

Р.Г. Мелещенко, к.т.н., доцент, доц. каф., НУГЗУ

МОДЕЛЬ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ УГРОЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА С ПОМОЩЬЮ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ ОБЪЕКТА

(представлено д.т.н. Басмановым А.Е.)

Представлены общая и частная модель выявления угроз чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на объектах, с помощью мониторинга температуры газовой среды тепловыми пожарными извещателями в помещениях.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, пожар, температура газовой среды помещения, показатели качества решений о пожаре, тепловой пожарный извещатель, мониторинг.

Постановка проблемы. Мировая статистика свидетельствует о постоянном росте числа техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с авариями и катастрофами. При этом среди ЧС пожары занимают лидирующие позиции [1, 2]. Ежегодно количество пожаров в Украине составляет около 60 тыс. В среднем ежегодно на пожарах погибает более 4 тыс. людей. Особенно тревожным является тот факт, что наблюдается рост гибели людей. При расчете на 1 млн. населения этот показатель в несколько раз превышает аналогичный показатель в Италии, Германии, Англии и Франции. Анализ статистики ЧС, связанных с пожарами, в Украине позволяет говорить о низкой эффективности функционирования, прежде всего, систем предотвращения пожаров и противопожарной защиты помещений объектов. Угроза возникновения пожаров в помещениях является событием случайным. Параметры, характеризующие развитие пожаров во времени, в общем случае являются случайными нестационарными процессами с различными распределениями. Решения об угрозе возникновения пожара, реализуемые системами противопожарной защиты помещений объектов, при этом также являются случайными. Наиболее универсальным и распространенным параметром пожара является величина среднеобъемной температуры газовой среды в помещениях. Для ее определения обычно используются тепловые пожарные извещатели, входящие в состав различных систем противопожарной защиты объектов. Следует заметить, что для большинства современных комплексных пожарных извещателей температура газовой среды в помещениях остается в составе основных контролируемых параметров пожара. Случайный характер решения об угрозе пожара в помещениях, а также важность и универсальность температурного параметра идентификации пожара в современных условиях порождают проблему выявления угроз возникновения ЧС техногенного характера с помощью мониторинга температуры газовой среды в помещениях объектов.

Анализ последних исследований и публикаций. Первые результаты в области реализации статистического подхода к оценке угрозы возникновения ЧС с помощью систем мониторинга температуры газовой среды в помещениях объектов принадлежат профессору Ф.И. Шаровару [3], который рассматривал выявление угрозы пожара в виде некоторой статистической задачи определения вероятности многоальтернативного обнаружения. Для оценки угрозы пожара с помощью систем одномерного обнаружения рассматривался эвристический критерий, который базировался на использовании априорной вероятности (угрозы) пожара на объекте. В реальных условиях данная вероятность (угроза) не известна и может изменяться во времени в зависимости от текущей ситуации, складывающейся на объекте. На основе предлагаемого критерия рассматривалась математическая модель выявления угрозы ЧС, связанной с пожаром на объекте, с помощью одномерного обнаружения. В силу указанного ограничения применение данного критерия не в полной мере отражает реальные ситуации выявления пожаров и поэтому не позволяет на практике адекватно выявлять угрозы ЧС, связанные с пожарами на объектах, с помощью мониторинга температуры газовой среды в помещениях. С целью адекватного выявления угрозы ЧС, описываемая в [3] модель, нуждается в уточнении с учетом известных результатов классической теории обнаружения [4]. В этой связи конструктивным оказывается статистический подход, развиваемый в последнее время профессором Поспеловым Б.Б., который базируется на распространении результатов классической теории обнаружения на специфические задачи выявления пожаров на объектах [5–7]. Так, например, для выявления пожаров с помощью мониторинга температуры газовой среды в помещениях предлагается использовать аналоги рабочих характеристик и характеристик обнаружения, применяемых в теории обнаружения [4]. Однако модель для выявления угроз ЧС, связанных с пожарами на объектах, с помощью мониторинга температуры газовой среды точечными тепловыми пожарными извещателями, при этом не рассматривается.

