

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КОНТРАСТА В ИЗОБРАЖЕНИИ ДВУХ ИК- СВЕТОДИОДОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

А.А. Пинус, С.П. Пронин

Статья посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям изменения контраста в изображении двух ИК-светодиодов при изменении концентрации дисперсных частиц. Представленные в работе расчеты опираются на детерминированную модель свертки двух функций и гипотезу о возможности аппроксимации изображения двух светодиодов функцией прямоугольного импульса с определенным коэффициентом заполнения. Сравнение теории и эксперимента осуществляли с помощью разработанной экспериментальной установки. Результаты подтвердили адекватность математической модели, позволили определить зависимость контраста от выбранного сечения, а также зафиксировать влияние выбранного сечения на чувствительность системы.

Ключевые слова: контраст, концентрация дисперсных частиц, мониторинг атмосферного воздуха, оптический сигнал, коэффициент заполнения.

ВВЕДЕНИЕ

Создание системы, способной осуществлять мониторинг концентрации дисперсных частиц в локальной области, является одной из важнейших задач экологии. Функциональность такой системы с экспериментальной точки зрения представлена в работе [1]. В ходе исследования было выявлено, что полученные изображения 2-х светодиодов представляют собой два пересекающихся круга. Изображение 2-х светодиодов, полученное в ходе эксперимента, представлено на рисунке 1.

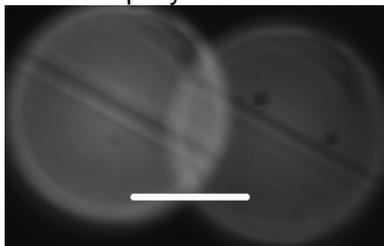


Рисунок 1 – Изображение светодиодов с выделенным сечением для исследования изменения контраста

Экспериментальные результаты позволили разработать математическую модель для исследования изменения контраста в изображении двух ИК-светодиодов [2]. Центральным элементом данной математической модели является предположение о том, что используемые

светодиоды могут быть представлены в виде 2-х пересекающихся гауссоид. Свертка этих гауссоид с функцией среды моделирует процесс изменения контраста. Однако анализ оптического сигнала в выделенном сечении, представленном на рисунке 2, позволил выдвинуть новое предположение. Очевидно, что изменение сигнала в сечении правильнее аппроксимировать функцией прямоугольного импульса с определенным коэффициентом заполнения, чем гауссоидой.

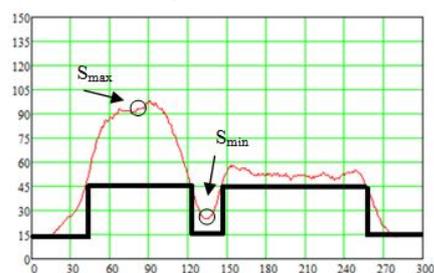


Рисунок 2 – Изменение оптического сигнала в выделенном сечении

За основу разрабатываемой математической модели принята детерминированная модель свертки двух функций [3]. Два импульса одинакового размера «а», центры которых расположены на расстоянии «А» друг от друга, можно записать как свертку функций одного прямоугольного импульса $f(x)_i$ с суммой двух дельта функций:

$$f_1(x) = f(x)_u * \left[\delta\left(x + \frac{A}{2}\right) + \delta\left(x - \frac{A}{2}\right) \right], \quad (1)$$

где знак (*) означает операцию свертки; $f(x)_u$ – функция одиночного прямоугольного импульса, имеющая следующий вид:

$$f(x)_u = \text{rect}\left(\frac{x}{a}\right). \quad (2)$$

Известно, что световой поток рассеивается и поглощается средой. В качестве модели среды часто используют функцию Гаусса [3]:

$$f_2(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{cp}^2}}, \quad (3)$$

где x – пространственная координата, перпендикулярная оптической оси; σ_{cp} – радиус кружка рассеяния среды по уровню 0,606.

