

**Қазақстан Республикасы төтенше жағдайлар министрлігі  
Көкшетау техникалық институты**

**«ӨРТ ҚАУПСІЗДІГІНІң, ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАРДЫң АЛДЫН  
АЛУ ЖӘНЕ ЖОЮДЫң ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ» АТТЫ  
IV халықаралық ғылым-практикалық конференция  
материалдарының жинағы**

**Сборник материалов IV международной научно-практической  
конференции  
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ,  
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ  
СИТУАЦИЙ»**

**Көкшетау 2013**

*Посталов Б.Б., д.т.н., проф., вед. научный сотрудник  
Шевченко Р.И., к.т.н., с.н.с., начальник научно-исследовательской лаборатории  
Национальный университет гражданской защиты  
Государственной службы Украины по ЧС*

## **ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА ДЛЯ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

В настоящее время пожарные извещатели (ПИ) широко используются в различных типах систем автоматического обнаружения пожара и пожарной сигнализации. Они являются основными датчиками, которые первыми обнаруживают пожар. Обнаружение пожара ПИ обычно осуществляется на основе фиксации превышения контролируемым признаком (или совокупностью признаков) пожара установленного порога [1,2]. В качестве признаков могут выступать температура воздушной среды или пламени, концентрация продуктов горения, уровень потоков горячих газов и электромагнитного излучения и др. За последние годы существенно расширился ассортимент ПИ, появились новые разработки, реализующие возможности современной элементной базы, различных smart-технологий и технологий проводной и беспроводной связи. Это позволило создавать автоматические системы раннего обнаружения пожара нового поколения для защиты современных объектов производственного, складского, административно-хозяйственного, жилого и иного назначения [2]. При этом для современных объектов характерно существенное усложнение пожароопасной обстановки в зоне действия ПИ. Это приводит к снижению эффективности обнаружения пожара из-за уменьшения вероятности правильного и увеличения вероятности ложного его обнаружения. Учитывая существующую тенденцию усложнения пожароопасной обстановки на современных объектах с одной стороны, а также необходимость повышения достоверности обнаружения пожара в этих условиях с другой стороны, порождают проблему повышения эффективности автоматического обнаружения пожара в этих условиях.

В настоящее время исследованию различных характеристик, особенностей применения, оптимизации и идентификации параметров различных типов ПИ посвящены работы [1-4]. Однако при этом не рассматриваются такие важные для приложений параметры ПИ, как вероятностные характеристики обнаружения пожара, а также методы их определения. Дело в том, что вероятностные характеристики обнаружения пожара ПИ непосредственно влияют на эффективность всей системы автоматического обнаружения пожара. Использовать непосредственно известные результаты [5] в силу специфических условий применения, а также особых требований и особенностей структурно-функционального построения ПИ для определения их вероятностных характеристик обнаружения пожара оказывается затруднительным.

Целью работы является рассмотрение вероятностных характеристик обнаружения пожара для ПИ и методов их определения в сложной пожароопасной обстановке.

В общем случае вероятностные характеристики обнаружения пожара ПИ зависят от контролируемого признака пожара, условий контроля (сложности пожароопасной обстановки) и используемого порога обнаружения. Пусть условия контроля, соответствующие сложной пожароопасной обстановке, характеризуются случайным мешающим фоном. Будем полагать, что на выходе чувствительного элемента ПИ наблюдаемый фон описывается гауссовой статистикой  $N(T, \sigma_s)$  с заданными параметрами, а соответствующий контролируемый признак определяется величиной  $\Delta T$ , которая является фиксированной. Пусть в случае признака, определяемого величиной  $\Delta T$  (гипотеза  $H_1$ ), на выходе чувствительного элемента ПИ наблюдается  $y = \Delta T + T_s + n_s$ , где  $n_s$  - случайный фон, характеризуемый  $N(0, \sigma_s)$ . Тогда в случае отсутствия признака (гипотеза  $H_0$ ) -  $y = T_s + n_s$ . Перейдем к новым наблюдениям  $z = y - T_s$ . При этом для гипотез  $H_1$  и  $H_0$  наблюдения  $z = \Delta T + n_s$  и  $z = n_s$  соответственно. Для новых наблюдений задача автоматического обнаружения пожара ПИ (выбор одной из гипотез  $H_1$  или  $H_0$ ) эквивалентна бинарной задаче обнаружения детерминированного сигнала при гауссовой статистике помехи. Это позволяет использовать для ее решения известные результаты. При однократном отсчете и пороговом испытании правило оптимального обнаружения пожара можно записать в виде