Постановка задачи и ее решение. Целью настоящей работы является рассмотрение модели выявления угроз ЧС, связанных с пожарами на объектах, с помощью мониторинга температуры газовой среды тепловыми пожарными извещателями с позиции задачи проверки двух конкурирующих гипотез.

Под угрозой ЧС, связанной с пожаром (загоранием) в помещении, будем понимать ситуацию, сложившуюся на объекте, которая характеризуется вероятностью возникновения пожара, превышающей нормативную величину. В реальных условиях на объекте возмущения и динамика среднеобъемной температуры газовой среды в помещениях носят обычно случайный характер. В этом случае результаты мониторинга температуры газовой среды в помещении с помощью точечного теплового пожарного извещателя можно описать на основе статистических решений о наличии или отсутствии пожара [1]. Указанные решения принимаются при двух взаимно исключающих условиях, характеризующих состояние очага пожара (места первоначального возникновения пожара): «пожар есть» – H_1 и

«пожара нет» – H_0 . Вследствие возмущений температуры газовой среды в помещении решения о пожаре будут приниматься с ошибками, поскольку истинное состояние очага пожара неизвестно. В данном случае на основании мониторинга температуры в помещении можно только выносить предположительные решения (гипотезы) о состоянии очага пожара, а именно: «очаг пожара есть» – H_1^* ; «очага пожара нет» – H_0^* .

В результате обобщенная модель принятия решений при температурном мониторинге, связанном с выявлением угроз ЧС, обусловленных пожаром в помещениях, примет вид, изображенный на рис. 1.

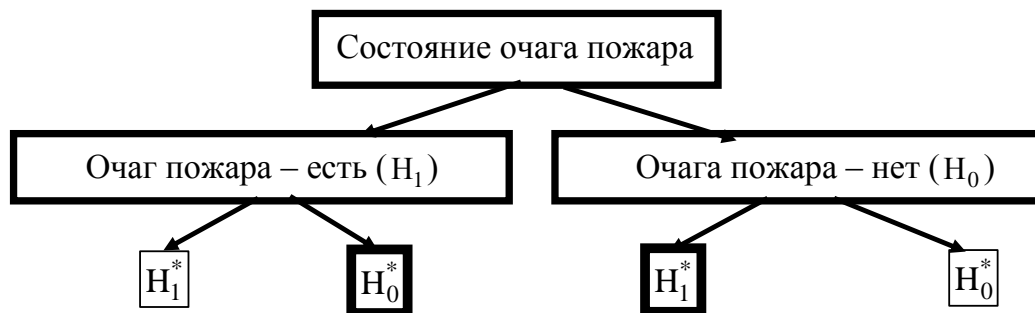


Рис. 1. Модель принятия решений при температурном мониторинге помещений объекта

Из анализа модели на рис. 1 следует, что при выявлении угроз ЧС, связанных с пожаром в помещениях, возможны ошибочные и правильные решения о состоянии очага пожара. Ошибочные решения о состоянии очага пожара возникают в двух случаях – отсутствия и наличия очага пожара в помещении. Они называются соответственно:

- ложное решение о пожаре, когда срабатывает температурный извещатель (принимается решение о наличии очага пожара), в то время как фактически очаг отсутствует.

- пропуск пожара, когда температурный извещатель не срабатывает (принимается решение об отсутствии очага пожара), в то время как в действительности очаг пожара имеется.

- при этом правильные решения о состоянии очага пожара также возникают при наличии и отсутствии очага и соответственно называются:

- правильное решение о пожаре, когда срабатывает температурный извещатель (принимается решение о наличии очага пожара), в то время как в действительности очаг пожара имеется.

- правильное решение об отсутствии пожара, когда не срабатывает температурный извещатель (принимается решение об отсутствии очага пожара), в то время как фактически очаг пожара отсутствует.

