

# ИЗВЕЩАТЕЛИ ПЛАМЕНИ

## Часть 1. Источники излучения, ингибиторы и т.д.

**И. Неплохов**

к.т.н., технический директор ГК компании «Пожтехника» по ПС

*В статье рассматриваются принципы обнаружения очагов пожарными извещателями пламени. Анализируются преимущества и недостатки различных технологий: одноканальные ультрафиолетового диапазона (УФ), инфракрасного диапазона (ИК), многоканальные извещатели.*

*Приведены различные технологии, доступные для обнаружения пламени, их преимущества, недостатки и технические особенности, которые должны учитываться при применении извещателей пламени.*

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Электромагнитное излучение классифицируется в соответствии с его частотой или длиной волны. В порядке возрастания частоты – это радиоволны, СВЧ-излучение, инфракрасное излучение, видимый свет, ультрафиолетовое излучение, рентгеновские лучи и гамма-лучи (рис. 1). Сравнительно небольшой диапазон частот электромагнитного излучения воспринимается органами зрения и называется видимой областью спектра. Инфракрасное излучение лежит между красной частью видимого спектра и началом СВЧ-диапазона и охватывает диапазон длин волн от 0,7 мкм до 300 мкм.

Ультрафиолетовый и инфракрасный диапазоны излучения имеют особый интерес в области пожарной техники.

### ПРОХОЖДЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ

Солнце излучает огромное количество энергии в широком спектре, но большая ее часть поглощается атмосферой (рис. 2). Весь коротковолновый ультрафиолет в диапазоне длин волн от 0,1 мкм до 0,28 мкм полностью поглощается озоном и водяным паром, так что этот диапазон называют «солнечно-слепым». Работа ультрафиолетового сенсора в этом диапазоне не зависит от УФ-излучения Солнца, сенсор как бы «не видит» Солнце, и УФ приборы, работающие в районе длины волны 0,2 мкм, так же называют «солнечно-слепыми» независимо от области их применения.

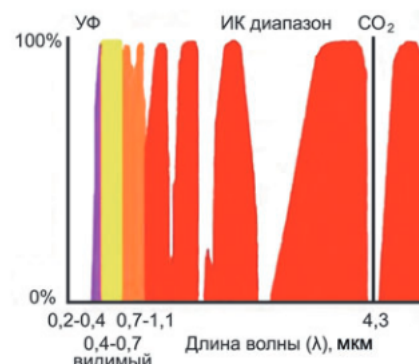
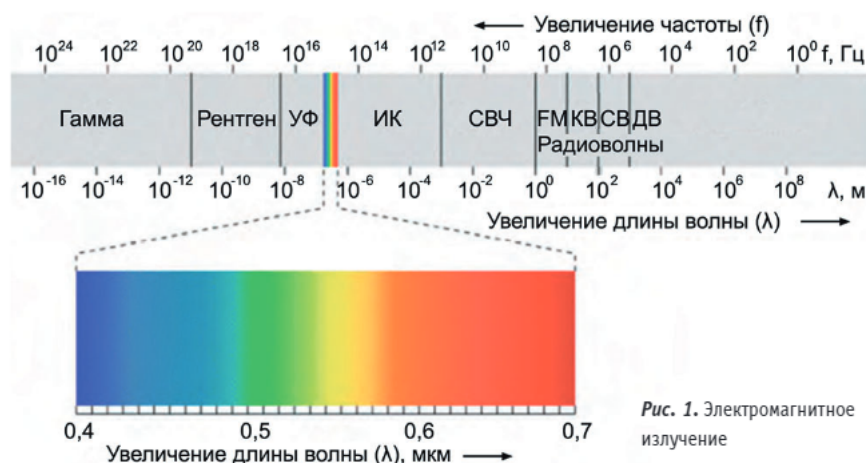
Также максимальное поглощение солнечного излучения в атмосфере происходит в области длины волны 4,3 мкм благодаря присутствию в ней значительного количества углекислого газа  $\text{CO}_2$  (рис. 2). С другой стороны, при нагревании диоксида углерода,

