

## УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЙЯНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЫМОМ

канд. физ.-мат. наук, доцент А.А. Антошин, студент гр. 113011  
Ф.В. Пантелеев

Белорусский национальный технический университет

Обнаружение возгорания по образовавшемуся дыму нашло широкое применение в средствах пожарной сигнализации. Такими средствами обнаружения являются оптические дымовые пожарные извещатели, использующие эффект рассеяния оптического излучения на частицах дыма.

Исследование свойств рассеянного дымом оптического излучения проводилось рядом авторов [1 – 4]. В работе [1] исследовалось дифференциально-массовое сечение рассеивания различных дымовых аэрозолей, возникающих в результате пламенного горения и тления, а также нестандартизированных аэрозолей (например, пыль). В исследованиях использовалось линейно поляризованное излучение He-Ne лазера с длиной волны 632,8 нм. Угловое распределение интенсивности излучения измерялось в интервале углов от 5 до 135°. Авторами установлено, что аэрозоль, образованный при горении материалов с образованием сажи, имеет светорассеивающие характеристики, резко отличающиеся от характеристик остальных аэрозолей. Установлено, что ситуации горения или тления с образованием дыма с большим (например, буковое дерево, масло) и малым (например, хлопковый фитиль, тосты) размером частиц могут быть разделены, путём рассеяния оптического излучения в прямом и обратном направлении. Однако, используя эти характеристики, нельзя отличить дым, образованный в результате тления, от нестандартизированных аэрозолей.

Вышеприведенные исследования проводились для конструктивно выделенного объёма аэрозоля (цилиндрическая колба), имеющего постоянные концентрацию и размер частиц. Исследования рассеяния оптического излучения аэрозолем в области, образованной в результате пересечения диаграммы направленности источника с углом зрения приемника, не проводилось, но для разработки эффективных оптических извещателей именно эти характеристики имеют большое значение.

В литературе сообщается о двух способах измерения рассеянного излучения элементарным объёмом [5]. Один основан на фотометрировании постоянного объёма, другой – переменного. В первом случае рассеивающий объём конструктивно выделяется и регистрирующее устройство, вращаясь вокруг визируемого элементарного объёма, регистрирует свет, рассеянный им в разные стороны – локальный способ измерения индикатрисы рассеяния. Во втором случае фотометрируемая область образуется пересечением угла зрения приемника с диаграммой направленности излучателя – пространственный метод. При повороте приемника относительно источника размеры фотометрируемой области изменяются, следовательно, пропорционально изменению объёма изменяется количество принятого излучения.

Введение в результаты эксперимента поправки на размер фотометрируемой области делает корректным сравнение результатов по рассеянию оптического излучения, полученных для различных положений приемника излучения относительно источника и значения их аппертурных углов. Это позволяет определить вклад излучения, рассеянного под тем или иным углом, в формирование сигнала фотоприемника дымового извещателя и учесть изменение этого сигнала за счет изменения объёма.

Целью работы является разработка методики и установки для изучения свойств оптического излучения, рассеянного дымом, в условиях, максимально приближенных к условиям в дымовой камере оптико-электронных дымовых пожарных извещателей.

В конструкции дымовой камеры извещателя фотометрируемая область образуется в результате пересечения угла зрения фотоприемника и диаграммы направленности светодиода. Фотометрируемая область может изменяться введением дополнительных перегородок и диафрагм в конструкцию дымовой камеры.

В работе изучалось угловое распределение интенсивности рассеянного дымом оптического излучения в условиях, максимально приближенных к условиям в дымовой камере оптических дымовых пожарных извещателей; в результаты измерений вводилась корректировка на изменение фотометрируемого объёма.

Исследования проводились в камере, которая имеет вид куба со стороной 0,5 м, внутри камера выкрашена в черный цвет для уменьшения отраженного от стенок излучения. При помощи вентиляторов в камеру поступает и откачивается аэрозоль, образованный при тлении образца. Регулируя скорость подачи и откачки аэ-

розолья, можно изменять концентрацию дыма в камере. Для устранения явления «старения дыма», т.е. слипания частиц и образования крупных скоплений, осуществлялась постоянная циркуляция аэрозольной смеси в камере.

Измерение рассеянного дымом излучения выполнялось на установке, показанной на рис.1. Установка состояла из неподвижного излучателя 1, приемника 2, вращающегося по радиусу относительно точки пересечения оптических осей источника и приемника. Вращение осуществляется поворотом платформы 3 на угол  $\gamma$ .

