

УДК 614.841

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ ЗАДЫМЛЕННУЮ СРЕДУ

Суриков А.В.*, Лешенюк Н.С.**, д. ф.-м. н., профессор, Петухов В.О.***, к. ф.-м. н.

*Институт переподготовки и повышения квалификации

МЧС Республики Беларусь

**Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

***Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси

e-mail: mail@kii.gov.by

Приведены краткая характеристика испытательного оборудования и методика измерений коэффициента ослабления оптического излучения, проходящего через задымленную среду. Проведен анализ результатов испытаний более 500 различных материалов по ослаблению лазерного излучения, проходящего через дым, образованный вследствие их горения (тления). Определены материалы, при горении (тлении) которых максимально ослабляется излучение He-Ne лазера. Представлены значения показателей ослабления оптического излучения, проходящего через задымленную среду при горении (тлении) этих материалов.

Brief characteristics of test equipment and technique on assessment of light-extinction coefficient of combustion (smoldering) generated by aerosol have been presented. Results of analysis of more than 500 materials tests with a view to attenuation of laser radiation passing through the smoke developed in consequence of their combustion (smoldering) have been given. Materials which combustion (smoldering) attenuates the radiation of He-Ne laser in maximum have been specified. Assessment of light-extinction coefficient of smoke has been done.

(Поступила в редакцию 20 июля 2011 г.)

ВВЕДЕНИЕ

В процессе горения вследствие первичных термохимических процессов происходят деструкция материала и образование аэрозольных смесей из газообразных и жидких продуктов горения и твердых частиц исходного материала [1, 2]. Распространяясь в воздухе, аэрозольные смеси образуют дым – один из опасных факторов пожара, затрудняющий дыхание и резко ограничивающий видимость в зоне пожара [3].

Дым образуется как при термоокислительной деструкции (тлении) вещества, так и при его пламенном горении.

При тлении дым аналогичен продукту, который получается при нагревании любого углеродсодержащего материала до температур, при которых происходят химическое разложение вещества материала и взаимодействие летучих продуктов разложения. При этом фракции с большой молекулярной массой конденсируются по мере их перемешивания с холодным воздухом, что приводит к образованию тумана, состоящего из мельчайших капель смолы и высококипящих жидкостей [4]. При пламенном сгорании твердых материалов дым почти целиком состоит из твердых частиц, при этом следует отметить, что дым, состоящий из твердых частиц, может образоваться и при горении жидких и газообразных веществ [1].

Вызванное задымлением ограничение видимости в условиях пожаров является существенным фактором, затрудняющим проведение спасательных работ и тушение пожаров. Для улучшения видимости в последние годы используются специальные оптические устройства и системы (фонари, тепловизоры, активные импульсные системы с лазерной подсветкой [5, 6]), что значительно повышает эффективность и безопасность аварийно-спасательных работ. Проектирование таких оптических систем и разработка тактики их применения базируются на количественных данных об ослаблении оптического излучения при прохождении его через задымленную среду.

Ослабление оптического излучения при прохождении его через воздушную среду, содержащую дым, описывается законом Бугера – Ламберта [7]:

$$I / I_0 = e^{-kL}; \quad (1)$$

$$k = (1 / L) \ln(I_0 / I), \quad (2)$$

где I – интенсивность прошедшего света;

I_0 – интенсивность падающего света;

L – длина пути прохождения света через дым, м;

k – показатель поглощения (ослабления), м^{-1} .

Исходя из величин показателя ослабления k определяются основные характеристики проектируемых оптических систем улучшения видимости – дальное действие, мощность источников и чувствительность приемников излучения.

Значение показателя ослабления k зависит от дисперсности дыма, его фазового и химического состава и других параметров, что вызывает серьезные трудности при его теоретическом расчете. В литературе также отсутствуют сведения о системных экспериментальных исследованиях прохождения или рассеяния оптического излучения в дымах. Поэтому при проектировании оптических систем приходится ограничиваться общей оценкой ожидаемой величины показателя ослабления излучения и последующей корректировкой параметров системы при лабораторных или натурных испытаниях, что значительно усложняет процесс разработки приборов и сужает область их использования.