высвобождается энергия в инфракрасном спектре, преимущественно так же на длине волны 4,3 мкм (рис. 3). Это свойство используется в технологии инфракрасного обнаружения пламени. При горении органических материалов выделяется большое количество углекислого газа, нагретого до высокой температуры, и благодаря этому любые очаги с присутствием углеводорода сопровождаются выделением энергии с максимумом на длине волны 4,3 мкм. Теоретически атмосферное поглощение аналогично ослабляет излучение от углеродистого пожара, но на сравнительно небольших расстояниях, на которых работают ИК-извещатели, этот эффект практически не проявляется. Таким образом, длина волны 4,3 мкм является наилучшей исходя из минимального уровня солнечного излучения, достигающего поверхности Земли, и из максимального уровня излучения очагов, содержащих углерод.

Обычно ИК-извещатели имеют в своем составе оптические линзы со встроенным полосовым фильтром на длину волны 4,3 мкм, что делает извещатель ИК нечувствительным к солнечной засветке. Современные технологии с электронной фильтрацией сигналов позволили разработать многоканальные инфракрасные извещатели пламени и обеспечить дальнейшее сокращение ложных тревог при работе в реальных условиях. Необходимо отметить, что некоторые ИК-извещатели настраиваются на длину волны 2,9 мкм, которая соответствует полосе излучения водяного пара  $\text{H}_2\text{O}$ . Это дает возможность обнаруживать очаги, состоящие из не углеводородных материалов.

### ТЕХНОЛОГИИ ОБНАРУЖЕНИЯ

Большинство извещателей пламени являются оптическими, электронными сенсорами, настроенными для обнаружения УФ и/или ИК-излучения, которые находятся за предела-



ми видимого солнечного спектра. Необходимо отметить сходство между УФ и ИК-излучателями по нескольким характеристикам:

- Они являются устройствами, работающими в зоне «прямой видимости». Типичная зона обнаружения сенсора представляется в виде конуса, с углами обзора  $\pm 45^\circ$  относительно оптической оси.
- Излучение передается со скоростью света, следовательно, извещатели пламени являются устройствами для быстрого обнаружения открытых очагов пожара.
- Извещатели настроены на выбранные полосы длин волн излучения. Оптическая система с полосовым фильтром обеспечивает прием излучения извещателем только в выбранной узкой полосе частот.
- Мощность принятого излучения PR пропорциональна площади очага S и обратно пропорциональна расстоянию D до очага в квадрате:

$$PR = S/D^2$$

Таким образом, если чувствительность сенсора обеспечивает обнаружение излучения очага площадью 0,1 м<sup>2</sup> на расстоянии 20 м, то при увеличении расстояния в 2 раза, до 40 м, такой же уровень излучения будет приниматься при увеличении площади очага в 4 раза, до 0,4 м<sup>2</sup>.

На практике большинство извещателей пламени обнаруживают модулированные по уровню излучения сигналы в ограниченном диапазоне частот, обычно от 1 до 20 Гц. Следовательно, зависимость дальности обнаружения от площади очага не будет в точности соответствовать приведенному уравнению.

- Фактическая дальность обнаружения очага зависит от чувствительности извещателя и алгоритмов обработки информации и в широких пределах варьируется в зависимости от использованных производителем технологий.

## ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ИНГИБИТОРЫ

В оценке различий между технологиями обнаружения важно понимать, что не только источники формируют разное излучение, но

также окружающие материалы и среда могут влиять на источник излучения. Знание вероятных ингибиторов важно при проектировании извещателей пламени. Источники излучения и ингибиторы, которые должны учитываться, показаны на рисунке 4.

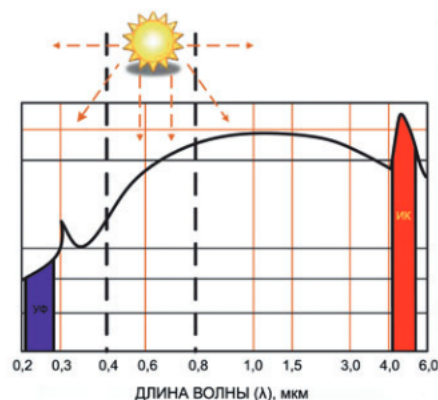
В реальных условиях есть несколько источников и типов излучения, которые определяют работоспособность извещателей пламени:

### Пожары

Пожары являются мощным источником УФ и ИК-излучения. Сгорание углеводородов сопровождается ИК-излучением, достигая максимума на длине волны 2,7 мкм и 4,3 мкм (рис. 4). Длина волны 4,3 мкм соответствует максимуму излучения раскаленного углекислого газа в процессе сжигания углеводородов. При горении водорода и металлов, которые не являются органическими, излучение происходит в ИК-диапазоне на длине волны 2,7 мкм и в УФ-диапазоне на 0,1-0,35 мкм.

