

Р.М. Полстянкин, адъюнкт, НУГЗУ

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
КАЧЕСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАГОРАНИЙ
ТОЧЕЧНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ПОЖАРНЫМИ ИЗВЕЩАТЕЛЯМИ**
(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Представлены общая и упрощенная математические модели качества обнаружения загорания точечными тепловыми пожарными извещателями максимального типа.

Ключевые слова: загорание, среднеобъемная температура газовой среды, показатели качества обнаружения загораний, тепловые пожарные извещатели.

Постановка проблемы. Возникновение загораний на объекте является событием случайным. Параметры, характеризующие развитие загорания во времени, являются случайными процессами с различными законами распределения. Решение об обнаружении загораний, реализуемое системами противопожарной защиты объектов, является случайным. Наиболее распространенным параметром загорания является среднеобъемная температура газовой среды в заданной зоне действия точечного теплового пожарного извещателя. Следует заметить, что температурный параметр загорания входит в состав числа контролируемых параметров большинством современных комплексных пожарных извещателей. Случайный характер решения и важность температурного параметра в современных многофункциональных сенсорах порождают проблему оценки качества обнаружения загораний тепловым каналом извещателей.

Анализ последних исследований и публикаций. Первые результаты в области реализации статистического подхода к оценке качества систем одномерного обнаружения загораний принадлежат профессору Ф.И. Шаровару [1], который рассматривал процедуру выявления загораний в виде некоторой задачи многоальтернативного обнаружения. Для оценки качества систем одномерного обнаружения загораний предлагается эвристический критерий, который требует знания вероятности загорания на объекте. В реальных условиях эта вероятность не известна и может изменяться в процессе функционирования объекта защиты. На основе этого критерия рассматривается математическая модель оценки качества одномерного обнаружения, которая в силу предлагаемого критерия не в полной мере отражает реальные условия выявления загораний и не позволяет на практике оценивать качество обнаружения загораний, например, тепловыми пожарными извещателями, являющимися основными и единственными источниками информации о загорании. Описываемая в [1] модель нуждается в уточнении и доработке с учетом известных в современной теории обнаружения результатов [2].

Более конструктивным оказывается статистический подход, развиваемый в последнее время профессором Пospelовым Б.Б., который базируется на распространении результатов классической теории обнаружения сигналов на специфические задачи обнаружения чрезвычайных ситуаций и загораний на объектах [3–5]. Так, например, для оценки качества пожарных извещателей обнаружения загораний предлагается использовать рабочие характеристики и характеристики обнаружения, принятые в теории обнаружения сигналов [2]. Однако модель оценки качества обнаружения загораний точечными тепловыми пожарными извещателями, применительно к более адекватной приложениям задаче проверки двух гипотез, при этом не рассматривается.

Постановка задачи и ее решение. Целью настоящей работы является рассмотрение модели для оценки качества обнаружения загораний точечными тепловыми пожарными извещателями, применительно к задаче проверки двух гипотез.

Учитывая случайный характер возмущений и среднеобъемной температуры газовой среды в помещении, анализ работы точечного теплового пожарного извещателя будем проводить статистическими методами, а показатели качества его работы рассматривать как статистические параметры. В результате соответствующего преобразования температуры газовой среды в зоне действия извещателя в электрический сигнал и последующего сравнения этого сигнала с порогом выносится решение о наличии или отсутствия загорания [1]. Это решение объективно принимается при двух взаимно исключающих условиях, характеризующих состояние очага загорания: «загорание есть» – H_1 ; «загорания нет» – H_0 .

Вследствие возмущений и флуктуаций температуры решения могут приниматься с ошибками, поскольку истинное состояние очага остается неизвестным для извещателя. В этом случае извещатель может только выдавать предположительные решения (гипотезы) о состоянии очага, а именно: «загорание есть» – H_1^* ; «загорания нет» – H_0^* .

В результате обобщенная схема решений имеет вид, изображенный на рис. 1.

