

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ДАТЧИКА ДЛЯ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАГОРАНИЙ

*Предложена методика определения эффективности обнаружения загораний с помощью телевизионного датчика на основе оценки среднеквадратического отклонения координат локального максимума относительно невозмущенного состояния и последующем вычислении вероятности обнаружения источника. Проведено обоснование рациональной структуры построения датчика с точки зрения определения оптимального и допустимого пространственного разнесения приемной и передающей апертур*

**Г.Н. Доля**

Доктор технических наук, профессор\*  
Контактный тел.: (0572) 67-31-44  
E-mail: dolya@onet.com.ua

**А.В. Кочин**

Кандидат технических наук  
Метрологический центр военных эталонов Вооруженных Сил  
Украины  
ул. Полтавский шлях, 195, Харьков, Украина, 61034  
Контактный тел.: (057) 731-97-70  
E-mail: akochin@ukr.net

**Е.С. Чудовская**

Аспирант\*  
Контактный тел.: (057) 775-12-34  
E-mail: chudovskaya@gmail.com

\*Кафедра теоретической и прикладной системотехники  
Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина  
пл. Свободы, 6, г. Харьков, Украина, 61077

## Введение

Раннее обнаружение источников тления и загорания имеет большое практическое значение, т.к. может предупреждать серьезный материальный ущерб. Для решения этой задачи разработан целый ряд датчиков, основанных на использовании различных физических принципов /1/. Наряду с другими интенсивно разрабатываются также и датчики, основанные на анализе параметров лазерного излучения, прошедшего через трассу, подлежащую контролю. Тепловые возмущения, обусловленные очагами возгорания, приводят к появлению турбулентных потоков, которые в свою очередь вызывают флуктуации показателя преломле-

ния воздуха. При распространении лазерного излучения через турбулентную трассу возникает целый ряд физических явлений, которые могут быть положены в основу построения датчиков. Так, в /1/ описан принцип построения такого типа датчиков, на основе анализа флуктуаций уровня (логарифма амплитуды) лазерного луча, прошедшего через турбулентную трассу. Здесь также получены соотношения, позволяющие оценить вероятность обнаружения источника загораний на основе анализа статистических характеристик измеряемого параметра.

Этот подход, основанный на анализе флуктуаций интенсивности в лазерном луче, был развит в /2/, где было предложено усовершенствовать схему измерите-

ля таким образом, чтобы приемник и передатчик можно было устанавливать на одном конце исследуемой трассы. На другом её конце устанавливалось световозвращающее покрытие (СВП), содержащее большое количество ретрорефлекторов (микростеклошариков или микропризм). В этом случае обеспечивалось оптимальное использование динамического диапазона фотоприемника, а также существенно упрощалась настройка оптической схемы.

Следующий шаг в совершенствовании такого типа датчиков с использованием СВП был сделан в [3,4], где в отличие от предыдущей схемы предлагалось анализировать не флуктуации интенсивности отраженного лазерного излучения с помощью одноканального приемника, а измерять угловые флуктуации локального максимума в отраженном от СВП лазерном излучении. Здесь была описана конструкция нового типа датчика с ПЗС матрицей в качестве приемного элемента и экспериментально показана связь между степенью турбулентных возмущений на трассе распространения луча и величиной угловых флуктуаций локального максимума в отраженном излучении. Однако в отличие от указанных выше работ, где в качестве критерия эффективности использовалась вероятность обнаружения источника загораний, до сих пор не была предложена методика оценки эффективности работы телевизионного датчика. Решению этой задачи и посвящена данная работа.

### Основная часть

Принцип действия рассматриваемого датчика турбулентных возмущений для выявления очагов загораний основан на анализе пространственного распределения лазерного излучения, отраженного от СВП в плоскости приема-передачи. Внешний вид датчика представлен на рис.1, а схема экспериментальной установки – на рис.2. Датчик содержит полупроводниковый лазер 1 в качестве источника подсвета, коллимирующую систему 2, формирующую зондирующий луч, световозвращающее покрытие 3, удаленное на расстояние  $L=5\text{м}$  от приемопередающей плоскости, приемной формирующей оптики 4, проектирующей фрагмент пространственного распределения отраженного от СВП лазерного излучения на чувствительную поверхность телевизионного приемника на основе ПЗС матрицы. Данное распределение (рис.4) затем оцифровывалось и анализировалось в компьютере 5.



Рисунок 1

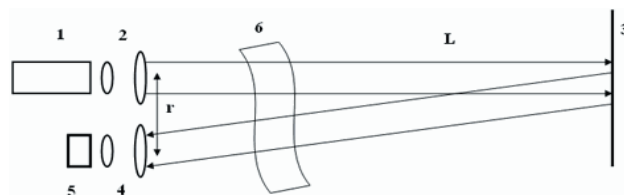


Рисунок 2

С помощью специального алгоритма осуществлялось измерение распределения интенсивности в принимаемом фрагменте, и вычислялись координаты произвольного локального максимума по пространственным координатам  $X$  и  $Y$ . При отсутствии турбулентных искажений координаты локального максимума не менялись, однако при внесении турбулентных возмущений воздуха, создаваемых путем его нагрева с помощью теплового источника 6, произвольный локальный максимум хаотически перемещался в пространстве, что в реальном масштабе времени фиксировалось с помощью датчика. На рис.4 представлена характерная траектория движения максимума в плоскости приема при наличии на трассе турбулентных потоков воздуха.