### Температура окружающей среды

Уровень ИК-излучения напрямую связан с величиной температуры. Все предметы с температурой выше абсолютного нуля (-273,15° С) излучают энергию в ИК-диапазоне за счет молекулярного движения. Ин-



фракрасное излучение так же называют «тепловым» излучением, поскольку ИК-излучение от нагретых предметов воспринимается человеком как ощущение тепла.

### Излучение «черного тела»

Излучение «черного тела» – это тепловая энергия, которая излучается из-за разности температур между источником и окружающей средой. Солнечная энергия на поверхности земли содержит малую величину ИК-излучения в диапазоне 4,3-4,5 мкм из-за поглощения в атмосфере углекислым газом CO<sub>2</sub>. Тем не менее, солнечные лучи на-

Рис. 4. Источники излучения, ингибиторы, извещатели

### Источники излучения

|                                 | УФ | ИК |
|---------------------------------|----|----|
| 1. Углеводородные очаги         | ●  | ●  |
| 2. Температура окружающей среды | ×  | ●  |
| 3. Излучение черного тела       | ×  | ●  |
| 4. Солнечное излучение          | ●  | ●  |
| 5. Металлические очаги          | ●  | ×  |
| 6. Рентгеновские лучи           | ●  | ×  |
| 7. Дуговая сварка               | ●  | ●  |

### Ингибиторы

|                                       |
|---------------------------------------|
| Лед, излучение черного тела, туман    |
| Поглощение снижает уровень ИК сигнала |
| Лед, смог, масло, дым и туман         |
| Поглощение снижает уровень УФ сигнала |

### Детекторы

|                                           |
|-------------------------------------------|
| Одноканальные ИК детекторы                |
| • снижение чувствительности               |
| • высокий уровень ложных тревог           |
| Мультиканальные и матричные ИК извещатели |
| • микропроцессоры                         |
| • защита от помех                         |
| • увеличение дальности                    |
| FV300, FV400 матричные извещатели         |
| УФ извещатели                             |
| • Снижение чувствительности               |
| • Нет защиты от помех                     |
| FV40 UV                                   |

гревают предметы, вследствие чего возникает излучение, которое называется излучением «черного тела».

#### ■ Солнечное излучение

Солнце излучает энергию во всех диапазонах электромагнитного спектра и является гигантским источником УФ и ИК-излучения (рис. 3).

#### ■ Металлические очаги

Так называемые металлические очаги (пожары класса D – горение металла) генерируют УФ-излучение с незначительным количеством ИК-излучения. Другие не углеводородные очаги также формируют УФ-излучение (табл. 1).

Таблица 1

|         | УФ | ИК  |
|---------|----|-----|
| Водород | Да | Нет |
| Сера    | Да | Нет |
| Магний  | Да | Нет |
| Аммиак  | Да | Нет |

#### ■ Рентгеновское и гамма-излучение

Это быстрые частицы, распространяющиеся со скоростью ниже скорости света. Оба типа излучения обладают способностью проникать в корпус извещателя пламени. В случае УФ-извещателя, это излучение может вызвать функционирование аналогично воздействию УФ-излучения и в некоторых случаях это может привести к ложным тревогам УФ-извещателей.

#### ■ Молния и дуговая сварка

Молния, самый мощный источник ультрафиолетового излучения. Высокий уровень УФ-излучения будет активировать УФ-извещатели и инициировать серию ложных тревог. Для защиты от молний в извещателях, предназначенных для наружного использования, часто вводится задержка срабатывания на 3 секунды или больше. Это приводит, очевидно, к соответствующему увеличению времени отклика извещателя.