$$L = z / \sigma_s \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \frac{\sigma_s}{\Delta T} \ln(\eta) + \frac{\Delta T}{2\sigma_s} = l, \quad (1)$$

где  $\eta$  - порог, определяемый стоимостью решений и априорными вероятностями соответствующих гипотез (наличия и отсутствия пожара в контролируемой зоне). В этом случае при гипотезе  $H_0$  статистика  $L$  будет описываться  $N(0,1)$ , а при гипотезе  $H_1$  -  $N(\Delta T / \sigma_s, 1)$ . Вводя понятие расстояния  $d = \Delta T / \sigma_s$ , оптимальный порог в (1) будет определяться величиной  $l = \ln(\eta) / d + d / 2$ . Тогда в данных условиях вероятность ложного обнаружения пожара ПИ

$$F_s = \int_l^\infty dx \exp(-x^2 / 2) / \sqrt{2\pi}. \quad (2)$$

При этом вероятность правильного обнаружения пожара ПИ

$$D_s = \int_l^\infty dx \exp(-(x - d)^2 / 2) / \sqrt{2\pi}. \quad (3)$$



Следуя (1), величина контролируемого признака пожара, уровень мешающего фона, априорные вероятности наличия и отсутствия пожара, а также стоимости решений определяют оптимальный порог обнаружения  $l_0$ , который, согласно (2) и (3), одновременно влияет на вероятности ложного и правильного обнаружения пожара ПИ. В реальных условиях информация о стоимости правильного и ложного обнаружения пожара, а также априорные данные о наличии и отсутствии пожара обычно неизвестны. В этих условиях оптимальный порог  $l_0 = d/2$ , а вероятностные характеристики обнаружения пожара ПИ будут определяться функцией  $D_0(F_0, \Delta T, \sigma_0)$ , аналитическое выражения для которой отсутствует. Поэтому предлагается метод определения приближенного аналитического выражения этой функции для произвольных значений аргументов. Суть метода состоит в использовании соответствующей рациональной аппроксимации для решения обратной задачи (2) и последующего ее использования при решении (3). Решение обратной задачи (2) при условии  $0 < F_0 \leq 0,5$  определяется

$$u(F_0, \sigma_0) = \sigma_0 t - \frac{\sigma_0 (a_0 + a_1 t)}{1 + b_1 t + b_2 t^2} + \varepsilon, \quad t = \sqrt{\ln(F_0^{-1})}, \quad |\varepsilon| < 3 \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

$$a_0 = 2,30753 \quad , \quad a_1 = 0,27061 \quad , \quad b_1 = 0,99229 \quad , \quad b_2 = 0,04481 \quad .$$

Следуя (4), рост уровня флуктуаций  $\sigma_0$  фона с учетом среднего его значения  $\tau$ , требует коррекции величины оптимального порога  $u(F_0, \sigma_0) + \tau$ , в ПИ. С учетом этого вероятностные характеристики обнаружения пожара для ПИ будут определяться (3) и порогом  $l_0' = u(F_0, \sigma_0) - \Delta T$ . Интеграл (3) может быть вычислен прямым методом или с использованием табулированной функции ошибок. В практике локализации часто используют приближенные аппроксимации (3) в аналитической форме [5]. Эти аппроксимации оказываются достаточно грубыми для ПИ. Более подходящей оказывается полиномиальная и рациональная аппроксимации (3) в виде

$$D_0(x) = \exp(-x^2 / 2) (m_0 + m_1 x + m_2 x^2) / \sqrt{2\pi}, \quad \tau = (1 + 0,33267 x)^{-1}, \quad (5)$$

$$m_0 = 0,4361836 \quad , \quad m_1 = -0,1201676 \quad , \quad m_2 = 0,9372980 \quad .$$

