

*Розглянуті питання створення первинних перетворювачів у системах пожежної безпеки промислових об'єктів. Проаналізовано вимоги до таких перетворювачів, можливості їх реалізації, запропоновано підхід, що базується на використанні фотоприладів із зарядовим зв'язком та мікропроцесорним опрацюванням інформації*

*Ключові слова: первинний перетворювач, фотоприлад із зарядовим зв'язком, пожежна безпека технологічних процесів*

*Rассмотрены вопросы создания первичных преобразователей в системах пожарной безопасности промышленных объектов. Проанализированы требования к таким преобразователям, возможности их реализации, предложен подход, основанный на использовании фотоприборов с зарядовой связью и микропроцессорной обработкой информации*

*Ключевые слова: первичный преобразователь, фотоприбор с зарядовой связью, пожарная безопасность технологических процессов*

*Problems of sensing devices creation in fire safety systems of industrial objects are considered. These transducers' requirements, its application possibilities are analyzed. New approach based on charge-coupled photoinstruments and microprocessor-based information processing is proposed*

*Key words: sensing device, charge-coupled photoinstruments, fire safety of technological processes*

# СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФОТОПРИБОРАХ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

**Б. А. Малик**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра «Охрана труда»\*  
Контактный тел. (057) 702-13-60

**Н. П. Селенкова**

Кафедра ТАПР\*  
Контактный тел.: 095-300-42-37  
E-mail: nata-selenkova@km.ru  
\*Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники  
пр. Ленина 14, г. Харьков, Украина, 61166

## 1. Введение

В системах, обеспечивающих безопасность промышленных предприятий, в частности пожарную безопасность, одним из основных элементов, определяющих их надежность, являются первичные преобразователи.

Информация с таких преобразователей (датчиков) в большинстве случаев поступает в подсистему обработки данных, которая может быть различной степени сложности – от простой логической схемы до универсального микропроцессорного устройства. [1]

Любые физические явления, в том числе процессы самовозгорания, тления, пожара или взрыва, могут быть идентифицированы по ряду факторов, проявлением которых это явление сопровождается. Общим принципом работы всех автоматических устройств обнаружения загораний является измерение физических величин, связанных именно с этими факторами.

## 2. Результаты исследований

Факторами, по которым может быть обнаружен очаг пожара (самовозгорания, взрыва), являются:

- изменение температуры (локальное повышение, динамика роста и флуктуации в месте возникновения и развития очага);
- изменение газового состава среды (повышение концентрации двуокиси и окиси углерода, углеводородов и других продуктов горения);
- изменение оптических свойств газовой среды (под воздействием тепловыделения очага локально изменяется температура и, как следствие, коэффициент преломления воздуха, кроме того, часть продуктов горения выделяется в виде дыма (аэрозоль), что в свою очередь ведет к появлению интенсивного ослабления и рассеивания световых лучей);
- изменение интенсивности и спектральных характеристик оптического защищаемого объекта;

- изменение спектральных характеристик акустического шума;
- изменение давления.

Эффективность применения пожарных извещателей и их работоспособность зависят от оптимального выбора типа датчика, места его установки и условий эксплуатации. Наиболее полно требованиям к основным параметрам отвечают оптические датчики обнаружения очага загорания.

Информационными параметрами загорания для оптических датчиков являются спектральный состав и интенсивность излучения, флуктуация интенсивности излучения.

В настоящее время задача сводится не столько к обнаружению пламени, сколько к обеспечению достаточно сложной, учитывающей многие параметры окружающей среды, обработке изображений [2]. Существует несколько основополагающих принципов идентификации пламени, которые заключаются в частотной и спектральной селекции источников излучения.

В частотном принципе идентифицирующим признаком является наличие низкочастотных колебаний интенсивности излучения от очага пламени. При спектральной селекции идентификация пламени осуществляется по наличию в спектре излучения контролируемого источника спектральных полос, характерных для продуктов, образующихся при горении.

Основные функциональные параметры, принципы выделения излучения пламени на фоне оптических помех, логика электронной обработки первичных сигналов, эксплуатационные и конструктивные характеристики датчиков всецело определяются электрическими, фотоэлектрическими, оптическими и конструктивными особенностями приемника излучения.

Так, для реализации частотного принципа идентификации пламени необходимо иметь приемник излучения, способный фиксировать низкочастотные колебания пламени (от 2 до 20 Гц).

Однако для надежного обнаружения и идентификации пламени они требуют длительного времени, которое можно сократить специальными режимами настройки ценой резкого снижения чувствительности и помехозащищенности. Частотный метод идентификации трудно реализуем при обнаружении тлеющих очагов пожара.

Для реализации принципа спектральной селекции, как правило, используется несколько приемников, способных реагировать на излучение в различных участках спектров излучения источников.

Некоторые авторы [3,4] в качестве приемника излучения применяют инфракрасный, многоспектральный, матричный полупроводниковый преобразователь на основе полиматричных кристаллических пленок из твердых растворов химических соединений групп А4В6 и А2В6, например селенида свинца и кадмия. Главное достоинство этого преобразователя в том, что для его работы не требуется модуляции излучения от объекта обнаружения, а спектральные характеристики чувствительности каждого элемента совпадают с характерными спектрами излучения различных типов очагов пожара.

Учитывая это можно универсализировать подход к датчикам пламени и реализации требований к ним.

Перспективным можно считать применение широкополосных преобразователей способных воспринимать информацию с больших площадей и возможностью дифференциации по времени, пространству и спектру. Наиболее полно таким требованиям отвечают преобразователи на основе фотоприборов с зарядовой связью (ФПЗС). Благодаря широте своих функциональных возможностей они могут компенсировать недостатки других преобразователей, применяемых в настоящее время.

Если проводить более общий анализ оптической информации с очага пожара, используя фотоприборы с зарядовой связью и микро процессорные устройства обработки изображений, можно разработать пожарные извещатели, которые в зависимости от особенностей защищаемого объекта, ожидаемого характера возгорания, вида очага пожара и характеристик оптических фоновых помех, будут обеспечивать адекватную реакцию на внешнее излучение. Они могут решать задачи, решение которых применяемыми раньше преобразователями было весьма затруднительно. Такие датчики, способны реагировать на наличие неколеблющегося пламени, например, пламени в газовых факелах или в очагах пожара с большой площадью возгорания. Их можно использовать при горении химических веществ, не содержащих углерод. При обнаружении очагов пожара вида ТП-2 и ТП-3 (тление древесины и хлопок) датчики на ФПЗС дают повышение чувствительности по отношению к очагам пожара вида ТП-1, ТП-4 и ТП-5 (горение древесины, полимерных материалов и горюче-смазочных материалов с выделением дыма), ТП-6 (горение горюче-смазочных материалов без выделения дыма). Благодаря широким возможностям извлечения и обработки информации можно достичь большого уровня помехозащищенности.

Решение этих задач возможно за счет того, что прием и прямое преобразование в электрическую энергию излучения от очагов пожара, первичных стадий взрывного процесса и фоновых оптических помех, формирование и выдача электрического сигнала о пожаре возложена на один широкополосный матричный преобразователь.

Селективно выделяются полосы, которые соответствуют спектрам излучения от нескольких типов очагов пожара и соответствующие спектрам излучения фоновых оптических помех, например Солнцу, искусственным источникам освещения, излучению электросварки, нагревательных приборов.

Хотя не специализированные ФПЗС имеют не очень широкий спектр по сравнению со специально изготовленными узко спектральными преобразователями (рис. 1), их преимущества бесспорны благодаря большому количеству информации получаемой с этих датчиков с большим пространственным, временным и спектральным разрешением.

Для того, чтобы очаг пожара был обнаружен простым извещателем пламени, в общем случае необходимо выполнение следующих условий:

- очаг должен находиться в пределах области обзора на расстоянии, не превышающем границы области чувствительности извещателя;
- чувствительность извещателя должна быть достаточной для регистрации разницы температур поверхности очага и фона.

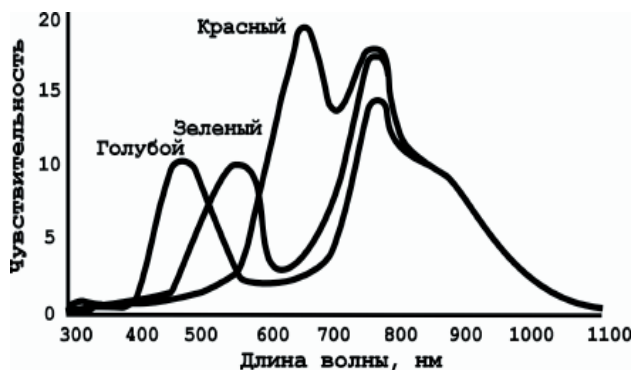


Рис. 1. Относительные спектральные характеристики чувствительности (ОСХЧ) ПЗС преобразователя

Извещатели с использованием в качестве преобразователя матричных фотоприборов с зарядовой связью могут работать в более сложных условиях. Они способны идентифицировать изменение обстановки на локальных участках контролируемого пространства и выявлять источники возгорания в присутствии значительных помех в различных участках спектра электромагнитных колебаний.

Необходимая чувствительность извещателя, основанного на одноэлементных преобразователях, зависит от расстояния, типа источника возгорания, температуры горения топлива и времени, требуемого для установления теплового равновесия пламени.

Каждый извещатель пламени обладает определенным углом обзора, обусловленным физическими свойствами чувствительного элемента и конструкцией самого извещателя.

Угол обзора в пространстве образует так называемую область обзора, которая в геометрической интерпретации для большинства извещателей пламени представляет собой конус, в вершине которого расположен чувствительный элемент извещателя. За пределами этой области детектирование пламени невозможно.

Для матричных ПЗС преобразователей выражение для дальности обнаружения может иметь вид:

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{S_{\text{пзс}} \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \cos \alpha \cdot R \cdot K \cdot \sigma \cdot T^4}{\pi \cdot \Phi_{\min}}} [Z \cdot (\lambda_2 / \lambda_m) - Z \cdot (\lambda_1 / \lambda_m)]$$

где  $S_{\text{пзс}}$  - рабочая площадь ПЗС преобразователя,

$R$  - коэффициент преобразования оптической системы, учитывающий фокусное расстояние и светосилу объектива;  $S$  - площадь очага возгорания;  $\varepsilon$  - спектральный коэффициент излучения;  $K$  - коэффициент, учитывающий спектральный состав лучистого потока, излучаемого пламенем, спектральные характеристики чувствительного элемента и пропускания атмосферы;  $\sigma$  - постоянная Больцмана;  $T$  - температура пламени;  $\Phi_{\min}$  - минимальный поток, который можно обнаружить (предельная чувствительность);  $Z \cdot (\lambda / \lambda_m)$  - функции, учитывающие свойства оптических приборов в зависимости от спектра излучения ( $\lambda_1 - \lambda_2$ );  $\lambda_m$  - длина волны, соответствующая максимуму спектральной интенсивности плотности лучистого потока;  $\alpha$  - угол между нормалью  $N$  к элементарной площадке  $dS$  и оптической осью чувствительного элемента.

На основании этого выражения можно сделать важный вывод о том, что дальность обнаружения очага возгорания для определенного извещателя пламени всегда пропорциональна корню квадратному из величины площади очага возгорания. При проектировании систем пожарной безопасности на базе извещателей пламени, как правило, всегда требуется показать область пространства, в которой данный извещатель гарантированно реагировал бы на очаг возгорания определенной площади. Наиболее простой способ продемонстрировать это заключается в построении требуемых зон обнаружения в горизонтальных плоскостях предполагаемых очагов возгорания. Построение таких плоскостных зон обнаружения дает полное представление о возможностях данного извещателя.

Однако, учитывая то, что в большинстве случаев поверхность области обнаружения извещателей пламени имеет достаточно сложный вид и построение плоскостных зон обнаружения является в связи с этим сложной задачей, для её решения можно воспользоваться упрощенной методикой.