Дуговая сварка является наиболее распространенным источником УФ-излучения. Механизм образования дуги связан с образованием электромагнитных помех значительного уровня в широком диапазоне частот, примерно до 20 МГц. В месте сварки температура достигает 3500° С, и нагретый металл образует вторичный источник инфракрасного излучения. ИК-извещатели, хотя более устойчивы к ложным тревогам от сварки, так же могут дать ложные срабатывания, если процесс сварки осуществляется в непосредственной близости от извещателя и если он не имеет специальных средств защиты от воздействия излучения от сварки.

Есть внешние воздействия, способные снижать чувствительность извещателя (рис. 4). Это химические пары и газы, известные как ингибиторы, которые поглощают излучение. Их присутствие в поле зрения извещателя пламени может снизить практически до нуля или значительно уменьшить уровень излучения от очага пожара.

И еще одно важное ограничение – загрязнение окна оптической системы. Масло, туман, снег, дождь, дым будут вызывать затухание сигнала на линии обнаружения устройства.

### УФ ИЗВЕЩАТЕЛИ ПЛАМЕНИ

Извещатели, работающие на принципе обнаружения УФ-излучения, появились на рынке около 30 лет назад. Технология УФ-детектирования развивалась не так активно по сравнению с продвижением технологии обнаружения ИК-излучения в том же периоде времени. Есть серьезные ограничения, связанные с работой извещателей в УФ-диапазоне. Но для некоторых систем обнаружения очагов пожара в ультрафиолетовом спектре является оптимальным.

#### ■ Преимущества

Солнечное ослепление – коротковолновое УФ-излучение Солнца поглощается в атмосфере Земли благодаря наличию озона, соответственно в этой части диапазона могут работать УФ-извещатели пламени.

Высокая температура – главное преимущество УФ-извещателей по сравнению с ИК. Они устойчивы к формированию ложных тревог на объектах с высокой температурой окружающей среды, т.е. с высоким уровнем ИК-излучения. Выпускаются специальные УФ-извещатели пламени, которые могут работать при температуре окружающей среды порядка 110° С.

Очаги горения металла – принципы УФ-детектирования делают их пригодными для обнаружения как углеводородных очагов, так и реже встречающихся очагов с присутствием горения металла.

Высокое быстродействие – эти извещатели могут работать очень быстро, но это значительно увеличивает вероятность ложных тревог. Преимущество в быстродействии может быть реализовано, только если приняты дополнительные меры, чтобы минимизировать внешние помехи и снизить ложные тревоги до приемлемого уровня.

#### ■ Недостатки

Источники ложных тревог – использование методов обнаружения УФ-излучения в извещателях определяет их чувствительность к электрической дуге, к рентгеновским лучам, к молниям и т.д. Хотя можно исключить ложные тревоги от молний и электрических дуг за счет включения дополнительных задержек по времени обработки в извещатели, гораздо сложнее устранить ложные тревоги при наличии участков сварки и источников рентгеновских лучей. Чувствительность извещателя к этим источникам ложных тревог может быть серьезной проблемой.

УФ-ингибиторы – основными ингибиторами распространения УФ-излучения являются:

- масляный туман или пленка;

- дым и в особенности плотный темный дым;
- углеводородные пары;
- снег, водяная пленка или лед.

Большой ток – сенсоры, используемые для обнаружения УФ-излучения, требуют сравнительно высоких токов, что является проблемой при разработке взрывозащищенного оборудования с искробезопасной цепью.

### ОДНОКАНАЛЬНЫЕ ИК ИЗВЕЩАТЕЛИ

#### ■ Принципы обнаружения

Как уже отмечалось ранее, горение углеводородов формирует характерный спектр излучения, который показан на рисунке 3. Два основных максимума присутствуют на длине волны 2,7 мкм (излучение водяного пара H<sub>2</sub>O) и на 4,3 мкм (излучение CO<sub>2</sub>). Безуглеводородные очаги, например, металлические, не выделяют углекислый газ в процессе сгорания. Для обнаружения таких пожаров лучше подходят ИК-извещатели пламени, работающие на длине волны 2,7 мкм.