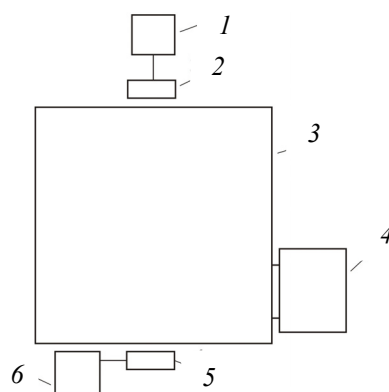
В данной работе представлены результаты экспериментального определения величин показателя ослабления оптического излучения k в дымах, образующихся при горении и тлении различных материалов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В научно-исследовательских учреждениях Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь достаточно широко проводятся испытания по определению коэффициента дымообразования при горении и тлении строительных материалов и веществ по методике, изложенной в [8] и основанной на измерении ослабления проходящего через дым оптического излучения.

Блок-схема лабораторной установки для определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов приведена на рис. 1. Установка содержит камеру сгорания 4, в которой установлены электронагревательная панель размерами 120×120 мм, смонтированная на верхней стенке камеры под углом 45° к горизонтальной плоскости, и держатель образца, предназначенный для размещения исследуемого материала или вещества. Над держателем образца установлена запальная газовая горелка. Камера сгорания соединяется с камерой измерений 3 размерами $800 \times 800 \times 800$ мм двумя отверстиями сечением 30×160 мм. Фотометрическая система состоит из источника излучения 2 и приемника излучения 5, сигнал с которого подается на систему регистрации 6. Источник света размещен на верхней стенке камеры измерений, приемник света – в днище камеры. В качестве источника излучения используется гелий-неоновый лазер ($\lambda = 632,8$ нм) мощностью < 5 мВт с блоком питания 1.

Испытания проводятся следующим образом. Для каждого материала готовятся 10 одинаковых образцов размером 40×40 мм и толщиной не более 10 мм. Подготовленный образец исследуемого материала помещается в специальный держатель в камере сгорания. Лакокрасочные покрытия наносятся на алюминиевую фольгу толщиной 0,2 мм.



1 – блок питания; 2 – источник излучения;
3 – камера измерений; 4 – камера сгорания;
5 – приемник излучения; 6 – система регистрации

Рисунок 1 – Блок-схема экспериментальной установки для определения коэффициента дымообразования и показателя ослабления оптического излучения, $L = 0,8$ м

Испытания проводятся для каждого материала отдельно в двух режимах – тления и пламенного горения. Испытываются по 5 образцов материала в каждом режиме.

В процессе измерений вначале регистрируется интенсивность света при отсутствии дыма в камере, что соответствует пропусканию излучения, принимаемому за 100 %. Далее запускается процесс горения или тления и регистрируется ослабление интенсивности излучения, которое растет при разгорании, достигает максимума в определенный момент времени и затем уменьшается, что связано с процессом «старения» дыма, обусловленного конденсацией газовых компонентов на поверхности частиц или, наоборот, отводом испаряющихся компонентов с поверхности, а также коагуляцией частиц. В результате «старения» дыма с течением времени общее количество частиц уменьшается, их средний размер увеличивается, и они оседают [9]. Экспериментальные исследования по динамике изменения ослабления оптического излучения, к сожалению, только для некоторых материалов можно найти в работе [10].

Следует отметить, что коэффициент дымообразования определяется по максимальному значению ослабления оптического излучения.

На первом этапе были проанализированы результаты проведенных на базе учреждения «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь испытаний на дымообразующую способность более 500 различных материалов.

В результате анализа были определены материалы, которые наиболее часто применяются при отделке помещений, а также при горении и тлении которых максимально ослабляется оптическое излучение, проходящее через образующийся при этом дым. Для этих материалов по результатам измерений, проведенных в соответствии с методикой [8], рассчитаны по формуле (2) значения показателя ослабления оптического излучения k . Показатель ослабления k рассчитывался для условий максимального дымообразования.

Как показал анализ результатов экспериментов, величина показателя ослабления для отделочных материалов одной группы (ковровых покрытий, отделочных материалов из ПВХ, линолеума, потолочных плит и т. д.) имеет значительный разброс значений в зависимости от типа или марки материала. Так, например, для ПВХ изделий (испытано 50 типов, по 10 образцов каждого типа) величина показателя ослабления варьируется от 0,54 до 3,96 м⁻¹.