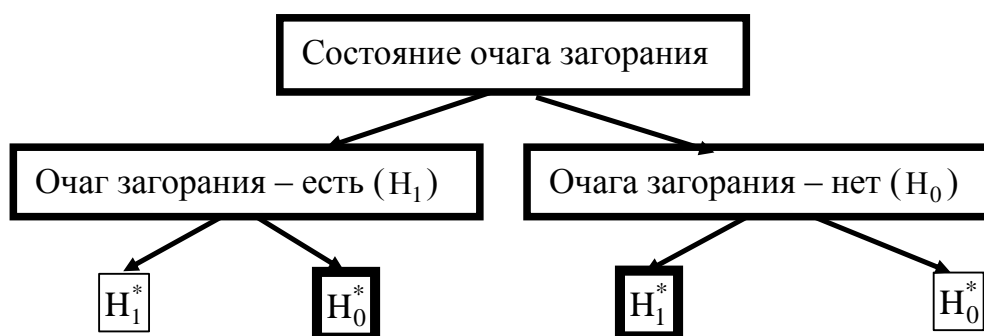


Рис. 1. Схема решений при обнаружении загорания в помещении

Из схемы на рис. 1 следует, что при обнаружении загорания извещателем возможны ошибочные и правильные решения.

Ошибочные решения возникают в двух случаях – состояниях отсутствия и наличия очага загорания в помещении. Они называются соответственно:

1. *Ложное обнаружение*, когда срабатывает извещатель (принимается решение о наличии очага загорания), в то время как фактически очаг отсутствует.

2. *Пропуск загорания*, когда извещатель не срабатывает (принимается решение об отсутствии очага загорания), в то время как в действительности имеется очаг.

Два вида правильных решений соответствуют также наличию и отсутствию очага загорания и соответственно называются:

3. *Правильное обнаружение*, когда срабатывает извещатель (принимается решение о наличии очага загорания), в то время как в действительности имеется очаг.

4. *Правильное необнаружение*, когда не срабатывает извещатель (принимается решение об отсутствии очага загорания), в то время как фактически очаг отсутствует.

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

безусловная вероятность правильного обнаружения загорания

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

безусловная вероятность ложного обнаружения загорания

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

безусловная вероятность правильного необнаружения загорания

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

безусловная вероятность пропуска загорания

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

В выражениях (1) – (4) $P(H_1)$ и $P(H_0)$ – априорные вероятности наличия и отсутствия очага загорания на объекте, 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 загорания. Обычно эти вероятности принято называть апостериорными.

Определение безусловных вероятностей можно выполнить, если известны 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 помещения. Если этого сделать невозможно, то возникает так называемая априорная трудность. В этом случае можно, по-видимому, считать отсутствие и наличие очага загорания на объекте равновероятным $P(H_1) = P(H_0) = 0,5$.

Апостериорные вероятности могут быть вычислены для точечных тепловых пожарных извещателей порогового типа, если известны функции плотности распределения вероятностей сигнала на выходе чувствительного элемента (входе порогового устройства извещателя).

Пусть $p_1(x)$ и $p_0(x)$ представляют собой плотности вероятности сигнала на выходе чувствительного элемента теплового пожарного извещателя в фиксированный момент времени, соответствующие наличию и отсутствию загорания на объекте. В этом случае аргумент x функции плотности вероятности связан с реализациями ξ сигнала на входе порогового устройства теплового пожарного извещателя в фиксированный момент времени неравенством $\xi < x$.

Часто в качестве x понимают нормированное значение случайного сигнала U на выходе чувствительного элемента по отношению к среднему значению возмущений σ , т. е. $x = U/\sigma$. Пусть x_0 есть относительная величина порога срабатывания извещателя, определяемая $x_0 = U_0/\sigma$, где U_0 – абсолютная величина порога. С учетом этого апостериорные вероятности, характеризующие качество обнаружения загорания извещателями, могут быть найдены из следующих выражений.

1. Вероятность правильного обнаружения загорания D при заданном пороге x_0 будет определяться величиной

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

2. Вероятность пропуска загорания \bar{D} при пороге x_0 будет определяться величиной

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

3. Вероятность ложного обнаружения загорания F при заданном пороге x_0 будет определяться величиной

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

4. Вероятность правильного необнаружения загорания \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 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 обнаружения загораний тепловыми извещателями, независимыми являются только два D и F ; \bar{D} и \bar{F} и т. п. Любая пара из этих величин может быть принята за исходную характеристику показателей качества обнаружения загораний точечными тепловыми пожарными извещателями.

Показатели качества D и F обнаружения загораний тепловыми пожарными извещателями являются противоречивыми. Естественным для тепловых пожарных извещателей является требование максимальной вероятности правильного обнаружения и минимальной вероятности ложного обнаружения загораний. Однако при пороговом принципе обнаружения 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.