Каждый из этих случаев будет описываться безусловной вероятностью, которая в соответствии с теоремой умножения вероятностей может быть представлена в следующем виде:

Безусловная вероятность правильного решения о пожаре

$$P(H_1^*, H_1) = P(H_1)P(H_1^* / H_1). \quad (1)$$

Безусловная вероятность ложного решения о пожаре

$$P(H_1^*, H_0) = P(H_0)P(H_1^*/H_0). \quad (2)$$

Безусловная вероятность правильного решения об отсутствии пожара

$$P(H_0^*, H_0) = P(H_0)P(H_0^*/H_0). \quad (3)$$

Безусловная вероятность пропуска пожара

$$P(H_0^*, H_1) = P(H_1)P(H_0^*/H_1). \quad (4)$$

В выражениях (1) – (4) $P(H_1)$ и $P(H_0)$ – априорные вероятности наличия и отсутствия очага пожара в помещениях объекта, а $P(H_1^*/H_1)$, $P(H_1^*/H_0)$, $P(H_0^*/H_0)$ и $P(H_0^*/H_1)$ – соответствующие условные вероятности, вычисленные в предположении фактического наличия и отсутствия очага пожара. Часто эти вероятности называют апостериорными.

Вычисление безусловных вероятностей можно осуществить, если известны соответствующие априорные и апостериорные вероятности. Априорные вероятности $P(H_1)$ и $P(H_0)$ могут быть определены по известным предварительным данным о пожарной нагрузке и параметрах помещений. Если этого сделать невозможно, то возникает так называемая априорная трудность. В этом случае можно, по-видимому, считать отсутствие и наличие очага пожара в помещениях объекта равновероятным $P(H_1) = P(H_0) = 0,5$. При этом апостериорные вероятности могут быть вычислены для точечных тепловых пожарных извещателей порогового типа, если известны функции плотности распределения вероятностей сигнала x на входе порогового устройства. Пусть $p_1(x)$ и $p_0(x)$ – плотности вероятности выходного сигнала в рассматриваемый фиксированный момент времени, соответствующие наличию и отсутствию пожара в помещении.

Часто в качестве сигнала x рассматривают нормированное значение случайного сигнала U на выходе чувствительного элемента извещателя относительно среднего значения входных возмущений σ , т. е. $x = U/\sigma$. Пусть x_0 есть относительная величина порога срабатывания теплового извещателя, определяемая $x_0 = U_0/\sigma$, где U_0 – абсолютная величина порогового сигнала на выходе чувствительного элемента. С учетом этого апостериорные вероятности могут быть вычислены в соответствии со следующими выражениями.

Вероятность правильного решения о пожаре в помещении D при заданном пороге x_0 будет определяться величиной

$$P(H_1^*/H_1) = D = \int_{x_0}^{+\infty} p_1(x) dx. \quad (5)$$

Вероятность пропуска пожара \bar{D} при пороге x_0 будет определяться величиной

$$P(H_0^* / H_0) = \bar{D} = \int_0^{x_0} p_1(x) dx. \quad (6)$$

Вероятность ложного решения о пожаре F при заданном пороге x_0 будет определяться величиной

$$P(H_1^* / H_0) = F = \int_{x_0}^{+\infty} p_0(x) dx. \quad (7)$$

Вероятность правильного решения об отсутствии пожара \bar{F} при заданном пороге x_0 будет определяться величиной

$$P(H_0^* / H_0) = \bar{F} = \int_0^{x_0} p_0(x) dx. \quad (8)$$

Учитывая, что интеграл от функций плотности вероятности в бесконечных пределах равен единице, будут справедливы очевидные соотношения:

$$D + \bar{D} = 1 \text{ и } F + \bar{F} = 1. \quad (9)$$

Следуя (5) – (9), из четырех параметров, характеризующих качество решений о пожаре в помещении тепловыми извещателями, независимыми являются только два D и F или \bar{D} и \bar{F} . Любая пара из этих вероятностей может быть принята за исходную количественную характеристику качества решений о пожаре в помещении, выдаваемых тепловыми пожарными извещателями по результатам теплового мониторинга.