Рассеяние светового потока стеклом экспериментальной установки выразим через функцию Гаусса с параметром σ_0 :

$$f_3(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma_0^2}}, \quad (4)$$

где σ_0 – радиус кружка рассеяния световых потоков от фотодиодов стеклом экспериментальной установки.

В результате выходной сигнал $S(x)$ будет выглядеть следующим образом:

$$S(x) = \text{rect}\left(\frac{x}{a}\right) * N * e^{-\frac{x^2}{2\sigma_0^2}} * e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{cp}^2}}, \quad (5)$$

где N :

$$\left[\delta\left(x + \frac{A}{2}\right) + \delta\left(x - \frac{A}{2}\right) \right]. \quad (6)$$

Преобразование свертки дает результат:

$$S(x) = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \{L_1 + L_2\}, \quad (7)$$

где L_1 :

$$\text{erf}\left[\frac{x + \frac{A+a}{2}}{(\sigma_{cp} + \sigma_0)\sqrt{2}}\right] - \text{erf}\left[\frac{x + \frac{A-a}{2}}{(\sigma_{cp} + \sigma_0)\sqrt{2}}\right]; \quad (8)$$

L_2 :

$$\text{erf}\left[\frac{x - \frac{A-a}{2}}{(\sigma_{cp} + \sigma_0)\sqrt{2}}\right] - \text{erf}\left[\frac{x - \frac{A+a}{2}}{(\sigma_{cp} + \sigma_0)\sqrt{2}}\right]. \quad (9)$$

Очевидно, что радиус кружка рассеяния среды σ_{cp} содержит в себе параметры, отвечающие за объем дыма V и расстояние от источника до приёмника L :

$$\sigma_{cp} = kV_{дым}L, \quad (10)$$

где k – коэффициент пропорциональности, с размерностью $1/\text{см}^4$; $V_{дым}$ – объем дыма, с размерностью см^3 ; L – расстояние между светодиодами и видеокамерой, с размерностью см .

В результате формула (7) примет следующий вид:

$$S(x) = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \{M_1 + M_2\}, \quad (11)$$

где M_1 :

$$\text{erf}\left[\frac{x + \frac{A+a}{2}}{(kV_{дым}L + \sigma_0)\sqrt{2}}\right] - \text{erf}\left[\frac{x + \frac{A-a}{2}}{(kV_{дым}L + \sigma_0)\sqrt{2}}\right]; \quad (12)$$

M_2 :

$$\text{erf}\left[\frac{x - \frac{A-a}{2}}{(kV_{дым}L + \sigma_0)\sqrt{2}}\right] - \text{erf}\left[\frac{x - \frac{A+a}{2}}{(kV_{дым}L + \sigma_0)\sqrt{2}}\right]. \quad (13)$$

Расчет контраста $K(x)$ осуществляли по следующей формуле:

$$K(x) = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\max} + S_{\min}}, \quad (14)$$

где S_{\max} , S_{\min} – максимальное и минимальное значения сигналов в исследуемом изображении.

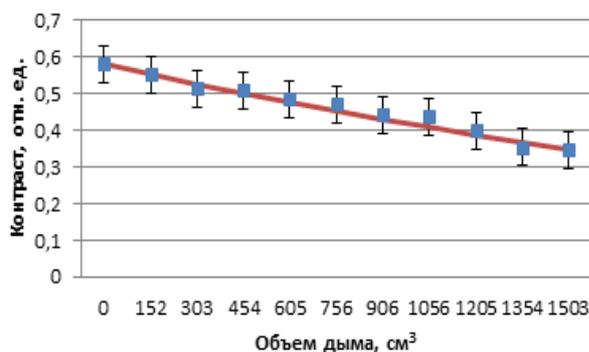
С помощью экспериментальной установки, состоящей из видеокамеры «Видеоскан 205-2001», трех вентиляторов, 2-х светодиодов, генератора дыма, стеклянной камеры и компьютера, были проведены экспериментальные исследования. Генератор дыма способен одновременно закачать фиксированный объем $V = 30,41 \pm 1,52 \text{ см}^3$. Общий объем стеклянной камеры составляет $49,59 \pm 103 \text{ см}^3$. Изображение светодиодов фиксировали через каждые пять процедур закачивания дыма, то есть через каждые $152 \pm 7,5 \text{ см}^3$. Поскольку камера не является идеально герметичной, то при закачивании объема $V = 152 \text{ см}^3$ такое же количество воздуха выходит из камеры через резиновые прокладки, что составляет приблизительно 0,25 % от объема всей камеры. Поэтому в общей погрешности учитывали и эту постоянную составляющую. Увеличение объема дыма внутри камеры приводило к