Эта методика предполагает, во-первых, построение более простой по форме (по отношению к зоне обнаружения) зоны обзора, которая представляет собой сечение конуса обзора извещателя с горизонтальной плоскостью прогнозируемого очага пожара. И, во-вторых, определение минимального размера очага возгорания, гарантированно обнаруживаемого извещателем в пределах этой зоны обзора. В общем случае, в зависимости от взаимного расположения конуса обзора и плоскости прогнозируемого очага пожара, граница зоны обзора (сечение) может быть окружностью, эллипсом, параболой, прямой линией или точкой. В качестве примера рассмотрим типичный случай, когда граница зоны обзора представляет собой эллипс (рис. 2).

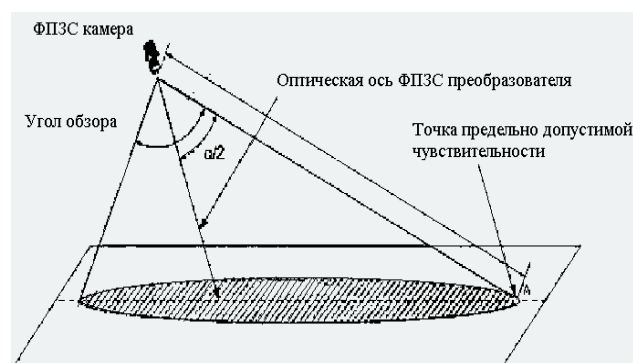


Рис. 2. Построение зоны обзора извещателя пламени

Поэтому, зная для данного пожарного извещателя значение его предельной дальности обнаружения стандартного очага возгорания можно рассчитать дальность обнаружения очага возгорания другой площади. Так, для определенного пожарного извещателя при всех прочих равных физических условиях будет справедлива следующая пропорция:

$$\frac{L_{\max \text{ test}}}{\sqrt{S_{\text{test}}}} = \frac{L_{\max n}}{\sqrt{S_n}} \quad \text{или} \quad \frac{L_{\max \text{ test}}}{L_{\max n}} = \sqrt{\frac{S_{\text{test}}}{S_n}}$$

$L_{\max\text{test}}$  – максимальная дальность обнаружения пламени тестового очага возгорания для данного типа извещателя;  $S_{\text{test}}$  – площадь тестового очага возгорания;  $L_{\max n}$  – максимальная дальность обнаружения пламени очага возгорания площадью для данного типа извещателя;  $S_n$  – площадь очага возгорания.

---

### 3. Выводы

---

Границы областей чувствительности для очагов возгорания иных размеров всегда могут быть найдены на основании данных, полученных при тестовых испытаниях извещателя путем их пересчета согласно закону о пропорциональной зависимости максималь-

ной дальности обнаружения от корня квадратного из величины площади очага возгорания.

Так как информация, снимаемая с ПЗС датчика, обновляется десятки раз в секунду, а чувствительность превосходит во много раз чувствительность традиционных одноэлементных преобразователей, отпадает необходимость учитывать время, требуемое для установления теплового равновесия пламени. При этом происходит обработка всего изображения контролируемого пространства, что в большинстве случаев позволяет выделить даже низкоэнергетические полезные сигналы на фоне помех, благодаря чему часто требуемая чувствительность заведомо ниже реальной чувствительности преобразователя.

---

### Литература

1. Малик Б.А., Малик С.Б. Первичные преобразователи в системах обеспечения безопасности жизнедеятельности//Тези доповідей науково-методичної конференції «Безпека життєдіяльності». – Харків: НТУ«ХПИ», 2005. – С.70-72.
2. Паранько А.В. Первичные преобразователи в системах обеспечения безопасности технологических процессов 12-й Международный молодежный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке": Сборник материалов форума – Харьков: ХНУРЕ, 2008. – С.214.
3. Горбунов Н.И., Медведев Ф.К., Дийков Л.К., Варфоломеев С.П. Датчики для систем обеспечения пожаро-взрывобезопасности.- Датчики и системы, 2004.
4. Патент USA № 005850182А от 15.12.98, Detector Electronics.