Показатели качества D и F решений о пожаре являются противоречивыми. Естественным требованием для тепловых пожарных извещателей является максимальная вероятность правильного решения о пожаре и минимальная вероятности ложного решения о пожаре. Однако при пороговом принципе решений о пожаре удовлетворить одновременно обоим этим требованиям невозможно. Объясняется это тем, что для увеличения D (5) необходимо уменьшать значение порога x_0 , в то время как для уменьшения F (7) порог необходимо увеличивать.

В силу большого разнообразия температурных условий в помещениях для характеристики качества решений о пожаре и выявления соответствующих угроз возникновения ЧС целесообразно рассматривать средние взвешенные значения рассматриваемых вероятностей для различных условий. С этой целью введем стоимости для указанных ошибочных решений. Пусть стоимость ложного решения о пожаре определя-

ется величиной r_F , а стоимость решения о пропуске пожара – r_D . Тогда средняя стоимость указанных ошибочных решений (средний риск ошибочного решения о пожаре)

$$R = r_F P(H_0) + r_D \bar{D} P(H_1). \quad (10)$$

Учитывая (9) выражение (10) представим в виде:

$$R = r_D P(H_1) \{1 - [D - I_0 F]\}, \quad (11)$$

где $I_0 = r_F P(H_0) / r_D P(H_1)$ – весовой множитель. Из выражения (11) следует, что в общем случае снижение среднего риска решения о пожаре в помещении связано с увеличением величины $D - I_0 F$, определяемой показателями качества решений, выдаваемых тепловыми пожарными извещателями. Это означает, что извещатель, для которого эта величина окажется большее, будет в среднем обеспечивать лучшее решение о пожаре. При этом буде обеспечиваться и лучшее выявление угроз возникновения ЧС, связанных с пожарами. Для пояснения этого факта достаточно связать средний риск решений о пожаре (11) с нормативной величиной R_n вероятности возникновения пожара. Тогда выявление угроз возникновения ЧС, связанных с пожарами, будет иметь место, если

$$R > R_n. \quad (12)$$

Выражение (11) совместно с (5) – (8) и (12) будут определять модель выявления угроз возникновения ЧС с помощью мониторинга температуры газовой среды в помещениях объекта. Полученная модель теоретически обоснована. Она связывает такие важные параметры как априорные вероятности наличия и отсутствия пожара в помещениях объекта, средний риск решения о пожаре (вероятности правильного и ложного решений о пожаре при температурном мониторинге газовой среды в помещениях), стоимости ложного решения о пожаре и пропуска пожара, а также нормативную величину вероятности возникновения пожара.

В реальных условиях априорные вероятности наличия и отсутствия пожара в помещениях объекта, как правило, неизвестны. Поэтому можно предположить, что $P(H_0) = P(H_1) = 0,5$. Также трудно подчас оценить и стоимость ошибочных решений о пожаре. Действительно, как оценить потери, связанные с ложным решением о пожаре и пропуском пожара? Как оценить количественно результаты паники среди населения, вызванной ложным решением о пожаре, или притупления бдительности пожарных вследствие ложного решения? Наконец, в каких единицах можно измерить человеческие жертвы и разрушения, вызванные

пропуском пожара? Отсутствие в ряде случаев данных о стоимости потерь приводит к необходимости полагать $r_D = r_F = 1$. При этих условиях $I_0 = 1$ и тогда модель (11) упрощается

$$R = 0,5\{1 - [D - F]\}. \quad (13)$$

С учетом (13) модель выявления угроз возникновения ЧС, связанных с пожарами, будет определяться соотношением

$$2 \cdot R_n < 1 - D + F. \quad (14)$$

Модель (14) можно принять в качестве упрощенной и использовать при ориентировочном определении угроз возникновения ЧС, связанных с пожарами, по показателям качества решений D и F в ходе мониторинга температуры газовой среды помещений с помощью тепловых пожарных извещателей. Следует заметить, что величина $D - F$ в моделях (13) и (14) совпадает с частным эвристическим показателем качества решения о пожаре при условии достоверного пожара на объекте, рассмотренным в [1].