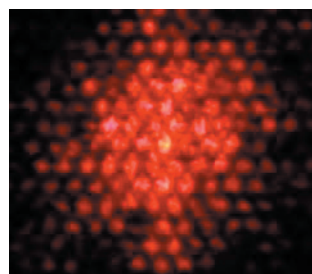


Рисунок 3



Рисунок 4

Такой характер поведения локального максимума на чувствительной площадке ПЗС – матрицы обусловлен флуктуациями угла прихода луча при его прохождении через случайно – неоднородную среду. Случайные отклонения относительно невозмущенного положения имеют нормальный закон распределения, а дисперсия флуктуаций для сколлимированного луча зависит от параметров турбулентной трассы следующим образом [5]:

$$\sigma_{\alpha,\beta}^2 = 3,28C_n^2LL_0^{-1/3},$$

где  $C_n^2$  – структурная постоянная флуктуаций показателя преломления, характеризующая степень

турбулентности,  $L$  – длина трассы,  $L_0$  – внешний масштаб турбулентности,  $\alpha, \beta$  – угловые отклонения в приемопередающей плоскости по координатам  $X$  и  $Y$ . При этом, как показано в [6], эта величина удваивается при зеркальном отражении зондирующего луча и двукратном прохождении турбулентной трассы.

При выборе критерия эффективности работы такого типа датчика можно использовать подход, описанный в [1]. Очевидно, что случайная величина линейного отклонения локального максимума относительно невозмущенного положения в плоскости приема пропорциональна его угловым отклонениям и также распределена по нормальному закону. Поэтому мерой турбулентных возмущений, определяемых отсутствием или наличием источника загораний различной степени мощности является величина дисперсии линейных отклонений координат локального максимума  $\sigma_{x,y}^2$ . Случайная величина отклонений как по координате  $X$  так и по  $Y$ , распределена по нормальному закону, а значит вероятность её превышения некоторого порогового значения  $a_n$ , может быть оценена с помощью следующего соотношения

$$P_{обн} = 1 - P(|x| < a_n) .$$

В соответствии с известными свойствами нормального распределения [7], последнее соотношение может быть приведено к виду

$$P_{обн} = 1 - 2\Phi\left(\frac{0_n}{\sigma_{x,y}}\right) ,$$

где  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  – функция Лапласа (интеграл вероятности).

Таким образом, для того, чтобы определить вероятность обнаружения источника загораний с помощью телевизионного датчика, необходимо осуществлять измерение в реальном масштабе времени величину СКО локального максимума, например, по координате  $X$  и сравнивать эту величину с выбранным значением порога  $a_n$ . В случае превышения полученного значения СКО над пороговым значением следует принять решение о наличии источника загораний на трассе с вероятностью  $P_{обн}$ .

Данный подход к оценке эффективности работы датчика можно проиллюстрировать с помощью результатов экспериментальных исследований, направленных на определение некоторых конструктивных особенностей построения датчика. Одной из таких особенностей является величина  $r$  допустимого пространственного разнесения центров приемной и передающей апертур (рис.2). С целью определения этого рассогласования была проведена серия измерений среднеквадратичного отклонения положения локального максимума в горизонтальной плоскости  $\sigma_x$ . Минимальное расстояние  $r$  определялось конструктивными особенностями схемы и составляло величину 4см. Тепловой источник устанавливался на расстоянии 1,5м от приемопередающей плоскости, длина трассы составляла 5м. Использовался коллимированный пучок диаметром 4см. Значения координат локального максимума оцифровывались и измерялись в пикселях экрана по координате  $X$ . Затем приемная апертура смещалась в плоскости приема на 5см, вновь осуществлялась серия измерений координат локального максимума, и вновь вычислялось его СКО от невозмущенного положения.

Результаты измерений представлены графиком на рисунке 5. Здесь по оси абсцисс отложены значения расстояния между центрами приемной и передающей апертур, а по оси ординат – измеренные в пикселях значения  $\sigma_x$ . Из графика следует, что значения СКО плавно возрастают от величины 20 пикселей при значении расстояния  $r$ , равного 4см, до 38 пикселей при значении  $r$ , равного 24см. Затем наблюдался резкий спад измеряемых значений до 5 пикселей при величине расстояния между осями апертур 34см. Такое существенное снижение значений СКО обусловлено, по-видимому, значительным снижением мощности полезного сигнала вследствие того, что приемная апертура в этом случае выходила за пределы диаграммы рассеяния лазерного излучения на СВП.