При этом точность, обеспечиваемая (5), оказывается не хуже  $10^{-4}$ . На рисунке 1 приведены зависимости вероятности правильного обнаружения пожара от вероятности ложного его обнаружения ПИ при различных значениях  $d = \Delta T / \sigma_0$ , определяемых сложными условиями наблюдения данного признака пожара. Данные зависимости будем называть рабочими характеристиками обнаружения пожара ПИ. Они характеризуют уровень достоверности принятия решения о пожаре в зависимости от вероятности ложного его обнаружения для



конкретных условий наблюдения. В общем же случае рабочие характеристики связывают между собой основные вероятностные параметры обнаружения пожара ПИ ( $D_s$  и  $F_s$ ) с параметрами условий наблюдения признака пожара и априорными данными. Так, например, если известны стоимости  $C_{\omega}$  и  $C_{\omega}$  правильных и ошибочных  $C_{\omega}$  и  $C_{\omega}$  решений, а также априорные вероятности наличия  $p_s$  и отсутствия  $p_s = 1 - p_s$  пожара в рассматриваемой области пространства, то величина оптимального порога  $\eta = p_s(C_{\omega} - C_{\omega}) / p_s(C_{\omega} - C_{\omega})$ . Затем по величине  $\eta$  определяется соответствующая точка на соответствующей кривой, для которой оцениваются искомые значения  $D_s$  и  $F_s$ , которые будут обеспечиваться для заданных условий наблюдения. В этом случае порог  $\eta$  при фиксированном  $d = \Delta T / \sigma$ , рассматривается в качестве изменяющегося параметра. Для заданного  $d$  на соответствующей кривой можно выбрать любую точку, определяемую величиной порога  $\eta$  ( $0 \leq \eta \leq \infty$ ).

Так, например, при  $\eta = 0$  ПИ будет обнаруживать пожар с вероятностями  $D_s = F_s = 1$ . По мере роста величины  $\eta$  вероятности  $D_s$  и  $F_s$  уменьшаются и в пределе, когда  $\eta = \infty$  ПИ будет обнаруживать пожар с вероятностями  $D_s = F_s = 0$ . В общем случае, следуя рис.1, с ростом величины  $d = \Delta T / \sigma$ , вероятность правильного обнаружения пожара ПИ увеличивается. Важным свойством рабочих характеристик обнаружения пожара ПИ является то, что тангенс угла наклона касательной в некоторой точке кривой определяет требуемую величину порога  $\eta$  в (1), необходимую для достижения заданных  $D_s$  и  $F_s$  в этой точке. Зная  $\eta$ , в соответствии с (1) можно вычислить требуемое значение  $i_s$ . Указанные значения  $D_s$  и  $F_s$  в дальнейшем могут использоваться для определения финальных вероятностных характеристик обнаружения различных систем автоматического обнаружения пожара, использующих ПИ.

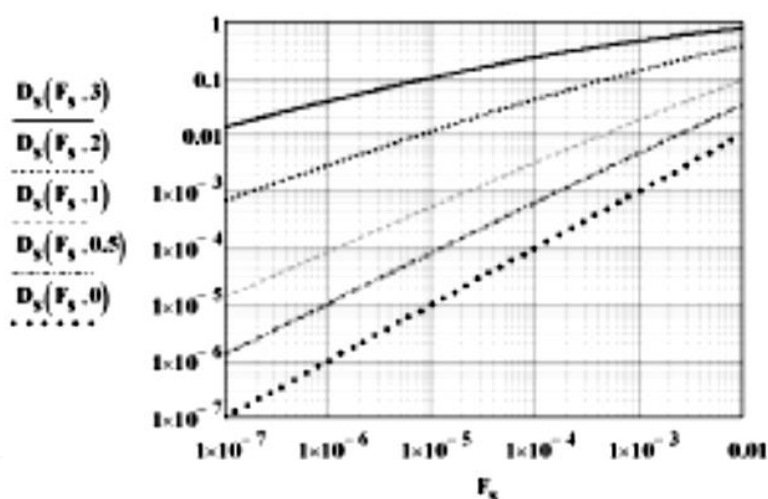


Рисунок 1. Рабочие характеристики обнаружения пожара ПИ при различных значениях  $d$ , равных 0, 0,5, 1, 2 и 3