Таким образом, на основе известного статистического подхода обоснована математическая модель выявления угроз возникновения ЧС, связанных с пожарами, с помощью мониторинга температуры в помещениях объекта. Данная модель отличается связью в виде неравенства угроз возникновения пожара и текущими априорными вероятностями наличия и отсутствия пожара в помещениях объекта, средним риском и вероятностями правильного и ложного решений о пожаре, а также стоимостями ложного решения и решения, связанного с пропуском пожара.

На основе указанной модели предложена частная модель выявления угроз возникновения ЧС, связанных с пожарами, связывающая нормативную величину риска со средним риском ошибочных решений, выдаваемых тепловыми пожарными извещателями, а также вероятностями правильного и ложного решений о пожаре в помещениях. Упрощенная модель может использоваться на практике для ориентировочного расчета угроз возникновения ЧС, связанных с пожарами, по вероятностям правильного и ложного решений о пожаре, обеспечиваемых пожарными извещателями, которые применяются для мониторинга температуры в помещениях объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акатьев В.А. Производственная безопасность. М.: Изд-во РГСУ, 2011. 820 с.
2. Brushlinsky N.N. [and other]. World fire statistics. CTIF. 2015, no. 20, pp. 8–61.

3. Шаровар Ф. И. Пожаропредупредительная автоматика: теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний / Ф. И. Шаровар. – М.: Специнформатика–СИ, 2013. – 555 с.

4. Ван Трис. Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Том 1. Пер. с англ., под ред. проф. В.И. Тихонова. – М.: Советское радио, 1972. – 744 с.

5. Поспелов Б.Б. Выбор показателей качества и критерии оптимизации современных систем раннего обнаружения чрезвычайных ситуаций / Б.Б. Поспелов, Р.И. Шевченко, А.Е. Басманов, А.А. Федцов // Проблемы надзвичайних ситуацій, Харьков, НУГЗУ, 2012, вып. 15. – С. 122-131.

6. Поспелов Б.Б. Рабочие характеристики пожарных извещателей систем пожарной автоматики / Б.Б. Поспелов, Р.И. Шевченко // Проблемы пожарной безопасности, Харьков, НУГЗУ, 2012, вып. 32 – С. 166-173.

7. Поспелов Б.Б. Метод определения рабочих характеристик для групповых пожарных извещателей систем пожарной автоматики / Б.Б. Поспелов, Р.И. Шевченко // Проблемы пожарной безопасности, Харьков, НУГЗУ, 2013, вып. 33 – С. 136-146.

Получено редколлегией 12.03.2019

Р.Г. Мелешенко

Модель для виявлення погроз виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру за допомогою моніторингу температури в приміщеннях об'єкта

Представлені загальна і приватна модель виявлення загроз надзвичайних ситуацій, пов'язаних з пожежами на об'єктах, за допомогою моніторингу температури газового середовища тепловими пожежними сповіщувачами в приміщеннях.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, пожежа, температура газового середовища приміщення, показники якості рішень про пожежу, теплової пожежний сповіщувач, моніторинг.

R. Meleshenko

Model for determining threats of emergency situations of the technogenic character by means of monitoring the temperature in the premises

A general and private model of identifying threats of emergency situations associated with fires at facilities is presented by monitoring the temperature of the gas environment by heat detectors in rooms.

Keywords: emergency situation, fire, temperature of the gas environment of the room, indicators of the quality of fire decisions, heat detector, monitoring.