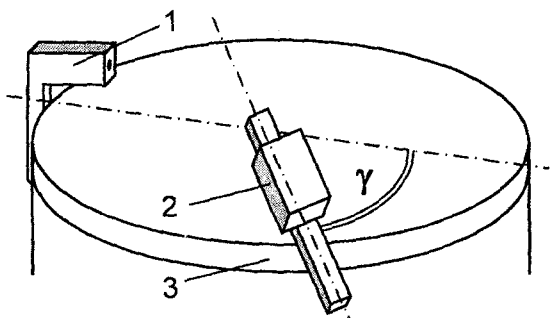


Рис.1. Установка для исследования рассеянного дымом излучения

В качестве источника излучения использовался красный светодиод фирмы Нlеск марки 503RCH-B23 с длиной волны 630 нм. Регистрация излучения производилась при помощи фотодиода ФД-256. Светодиод питался от генератора ГЗ-112 током 20 мА частотой 1800 Гц. Измерение сигнала фотоприемника производилось при помощи селективного микровольтметра В6-9.

Дым генерировался в результате тления образца на электроплитке с максимальной температурой 800 °С. Измерения плотности дыма в камере выполнялись при 0,2 дБ, что является предельным уровнем срабатывания извещателя при испытаниях на работоспособность.

Плотность дыма  $m$  в камере, определялась при помощи прибора для измерения экстинкции по уменьшению интенсивности принимаемого излучения и рассчитывается по формуле

$$m = 0,1 \cdot d \cdot \lg\left(\frac{P}{P_0}\right),$$

где  $d$  – расстояние между источником и приемником излучения;  
 $P$  – показания прибора при нахождении аэрозоля в камере;  
 $P_0$  – показания прибора при чистой камере.

На рис.2 представлено сечение  $ABCD$  фотометрируемого объема в плоскости пересечения оптических осей излучателя и приемника.

Площадь сечения равна двойному интегралу от произведения диаметров светового луча источника и фотометрируемой области приемника, которые изменяются следующим образом:

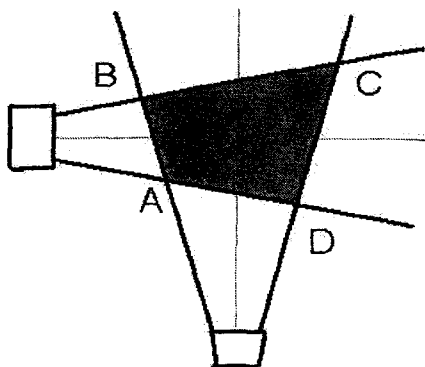


Рис.2. Сечение фотометрируемого объема

$$D(r, \beta) = D_0 + 2 \cdot r \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right),$$

где  $D_0$  – начальный диаметр пучка у источника;  $r$  – расстояние от источника;  $\beta$  – угол расхождения светового пучка.

Дополнительное интегрирование по третьей координате, перпендикулярной плоскости пересечения оптических осей источника и приемника, даст объем фотометрируемой области:

$$V_{\text{Фиг}}(\gamma) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} D(r_{\Phi} + D_C, \gamma_{\Phi}) D(r_c + D_{\Phi}, \gamma_c) \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} D_C \times \\ \times \cos(\alpha) \cdot \frac{D_{\Phi}}{\sin(\gamma)} \cdot \cos(\alpha) \cdot dD_C dD_{\Phi} d\alpha.$$

Из приведенного выражения видно, что при перемещении фотоприемника по радиусу относительно центра фотометрируемой области её объем изменяется обратно пропорционально синусу угла между оптическими осями источника и приемника. Полученные результаты расчета представлены на рис.3.

Экспериментальные измерения выполнялись в диапазоне углов от 60 до 120°. Значения светового потока определялись через каждые 5°. Продолжительность цикла измерения составляла 2 мин, что необходимо для уменьшения влияния изменения параметров аэрозоля в течение измерения.

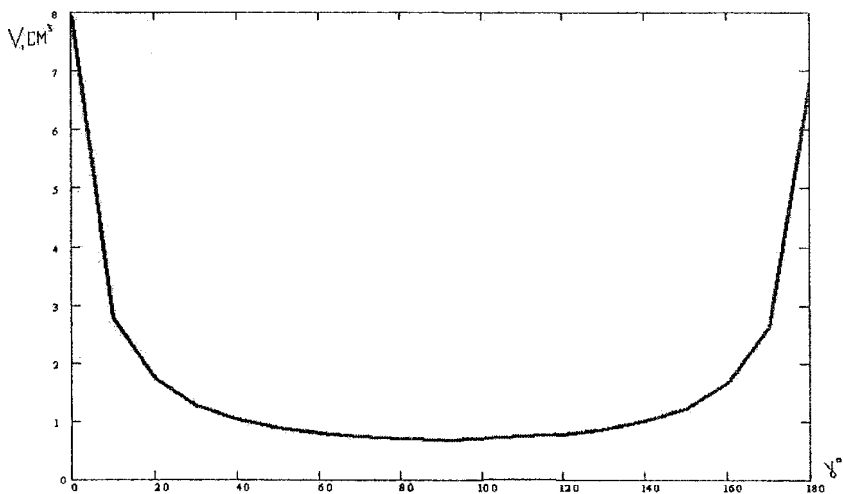


Рис. 3. Изменение размера фотометрируемой области в зависимости от угла между источником и приемником излучения

На рис.4 представлено угловое распределение рассеянного дымом оптического излучения. Полученные значения рассеянного излучения нормированы на единицу объема.

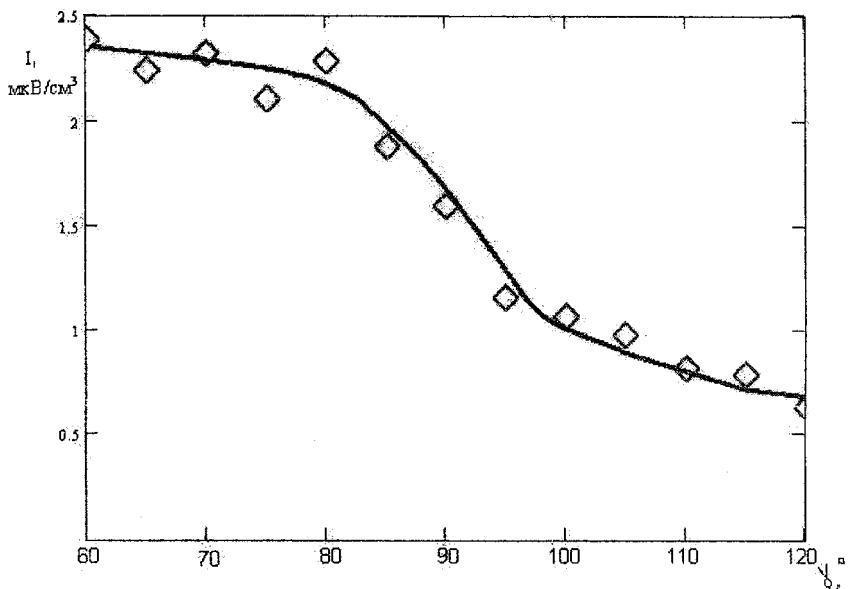


Рис. 4. Угловое распределение интенсивности рассеянного дымом излучения

Из графика видно, что количество рассеянного дымом излучения нелинейно уменьшается с увеличением угла между источником и приемником. Линейность нарушается при углах, близких к  $90^\circ$ , это говорит о том, что рассеяние вперед (при углах менее  $90^\circ$ ) для данного образца больше рассеяния назад (при углах более  $90^\circ$ ). Это объясняется тем, что размер частиц дыма, образованного при тлении образца (писчая бумага), меньше длины волны используемого излучения.

Использование разработанной установки и предложенной в работе методики исследования дает возможность изучить угловое распределение оптического излучения, рассеянного аэрозолями в условиях, максимально приближенных к условиям в дымовой камере оптико-электронных дымовых пожарных извещателей. Дым может быть получен в результате пламенного горения или тления материалов в условиях, оговоренных для тестовых пожаров, и в других нестандартных условиях. Учет размеров фотометрируемой области позволяет получать интенсивность излучения, рассеянного единицей объёма аэрозоля.

#### **Использованные источники**

1. Weinert, Darryl W., Gleary, Thomas G. Light scattering characteristics and size distribution of smoke and nuisance aerosols / Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology (NIST), 2003.
2. Puri, R., Richardson, T.F. Aerosol dynamic processes of soot aggregates in a laminar ethane diffusion flame: combustion and flame 92, 1993. – P.320-333.
3. Loepfe, R., Tomkin, P. Optical properties of fire and non-fire aerosols // Fire Safety Journal. – 1997. – №29. – P. 185-194.
4. Cleary, T., Grosshandler, W. Smoke detector response to nuisance aerosols: AUBE 11-th International conference. – 1999.
5. Иванов, А.П. Оптика рассеивающих сред. – М.: Наука и техника, 1969. – 592 с.