Обычно на практике стоимости правильного и ошибочного обнаружения пожара, а также вероятности наличия и отсутствия пожара в рассматриваемой зоне априори неизвестны. В этом случае наличие и отсутствие пожара в контролируемой зоне полагается равновероятным. При этом для правильных и ошибочных решений выбираются нулевые и единичные стоимости соответственно. Тогда рабочие характеристики обнаружения пожара ПИ можно представить в ином виде. В качестве аргумента можно рассматривать величину  $d$ , а параметром считать  $F_s$ . Такие характеристики по аналогии с [5] будем называть характеристиками обнаружения пожара ПИ. На рис.2 представлены данные характеристики для различных значений  $F_s$ , равных  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  и  $10^{-7}$ . Характеристики обнаружения определяют вероятность правильного обнаружения пожара ПИ для заданной вероятности ложного обнаружения в различных условиях наблюдения (характеризуемых величиной  $d$ ) заданного признака пожара. При этом заданная вероятность ложных решений будет определять соответствующий порог, который необходимо устанавливать в ПИ для обеспечения требуемых значений  $D_s$  и  $F_s$ .

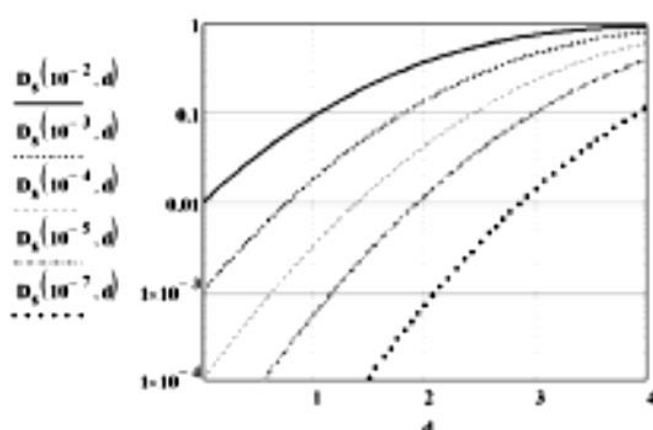


Рисунок 2. Характеристики обнаружения пожара ПИ для различных значений  $F_s$ .

Анализ рабочих характеристик и характеристик обнаружения пожара свидетельствует о том, что обеспечение высокой вероятности правильного обнаружения и одновременно низкой вероятности ложного обнаружения с использованием одного признака пожара, возможно только в случае малого уровня флуктуаций мешающего фона и существенного превышения контролируемым признаком его среднего уровня на выходе соответствующего чувствительного элемента ПИ. Поэтому для обеспечения высокой вероятности правильного и одновременно низкой вероятности ложного обнаружения пожара ПИ необходимо в качестве контролируемых признаков выбирать такие, для которых при возникновении пожара резко увеличивается величина измеряемого признака над средним значением фона, а также обеспечивается малый уровень фоновых флуктуаций. При этом на эффективность обнаружения



пожара ПИ в целом оказывает величина превышения энергии измеряемого признака над энергией мешающих искажений и фона.

Таким образом, впервые предлагается использовать для ПИ наряду с традиционными параметрами рабочие характеристики и характеристики обнаружения пожара, аналогичные по физическому смыслу и используемые в теории обнаружения. На основании полиномиальной и рациональной аппроксимации предложены новые инженерные методы определения указанных характеристик для ПИ в сложных условиях, обладающие более высокой расчетной точностью по сравнению с известными методами. Показано, что обеспечение высокой вероятности правильного обнаружения пожара и низкой вероятности его ложного обнаружения возможно только в случае очень малых флуктуаций мешающего фона и существенного превышения энергии контролируемого признака пожара над средней энергией мешающего фона на выходе чувствительного элемента ПИ.