Эффективность ИК-обнаружения значительно повышается при определении наличия мерцания пламени, которое наблюдается при развитии очагов. Большинство одноканальных извещателей пламени определяет наличие пламени по мерцанию излучения в диапазоне частот от 1 Гц до 20 Гц. Определение мерцания пламени позволяет снизить вероятность ложной тревоги ИК-извещателей пламени в присутствии нагретых предметов – излучения «черного тела». Хотя идентификация мерцания имеет важное значение для инфракрасного извещателя пламени, но этого недостаточно, чтобы полностью исключить ложные тревоги.

#### ■ Преимущества

«Солнечный слепой» – большинство зарубежных одноканальных извещателей инфракрасного диапазона являются «солнечными слепыми» посредством использования таких методов, как запатентованная технология фильтрации ThornSecurity.

Достаточный уровень защиты от помех – ИК-извещатели, как правило, не чувствительны к дуговой сварке и к рентгеновским лучам. В случае наличия в поле зрения излучателя стационарного излучения «черного тела» применяется анализ мерцания, что устраняет ложные срабатывания.

Низкий ток потребления – современные ИК-извещатели характеризуются низким энергопотреблением, что позволяет их включать в 2-проводные шлейфы. ИК-извещатели во взрывобезопасном исполнении с защитой типа «искробезопасная цепь» могут использоваться в зонах класса 0 для защиты опасных зон, связанных с углеводородным топливом.

Стоимость – низкая стоимость одноканальных ИК-извещателей делает их доступными.

## ■ Недостатки

«Солнечная слепота» – одноканальный ИК-извещатель пламени, который не использует специальные методы фильтрации излучения, не является «солнечным слепым». Их можно использовать только в помещениях, где нет ни прямого солнечного света, ни отраженного солнечного света, попадающего на оптическую систему извещателя.

Излучение «черного тела» – чувствительные одноканальные ИК-извещатели могут быть подвержены влиянию модулированного излучения «черного тела» в зоне контроля извещателей, что приводит к возможности генерации ложных тревог. Источником такого излучения может являться включенное оборудование, которое вырабатывает достаточное количество тепла. Обычный принцип работы извещателя пламени определен таким образом, что извещатель реагирует на относительные изменения ИК-излучения, и таким образом не мерцающий источник ИК-излучения может маскировать ИК-источник, который имеет мерцание. Таким образом, возникновение реального очага может быть пропущено в этих условиях.

Ограниченная дальность – из-за потенциального риска ложных срабатываний чувствительность и, следовательно, дальность одноканальных извещателей ИК пламени ограничена.

Тест окна – одноканальные ИК-извещатели пламени обычно не имеют средств для мониторинга чистоты окна и, таким образом, работоспособность извещателя не контролируется между плановым техническим обслуживанием.

## УФ/ИК ИЗВЕЩАТЕЛИ ПЛАМЕНИ

### ■ Принцип обнаружения

Комбинация технологий обнаружения с использованием УФ-канала и ИК-канала может облегчить решение некоторых проблем, но такое сочетание сенсоров имеет определенные ограничения обнаружения. Требуется анализ каждого применения, чтобы было выбрано наилучшее доступное сочетание каналов обнаружения.

### ■ Преимущества

Снижение ложных тревог – использование УФ/ИК-сенсоров позволяет исключить ложные тревоги от одного помехового источника, будь то ИК или УФ-излучение. Чтобы минимизировать этот риск, УФ/ИК-извещатели часто имеют возможность выбора режима работы в зависимости от типа защищаемого объекта.

### ■ Недостатки

Особенности проектирования – применение УФ/ИК-извещателей требует тщательного рассмотрения. При проектировании системы должны быть учтены все источники ложных тревог в УФ и ИК-диапазонах. Необходимо стремиться к тому, чтобы эти отдель-

ные источники не возникали одновременно. Однако на практике обеспечить это может быть достаточно трудно.

Ограничение дальности – дальность обнаружения очага извещателем пламени УФ/ИК в режиме совпадения определяется по каналу с наименьшей дальностью. Кроме того, необходимо уделять внимание влиянию любых ингибиторов, которые могут препятствовать распространению излучения, в частности, в УФ-диапазоне длин волн. А выбранный диапазон работы извещателя пламени будет иметь значительное влияние на количество извещателей, необходимых для обеспечения адекватного покрытия контролируемой площади.