Поскольку условия использования тепловых пожарных извещателей характеризуются большим разнообразием целесообразно качество обнаружения загораний извещателями рассматривать в среднем для различных условий. С этой целью введем стоимости для ошибочных решений. Пусть стоимость ложного обнаружения загорания определяется величиной r_F , а стоимость пропуска загорания – $r_{\bar{D}}$. Тогда средняя стоимость указанных ошибочных решений (средний риск при обнаружении загорания извещателем)

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

Учитывая (9) выражение (10) может быть представлено в виде:

$$R = r_{\bar{D}} P(H_1) \{1 - [D - l_0 F]\}, \quad (11)$$

где $l_0 = r_F P(H_0) / r_{\bar{D}} P(H_1)$ – весовой множитель. Из выражения (11) следует, что в общем случае уменьшение среднего риска обнаружения заго-

рания на объекте связано с увеличением величины $D - I_0F$, определяемой показателями качества тепловых пожарных извещателей. Поэтому извещатель, который будет иметь большее значение этой величины, будет в среднем обеспечивать и лучшее обнаружение загораний.

Выражение (11) совместно с (5) – (8) определяют обобщенную модель качества обнаружения загораний на объекте тепловыми пожарными извещателями максимального типа. Полученная модель, в отличие от известных моделей загорания, теоретически обоснована и связывает такие важные параметры обнаружения как априорные вероятности наличия и отсутствия загорания на объекте, средний риск и вероятности правильного и ложного обнаружения загорания извещателем, а также стоимости ложного обнаружения и пропуска загорания.

В реальных условиях априорные вероятности наличия и отсутствия загорания на объекте в данный момент времени, как правило, неизвестны. Поэтому можно предположить, что $P(H_0) = P(H_1) = 0,5$. Также трудно подчас оценить стоимость ошибочных решений. Действительно, как оценить потери, связанные с ложным обнаружением и пропуском загорания. Как оценить количественно результаты паники среди населения, вызванной ложным обнаружением загорания, или притупления бдительности пожарных вследствие ложного обнаружения? Наконец, в каких единицах можно измерить человеческие жертвы и разрушения, вызванные пропуском загорания? Отсутствие в ряде случаев данных о стоимости потерь приводит к необходимости полагать $r_{\bar{D}} = r_F = 1$. При этих условиях $I_0 = 1$ и тогда модель (11) упрощается

$$R = 0,5\{1 - [D - F]\}. \quad (12)$$

Модель (12) можно принять в качестве упрощенной и использовать при ориентировочных расчетах показателей качества D и F обнаружения загораний тепловыми пожарными извещателями. Следует заметить, что величина $D - F$ в модели (12) совпадает с эвристическим показателем качества при условии достоверного загорания на объекте, предложенным в [1].

Таким образом, на основе известного статистического подхода обоснована общая математическая модель качества обнаружения загорания точечными тепловыми пожарными извещателями. Данная модель, в отличие от известных моделей качества загорания, связывает такие важные параметры обнаружения как текущие априорные вероятности наличия и отсутствия загорания на объекте, средний риск и вероятности правильного и ложного обнаружения загорания, а также стоимости ложного обнаружения и пропуска загораний извещателем.

На основе общей модели предложена упрощенная модель качества загорания, определяющая связь среднего риска ошибочных решений,

выдаваемых тепловыми пожарными извещателями, с вероятностями правильного и ложного обнаружения загорания. Упрощенная модель может быть использована на практике для ориентировочных расчетов показателей качества обнаружения загораний тепловыми пожарными извещателями максимального типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаровар Ф. И. Пожаропредупредительная автоматика: теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний / Ф.И. Шаровар. – М.: Специнформатика – СИ, 2013. – 555 с.
2. 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.
3. 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. – Вип. 15 – С. 122-131. – Режим доступа к журн.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol15/Pospelov.pdf>.
4. 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. – Режим доступа к журн.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol32/pospelov.pdf>.
5. 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. – Режим доступа к журн.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol33/pospelov.pdf>.

Р.М. Полстянкін

Математична модель якості виявлення загорянь точковими тепловими пожежними сповіщувачами

Представлені загальна та спрощена математичні моделі якості виявлення загорянь точковими тепловими пожежними сповіщувачами максимального типу.

Ключеві слова: Загоряння, середньооб'ємна температура газового середовища, показники якості, виявлення загорянь, теплові пожежні сповіщувачі.

R.M. Polstiankin

Mathematical model of quality detection ignition point heat detection

A general and a simplified mathematical model of detection quality thermal ignition point type fire detectors maximum.

Keywords: Ignition, volume average temperature of the gaseous medium, the quality indicators of the ignition detection, thermal fire detectors.