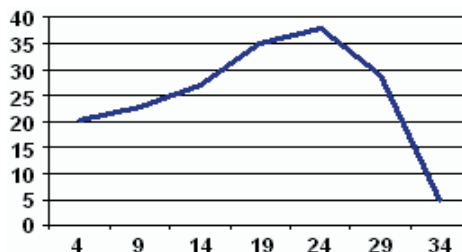


Рисунок 5

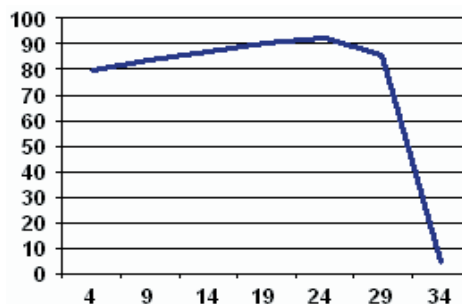


Рисунок 6

Получив измеренные значения  $\sigma_x$  в соответствии с описанной выше методикой можно рассчитать вероятность обнаружения использованного в условиях экспериментальных исследований теплового источника на трассе распространения луча. Результаты расчетов представлены на рис. 6, где по оси абсцисс отложены значения  $r$ , а по оси ординат – оценка вероятности обнаружения теплового источника в соответствующем варианте исполнения датчика. При этом в качестве порогового значения выбиралось значение 5 пикселей. Из приведенного графика следует, что вероятность обнаружения теплового источника изменяется в пределах от 0,8 до 0,9 при значениях  $r$  от 4см до 29см, а уже при  $r$ , равном 34см вероятность обнаружения уменьшается до величины 0,32.

На основе предложенной методики из полученного графика можно сделать важный практический вывод о том, что для конкретного случая расположения теплового источника на трассе распространения лучей существует оптимальное расстояние между приемной и передающей апертурой, когда вероятность обнаружения достигает своего максимального значения. Кроме того, можно определить также предельное расстояние между приемной и передающей апертурами, за пределами которого датчик теряет свою чувствительность.

### Выводы

Предложена методика оценки эффективности работы телевизионного датчика для обнаружения источников загорания на основе оценки среднеквадратического отклонения координат локального максимума относительно невозмущенного состояния и последующем вычислении вероятности обнаружения источника. Эффективность данной методики проиллюстрирована на примере обоснования рациональной структуры построения датчика с точки зрения определения оптимального и допустимого пространственного разнесения приемной и передающей апертур. Данная методика может быть использована также для обоснования иных технических параметров датчика, таких как степень коллимации зондирующего излучения, размеры приемной и передающей апертур, допустимые углы падения зондирующего лазерного излучения на СВП и др.

### Литература

1. Шаровар Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний. – М.: Стройиздат, 1988.
2. Доля Г.Н., Живчук В.Л., Катунин А.М., Садовий К.В., Вовк А.И. О величине дисперсии флуктуаций параме-

тров лазерного излучения при обнаружении источников тления и загорания. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2007. – вып. 4/3(28) – с.17-20.

3. Доля Г.Н., Чудовская Е.С. Об угловых флуктуациях рассеянного на световозвращающем покрытии лазерного излучения в условиях турбулентной атмосферы // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2008. – вып. 4/3(34) – с.4-7.
4. Доля Г.Н., Чудовская Е.С. Телевизионный датчик для оценки состояния турбулентной атмосферы с использованием световозвращающих покрытий. // Труды 3-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», 2008, Т.2 с.480-483, Харьков, Украина.
5. Гудмен Дж. Статистическая оптика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 528с.
6. Кравцов Ю.А., Саичев А.И. Эффекты двукратного прохождения волн в случайно-неоднородных средах // Успехи физических наук – 1982. – Том 137, вып. 3 – с.502-527.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) – М.: Наука, 1974. – 832с.

УДК 537.24+621.384.5

## ИСТОЧНИК ЛЕНТОЧНОГО ПУЧКА ИОНОВ

**В. А. Никитинский**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра общей физики и технической механики\*

**Б. И. Журавлев**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра общей физики и технической механики\*

**А. В. Мищенко**

Студент  
Инженерно-экономический факультет\*  
Контактный тел.: 7-22-14, 8-050-572-98-44

\*Институт химических технологий Восточноукраинского национального университета им. В.Даля, ИХТ ВНУ ул. Ленина, 31, г.Рубежное Луганской обл., Украина, 93009

*Приведено описание конструкции и принципа действия источника ленточного пучка ионов различных газов, включая активные. Генерация ионов осуществляется плазменно-пучковым разрядом с холодным катодом, контрагированным прямоугольной щелью с магнитным полем в ней. Источник ионов предназначен для технологических установок с ионнолучевой обработкой материалов в вакууме, применяемых в машиностроении, микроэлектронике и других отраслях промышленности*

Для технологических процессов на базе ионнолучевой обработки материалов в вакууме (в частности, очистки подложек перед нанесением на них покрытий), когда обрабатываемые изделия больших раз-

меров (100 мм и более) последовательно поступают под пучок ионов, требуются пучки прямоугольного сечения (ленточные пучки) с равномерным распределением плотности тока ионов по сечению пучка.