#### Список литературы

1. Членов А.Н. Автоматические пожарные извещатели. М.: НИЦ «Охрана» ВНИИПО МВД России, 1997. - 51 с.
2. Федоров А.В. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара / А.В. Федоров, А.Н. Членов, А.А. Лукьянченко, Т.А. Буцынская, Ф.В. Демехин. Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 159 с.
3. Членов А.Н. Современные тепловые пожарные извещатели: основные характеристики и особенности применения / Членов А.Н. // Системы безопасности. – 2004. – 1. – С. 55.
4. Абрамов Ю.А. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь. – Харьков: АГЗУ, 2005. – 121 с.
5. 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.

*Басманов А.Е., д.т.н., профессор*

*Кулик Я.С., адъюнкт Национальный университет гражданской защиты  
Украины*

#### УЧЕТ ФОРМЫ РАЗЛИВА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА, ПОДНИМАЮЩЕГОСЯ НАД ГОРЯЩИМ РАЗЛИВОМ НЕФТЕПРОДУКТА

Разлив и воспламенение нефтепродукта в обваловании резервуара является одной из опаснейших чрезвычайных ситуаций, способных привести как к серьезному материальному ущербу, так и человеческим жертвам. Разработка плана пожаротушения и оценка необходимых сил и средств невозможны без оценки времени, в течение которого стальные конструкции



мобильных пожарно-спасательных модулей для уменьшения продолжительности свободного развития пожара	
<i>Навроцкий О.Д., Малащенко С.М., Грачулин А.В., Патубец С.М.</i> Использование пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения зданий повышенной этажности	174-176
<i>Лешкевич М.С., Манько О.В., Зарубицкая Т.И.</i> Обоснование численности людей, одновременно пребывающих в закрытых гаражах-стоянках	176-177
<i>Никитин В.И., Есипович Д.Л.</i> Проблемы эффективного применения автономных пожарных извещателей	178-180
<i>Поспелов Б.Б., Шевченко Р.И.</i> Вероятностные характеристики обнаружения пожара для пожарных извещателей и методы их определения	181-186
<i>Басманов А.Е., Кулик Я.С.</i> Учет формы разлива при моделировании воздушного потока, поднимающегося над горящим разливом нефтепродукта	186-189
<i>Бугаев А.Ю., Тесленко А.А.</i> Наженность параметров аварийного слива опасного вещества	189-191
<i>Джумагалиев Р.М.</i> К вопросу по тушению «углеводородных» пожаров	191-195
<i>Оразбаев А.Р.</i> Контроль электризации жидкости на поверхности резервуаров с нефтепродуктами	196-199
<i>Малащенко С.М., Навроцкий О.Д., Черневич О.В., Емельянов В.К.</i> Новый способ подачи пены в резервуар	200-202
<i>Журов М.М.</i> Очистка водных сред от загрязнений нефтью и ее эмульсий с применением модифицированных глин бентонитового класса как в качестве добавки при очистке флотацией, так и в качестве добавки в сорбционный материал	202-205
<i>Гулида Э.Н., Ренкас А.А.</i> Прогрев железобетонной плиты перекрытия в условиях реального пожара	205-208
<i>Малащенко С.М., Навроцкий О.Д., Черневич О.В., Смиловенко О.О.</i> Исследование влияния состава горючей жидкости на время тушения	208-210
<i>Доминик А.М., Данкевич И.П.</i> Определение температурного поля в перекрытии при пожаре	210-212
<i>Наймушин Е.В., Дементьев Ф.А., Максимов П.В.</i> Изучение искусственных каменных материалов методом синхронного термического анализа для экспертных целей	212-218
<i>Саенко Н.В., Блоха Н.Н., Спирина-Смилка Е.Ю.</i> Термоокислительная деструкция ко-интеркалированных соединений графита	219-222
<i>Налев Ю.П., Черневич О.В.</i> Совершенствование испытаний строительных конструкций при огневом воздействии	222-223
<i>Дудак С.А.</i> Оптимизация технологического процесса с точки	223-225