Полученные величины показателей ослабления приведены в табл. 1. В ней указаны минимальные и максимальные значения показателей ослабления для заданной группы материалов (k_{\min} и k_{\max} соответственно), среднее квадратичное отклонение σ для каждой серии испытаний, а также средняя величина показателя ослабления $k_{\text{ср}}$, рассчитанная по максимальному и минимальному значениям для данной группы.

Таблица 1 – Средние значения показателей ослабления

Материал	Тление					Горение				
	Минимальное значение		Максимальное значение		$k_{\text{ср}}$ м ⁻¹	Минимальное значение		Максимальное значение		$k_{\text{ср}}$ м ⁻¹
	k_{\min} м ⁻¹	σ	k_{\max} м ⁻¹	σ		k_{\min} м ⁻¹	σ	k_{\max} м ⁻¹	σ	
1. Линолеум	0,74	0,006	3,75	0,05	2,25	0,406	0,005	2,66	0,02	1,53
2. Ламинат	0,58	0,02	2,16	0,04	1,37	0,13	0,01	0,34	0,01	0,23
3. Ковровые покрытия	0,143	0,005	4,12	0,17	2,13			3,60	0,04	1,86
4. ПВХ	0,54	0,01	3,96	0,08	2,25	0,40	0,01	2,83	0,07	1,61
5. Пенополистирол	0,75		3,81	0,03	2,28	0,47		2,33	0,03	1,4
6. Фанера	1,12	0,02	1,77	0,07	1,44	0,13	0,002	0,33	0,01	0,23
7. ДВП	1,77	0,07	3,45		2,6	0,136		0,43	0,01	0,28
8. Древесина (сосна)	–				1,97*	–				0,13**
9. Гипсокартон	0,19	0,01	0,52	0,01	0,35	0,13	0,01	0,30	0,01	0,21
10. ДСП	2,71	0,04	4,15	0,05	3,42	1,87	0,09	3,6	0,04	2,73

Примечание: * значение среднего квадратического отклонения – 0,02;

** значение среднего квадратического отклонения – 0,001.

Из приведенной таблицы видно, что для исследованных материалов наибольшие значения показателя ослабления при тлении имеют линолеум, древесно-стружечные и древесно-волоконистые плиты, ковровые покрытия, а также изделия из ПВХ и пенополистирола. При пламенном горении наибольший показатель ослабления реализуется для образцов линолеума, древесно-стружечных плит, ковровых покрытий, а также изделий из ПВХ и пенополистирола.

У всех исследованных материалов показатель ослабления выше в режиме тления.

Сильное различие значений коэффициента дымообразования и показателя ослабления для разных типов материалов одной группы может быть вызвано различным химическим составом самих материалов, например, для ПВХ введением в материал металлосодержащих огнезадерживающих веществ. При этом поглощение света снижается для композиций, содержащих оксид цинка и гексагидроксиданнат цинка, и увеличивается для образцов с гидроксидом алюминия. Так, например, наибольший эффект в снижении выделения дыма оказывает введение в ПВХ гексагидроксиданната цинка совместно с медьсодержащим тубуленом [11].

На рис. 2 показано ослабление излучения в зависимости от расстояния при самом плотном задымлении для двух наиболее распространенных строительных материалов, используемых в сельской местности.