Высокая стоимость – извещатели пламени УФ/ИК содержат два различных сенсора с различными технологиями и, очевидно, будут дороже однодиапазонных извещателей.

## ДВУХКАНАЛЬНЫЕ ИК-ИЗВЕЩАТЕЛИ ПЛАМЕНИ

### ■ Принципы обнаружения

Одноканальные ИК-извещатели пламени обрабатывают принятый сигнал, чтобы определить наличие мерцания. В основном мерцание наблюдается при горении органических и углеводородных очагов, которые имеют свободный приток кислорода. Если мерцание вызвано чем-то другим, а не реальным источником пожара, то одноканальный извещатель ИК может дать ложное срабатывание. Чтобы преодолеть эту проблему, были разработаны двухканальные ИК-извещатели с дополнительным ИК-сенсором, на длине волны которого измеряется уровень фона ИК-излучения в поле зрения извещателя. Сенсор второго ИК-канала работает на другой длине волны и не реагирует на излучение в диапазоне максимума спектра CO<sub>2</sub>. Сигналы от двух ИК-сенсоров обрабатываются по алгоритмам с использованием технологии сигнальных процессоров, и извещатель формирует достоверные сигналы тревоги. В этих извещателях выполняются следующие операции:

- определение отношения уровня фона в опорном канале к уровню в диапазоне излучения CO<sub>2</sub>;
- корреляция между сенсорами;
- относительная амплитуда принимаемого сигнала каждого канала;
- частота мерцания каждого канала извещателя.

### ■ Преимущества

Низкий уровень ложных тревог – двухканальный ИК-извещатель пламени формирует меньше ложных тревог, чем любой одноканальный извещатель УФ или ИК-диапазона. Двухканальные ИК-извещатели пламени, как правило, имеют иммунитет к дуговой сварке и рентгеновским лучам. Они «солнечно слепые» и используют анализ мерцания для уменьшения ложных тревог от источников «черного тела».

Дальность обнаружения – повышенная устойчивость двухканальных извещателей ИК пламени к ложным тревогам от помеховых источников позволяет установить более высокую чувствительность и, следовательно, обеспечить большую дальность обнаружения, чем у одноканального ИК-извещателя.

Низкое энергопотребление – двухканальные ИК-извещатели пламени, как правило, имеют меньшее токопотребление в сравнении с извещателями УФ-диапазона. Это снижает затраты на установку и определяет возможность выпуска искробезопасных 2-проводных модификаций.

### ■ Недостатки

Потеря чувствительности (в некоторых случаях) – поскольку двухканальный ИК-извещатель работает по совмещенному сигналу, полученному от опорного канала от фоновых сигналов, возможна потеря чувствительности извещателя на объектах, где присутствует высокий фоновый инфракрасный сигнал. К потере чувствительности приводят:

- Трудности для извещателя в определении различий между горячим фоновым ИК-источником и относительно холодным источником фона из-за выбора длины волны для второго опорного канала извещателя.
- Мощный ИК-источник излучения в виде большого нагретого тела, который не мерцает, может маскировать меньший мерцающий источник. Существует вероятность того, что реальный очаг может быть не обнаружен в этих условиях.
- Металлические и неорганические очаги – двухканальные ИК-извещатели пламени не обнаруживают металлические и неорганические очаги пожаров.
- Высокая температура – как и другие ИК-извещатели, двухканальные ИК-извещатели пламени не подходят для работы в условиях высоких температур (в отличие от УФ). Максимальные рабочие температуры ИК-извещателей 70-80° С.

*Во второй части статьи будут рассмотрены принципы построения современных извещателей пламени, в том числе 3-канальных ИК-извещателей, с использованием видеоизображения и технологий ИК-изображений. Будут даны примеры использования извещателей пламени в приложениях хранения и транспортировки топлива, производственных участков и др.*

*Продолжение следует.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Flame Detection. Application Guide. Issue 2. Tyco Fire Protection Products.
2. Неплохов И., Куликов Н. Извещатели пожарные пламени //Алгоритм безопасности. 2010. № 1.
3. ГОСТ Р 53325-2012 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики».