac{(\Phi_i - \Phi^*)}{(\Phi_0 - \Phi^*)}. \quad (4)$$

Тождество (4) будет использовано при установлении корреляции "Температура – Видимость" в дальнейшем, однако, используя данное тождество, можно решать класс задач установления корреляции между другими факторами пожара, для которых справедливо оговоренное выше допущение.

При решении задач повышения эффективности системы противопожарной защиты, для получения многофакторной информации о динамике пожара используют однофакторные средства мониторинга. Требуется установление корреляционной зависимости между анализируемыми факторами. При противопожарной защите производственных помещений текстильной промышленности данными факторами являются: 1 – видимость в дыму и 2 – температура дыма. Следует отметить, что для первого фактора характерна отрицательная динамика, а для второго – положительная: при увеличении температуры дыма происходит снижение видимости в дыму. Используя линейное тождество факторов пожара при мониторинге, получим общий вид уравнения линейной корреляции между анализируемыми факторами:

$$\Omega_i = \Omega^* + \frac{(T_i - T^*)(\Omega_0 - \Omega^*)}{T_0 - T^*}, \text{ м}, \quad (5)$$

$$T^* = \frac{\eta(1-\varphi)Q_{HP}}{C_p}, \text{ К}, \quad (6)$$

$$\Omega^* = \frac{\eta(1-\varphi)Q_{HP} \ln(1,05\alpha E)}{C_p \rho_0 T_0 D}, \text{ м}, \quad (7)$$

где  $Q_{HP}$  – низшая теплота сгорания материала,  $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$ ;  $C_p$  – удельная изобарная теплоемкость дымовой среды,  $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$  ( $C_p = 1 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ );  $\varphi$  – коэффициент тепловых потерь ( $\varphi = 0,95$ );  $\eta$  – коэффициент полноты горения ( $\eta = 0,87$ );  $\alpha$  – коэффициент отражения предметов на путях эвакуации ( $\alpha = 0,3$ );  $E$  – начальная освещенность, лк ( $E = 50 \text{ лк}$ );  $\rho_0$  – начальная плотность дымовой среды,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$  ( $\rho_0 = 1,21 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ );  $T_0$  – начальная температура дымовой среды, К ( $T_0 = 293 \text{ К}$ );  $\Omega_0$  – начальная видимость в помещении, м ( $\Omega_0 = 20 \text{ м}$ ) [2].

В качестве примера приведем оценку факторов мониторинга для производственных помещений зданий текстильной промышленности. Характерная горячая нагрузка в приведенном здании используется в виде сырья, готовой продукции и тары. Справочные данные и расчетные параметры го-

рючей нагрузки при установлении корреляционной зависимости "Температура – Видимость" представлены в табл. 1, а на рис. 1 – номограмма корреляции "Температура – Видимость" для помещений текстильной промышленности.

Т а б л и ц а 1

| Вид горючего материала | Справочные данные               |                                           | Расчетные параметры |                |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|----------------|
|                        | $Q_{нр}$ , кДж·кг <sup>-1</sup> | $D$ , Нп·м <sup>2</sup> ·кг <sup>-1</sup> | $T^*$ , К           | $\Omega^*$ , м |
| Хлопок                 | 16400                           | 0,60                                      | 713,4               | 9,25           |
| Лен                    | 15700                           | 3,37                                      | 683,0               | 1,58           |
| Шерсть                 | 21800                           | 167,00                                    | 948,3               | 0,04           |
| Ковролин               | 15397                           | 150,00                                    | 669,8               | 0,03           |
| Дерево (тара)          | 18800                           | 155,00                                    | 817,8               | 0,04           |

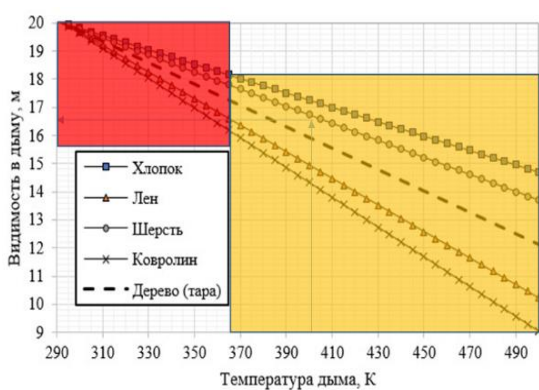


Рис. 1

Анализируя данные, представленные на рис. 1, можно сделать вывод о наличии двух видов горячей нагрузки, а именно: прямые, проходящие выше древесины, а также ниже ее. При этом справедливо называть древесину средним показателем горячей нагрузки. Условия информационного обеспечения при мониторинге пожара в помещении зависят от показателей температуры внутри помещения и характера горячей нагрузки. При решении первой задачи мониторинга (обнаружение пожара) используются значения температуры в диапазоне (293...353К), что обусловлено минимальным расхождением корреляционных зависимостей факторов пожара для разного вида горячей нагрузки. В данном случае при проектировании систем мониторинга для обнаружения пожара в качестве проектной горячей нагрузки используется древесина. Для обеспечения эффективной работы системы проти-

вожарной защиты могут быть использованы и более высокие значения температуры (от 400 до 500 К), тогда для такого вида задач необходимость ориентироваться по кривой древесины может быть менее эффективной, так как расхождения между кривыми более существенны.

## В Ы В О Д Ы

1. В исследовании установлена линейная зависимость между факторами пожара, по которым реализуется его мониторинг в помещениях зданий при использовании точечных пожарных извещателей с максимально-дифференциальной характеристикой. Проанализированы задачи, стоящие перед системой мониторинга пожара, в части обеспечения эффективного функционирования системы противопожарной защиты производственных помещений на всех ее уровнях защиты.

2. Представлена классификация факторов пожара по особенностям динамики их развития. Оговорено главное допущение модели мониторинга, состоящее в том, что все факторы пожара как с положительной, так и отрицательной динамикой изменяются по одному и тому же закону. Данное допущение справедливо для помещений с высотой перекрытий до 9 м и для точечных средств мониторинга.

3. Используя линейное соотношение факторов пожара, получена корреляция "Температура – Видимость" для помещений в зданиях текстильной промышленности, позволяющая получить многофакторную информацию для информационного обеспечения системы противопожарной защиты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баканов М.О., Тараканов Д.В. Дистанционный мониторинг техногенных пожаров и чрезвычайных ситуаций // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 1. С. 173...177.
2. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.
3. ГОСТ Р 53255–2009. Техника пожарная. Аппараты дыхательные со сжатым воздухом с открытым циклом дыхания. Общие технические требования. Методы испытаний.
4. Членов А.Н. и др. Групповой извещатель для тревожной сигнализации // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2011, №1. С. 42...46.
5. Сибирко В.И. и др. Классификация объектов по величине убытков от гибели, травмирования людей и прямого материального ущерба от пожаров // Пожарная безопасность. – 2017, № 2. С. 135...143.
6. Микеев А.К. Пожар. Социальные, экономические, экологические проблемы. – М.: Ассоциация "Пожнаука", 1994.
7. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.
8. Теребнев В.В., Грачев В.А., Семенов А.О. Управление ресурсами пожарно-спасательных подразделений и технологическими операциями по тушению пожаров // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. Т.15. № 5. С. 60...65.
9. Топольский Н.Г., Тараканов Д.В., Михайлов К.А. Теоретические основы поддержки управления пожарными подразделениями на основе мониторинга динамики пожара в здании / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Н.Г. Топольского. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019.
10. Топольский Н.Г., Тараканов Д.В., Баканов М.О. Многокритериальная модель мониторинга пожара в здании для управления пожарно-спасательными подразделениями // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. Т. 27. № 5. С. 26...33.

11. Членов А.Н. Об эффективности функционирования мультикритериального пожарного извещателя // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. Т.25. №12. С. 55...60.

#### REFERENCES

1. Bakanov M.O., Tarakanov D.V. Distantionnyy monitoring tekhnogennykh pozharov i chrezvychaynykh situatsiy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, № 1. S. 173...177.
2. GOST 12.1.004–91. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya.
3. GOST R 53255–2009. Tekhnika pozharnaya. Apparaty dykhatel'nye so szhatym vozdukhom s otkryтым tsiklom dykhaniya. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy.
4. Chlenov A.N. i dr. Gruppovoy izveshchatel' dlya trevozhnoy signalizatsii // Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya. – 2011, №1. S.42...46.
5. Sibirko V.I. i dr. Klassifikatsiya ob"ektov po velichine ubytkov ot gibeli, travmirovaniya lyudey i pryamogo material'nogo ushcherba ot pozharov // Pozharnaya bezopasnost'. – 2017, № 2. S. 135...143.
6. Mikeev A.K. Pozhar. Sotsial'nye, ekonomicheskie, ekologicheskie problemy. – M.: Assotsiatsiya "Pozhnauka", 1994.
7. SP 4.13130.2013. Sistemy protivopozharnoy zashchity. Ogranichenie rasprostraneniya pozhara na ob"ektakh zashchity. Trebovaniya k ob"emno-planirovochnym i konstruktivnym resheniyam.
8. Terebnev V.V., Grachev V.A., Semenov A.O. Upravlenie resursami pozharno-spatatel'nykh podrazdeleniy i tekhnologicheskimi operatsiyami po tusheniyu pozharov // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2006. T.15. №5. S. 60...65.
9. Topol'skiy N.G., Tarakanov D.V., Mikhaylov K.A. Teoreticheskie osnovy podderzhki upravleniya pozharnymi podrazdeleniyami na osnove monitoringa dinamiki pozhara v zdanii / Pod obshch. red. d-ra tekhn. nauk, prof. N.G. Topol'skogo. – M.: Akademiya GPS MChS Rossii, 2019.
10. Topol'skiy N.G., Tarakanov D.V., Bakanov M.O. Mnogokriterial'naya model' monitoringa pozhara v zdanii dlya upravleniya pozharno-spatatel'nyimi podrazdeleniyami // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2018. T. 27. № 5. S. 26...33.
11. Chlenov A.N. Ob effektivnosti funktsionirovaniya mul'tikriterial'nogo pozharnogo izveshchatelya // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2016. T.25. №12. S.55...60.

Рекомендована Ученым советом. Поступила 25.04.19.