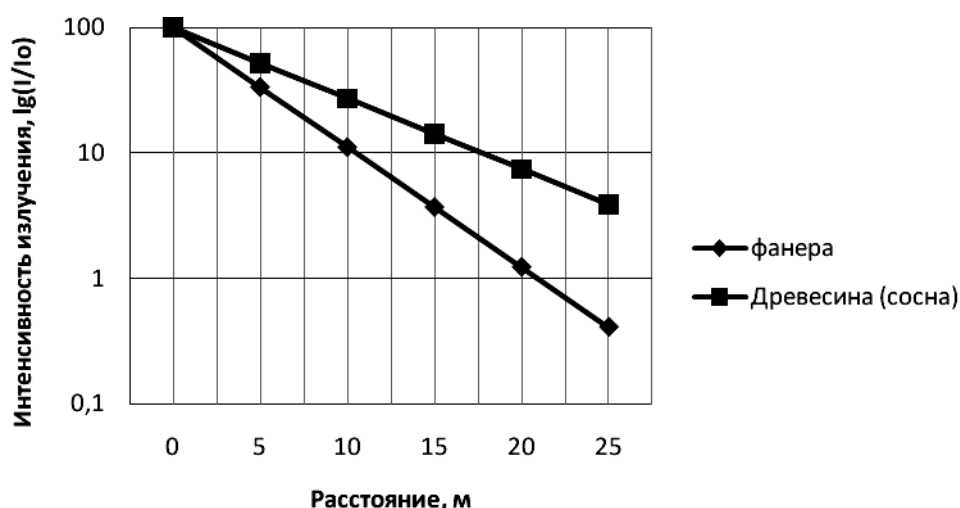


Рисунок 2 – Ослабление излучения лазера, проходящего через задымленную среду, образованную в результате пламенного горения материалов

Анализ полученных данных показывает, что максимальное поглощение лазерного излучения оказывает дым, образованный при тлении и пламенном горении линолеума, ковровых покрытий, изделий из ПВХ, пенополистирола и ДСП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной работе на основе экспериментальных данных определены показатели ослабления излучения гелий-неонового лазера на длине волны 632,8 нм в условиях сильного задымления, образованного как при горении, так и при тлении, для большого количества различных материалов. Теоретический анализ и наши предварительные исследования показывают, что имеет место слабая зависимость ослабления излучения от длины волны в диапазоне 400–1000 нм, следовательно, полученные показатели ослабления могут быть применимы и для этого спектрального диапазона.

Показано, что показатель ослабления для всех исследуемых веществ значительно выше в условиях тления, чем горения. Определены материалы, имеющие максимальные показатели ослабления оптического излучения, проходящего через воздушную среду, содержащую дым, образованный при их горении или тлении.

Полученные значения показателей ослабления оптического излучения могут быть применены для прогнозирования прохождения оптического излучения через задымленную среду, например, для расчета мощности лазерной подсветки и чувствительности приемного тракта в активно-импульсных системах видения.

Полученные результаты могут быть использованы и при проведении натуральных огневых испытаний оптических приборов, предназначенных для визуализации объектов в задымленной среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ипатьев, А.В. Дымообразующая способность веществ и материалов (физико-химические процессы, методы исследований, способы управления) : монография / А.В. Ипатьев, В.Н. Яглов. – Минск, 2002. – 75 с.
2. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность. Общие термины и определения : СТБ 11.0.02. – Введен впервые ; введ. 10.01.95. – Минск : Белстандарт, 1995. – 16 с.
3. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.004-91. – Взамен ГОСТ 12.1.004-85 ; введ. 01.07.92. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – С. 35.
4. Драздейл, Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драздейл ; пер. с англ. К.Г. Бомштейна. – М. : Стройиздат, 1990. – С. 64–68, 368–369.
5. Волков, В.Г. Активно-импульсные ПНВ и тепловизионные приборы. Анализ возможностей применения / В.Г. Волков // Фотоника. – 2007. – №4. – С. 24–28.
6. Горобец, В.А. Оптико-электронная система видения в условиях ограниченной прозрачности атмосферы / В. А. Горобец [и др.] // Вестник АИН. – 2008. – № 3. – С. 65–82.
7. Dobbins, R.A. Comparison of a Fractal Smoke Optics Model with Light Extinction Measurements / R.A. Dobbins, G.W. Mulholland, N.P. Bryner // Atmospheric Environment. – 1994. – V. 28, № 5. – P. 889–897.
8. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения : ГОСТ 12.1.044. – Взамен ГОСТ 12.1.044-85 ; введ. 01.01.91. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – С. 74–76.
9. Снегирев, А.Ю. Учет коагуляции дыма при численном моделировании пожара в помещении / А. Ю. Снегирев, Г. М. Махвиладзе, Дж. Роберте // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – Т. 8, № 3. – С. 21-31.
10. Уварова, В.А. Исследование динамических параметров процесса дымообразования при термодеструкции материалов, рекомендуемых к использованию в шахтах / В.А. Уварова, Т.М. Грачева, В.Е. Уваров // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2006. – № 2. – С. 166–172.
11. Праведникова, О.Б. Модифицирование металл- и фосформеталлсодержащими огнезамедлительными системами композиций на основе поливинилхлорида : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 05.17.06 / О.Б. Праведникова ; Гос. обр. учр. выс. проф. обр. «Московский государственный текстильный университет имени А.Н. Косыгина». – М., 2009. – 16 с.