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КОНТРАСТА В ИЗОБРАЖЕНИИ ДВУХ ИК-СВЕТОДИОДОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

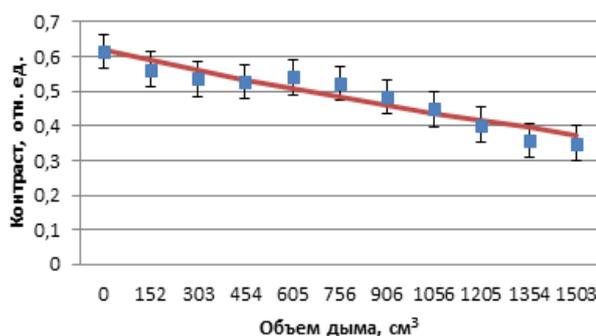
уменьшению контраста в изображении светодиодов [2].

Проведенные экспериментальные исследования позволили получить изображения, на каждом из которых было выделено два сечения. Первое сечение представлено прямоугольным импульсом с коэффициентом заполнения 0,69, второе сечение – с коэффициентом заполнения,

равным 0,67. Значение «А» принято за единицу. Минимальное значение сигнала рассчитывали по формуле (8) при значении $x = 0$, а максимальное – при значении $x = A/2$. В результате расчетов получены два графика. Теоретические графики представлены сплошной линией на рисунке 3. Экспериментальные значения контраста изображены точками с доверительными интервалами.



а



б

Рисунок 3 – Экспериментальные значения контраста (точки с доверительными интервалами) и теоретический график изменения контраста (сплошная линия) в зависимости от концентрации дисперсных частиц: а – первое сечение; б – второе сечение

ВЫВОД

Из сравнения теоретических и экспериментальных результатов можно сказать, что математическая модель адекватно отражает реальный процесс. Значение контраста зависит от выбранного сечения, поэтому произвольный выбор этого сечения ведет к возрастанию погрешности измерения контраста от величины объема дыма. Наибольшая чувствительность, как показывает теория, достигается в случае наибольшего коэффициента заполнения. Однако с возрастанием коэффициента заполнения увеличивается разброс экспериментальных значений (рисунок 3,б), что характеризует повышение неопределённости в измерениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пинус А. А., Пронин С. П., Кононова Е. С. Исследование зависимости изменений контраста в изображении двух ИК-светодиодов при

прохождении инфракрасного излучения через мелко- и крупнодисперсный дым [Текст] // Экологические системы и приборы. – 2014. – №9. – С. 9-14.

2. Пинус А. А., Пронин С. П. Разработка математической модели для исследования изменения контраста в изображении двух ИК-светодиодов в зависимости от объема дыма [Текст] // Ползуновский Альманах. – 2014. – №1. – С. 60-62

3. Василенко, Г. И., Тараторин, А. М. Восстановление изображений. – М.: Радио и связь, 1986. – 306 с.

Пронин Сергей Петрович – д.т.н., профессор, зав. каф. ИТ, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел. (3852)29-07-96. E-mail: sppronin@mail.ru.

Пинус Анатолий Андреевич – аспирант, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел. 8-(983)-392-80-00. E-mail: pkhell@yandex.ru.