

УДК 614.841

Асп. *Суриков А. В.*,
канд. техн. наук *Горовых О. Г.*
Институт переподготовки и повышения квалификации
МЧС Республики Беларусь,
пос. Светлая Роща, Республика Беларусь

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОСЛАБЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ ДЫМ, ОБРАЗОВАННЫЙ ПРИ ГОРЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представлены результаты исследований ослабления лазерного излучения, проходящего через дым, образовавшийся при горении строительных различных материалов, с использованием установки для определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов в соответствии с ГОСТ 12.1.044. Выявлены материалы, при горении (тлении) которых максимально ослабляется излучение полупроводникового лазера. Приведена количественная оценка значений показателя ослабления оптического излучения, проходящего через задымленную среду, образованную при горении этих материалов. Данные результаты могут быть использованы при проведении натурных огневых испытаний оптических приборов, предназначенных для визуализации объектов в задымленной среде.

При ликвидации чрезвычайных ситуаций скорость проведения аварийно-спасательных работ играет первостепенную роль, при этом личный состав подразделений сталкивается с различными факторами, влияющими на нее – высокой температурой, неизвестной планировкой помещений, скрытыми очагами горения, ограниченной видимостью и многими другими. Все эти факторы замедляют проведение поисково-спасательных работ, и как следствие, сказываются на оперативности оказания помощи пострадавшим.

Одним из направлений, при решении данной проблемы, может стать использование систем на базе электронно-оптических преобразователей (ЭОП). Их принцип действия основан на усилении низких уровней яркости, создаваемых на наблюдаемом

объекте, например, от лазерных импульсных источников в видимой и ближней ИК-области спектра, что увеличивает возможность обнаружения человека и скрытого очага горения в условиях плохой видимости. При этом наиболее перспективно использовать системы лазерные активно-импульсные (СЛАИ), работающие по методу стробирования по дальности [1], которые при формировании изображения устраняют помеху обратного рассеяния (световой «забор») от промежуточного слоя дыма. Однако при разработке таких систем необходимо знать оптические характеристики задымленной среды.

Цель работы – измерение коэффициентов ослабления ($K_{осл}$) лазерного излучения, проходящего через задымленную среду в результате горения (тления) различных материалов.

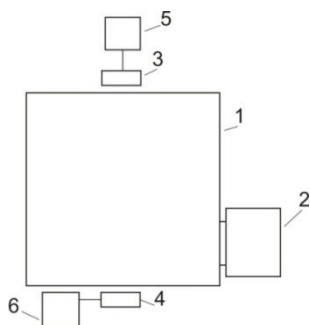
Зная $K_{осл}$, можно прогнозировать видимость для определенных условий пожара и определить требуемые характеристики оптических устройств, например, СЛАИ, при проведении поисково-спасательных работ в условиях задымления.

Экспериментальная часть

Испытания проводили на установке для определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов по методике, изложенной в [2] на базе Государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. Принцип действия установки основан на использовании закона Бугера–Ламберта, согласно которому коэффициент ослабления оптического излучения пропорционален концентрации поглощающего вещества.

Блок-схема установки приведена на рисунке. Установка содержит камеру сгорания 2, в которой установлены электронагревательная панель размерами (120×120) мм, смонтированная на верхней стенке камеры под углом 45° к горизонтали, и держатель образца, предназначенный для размещения исследуемого материала или вещества. Над держателем образца установлена запальная газовая горелка. Камера сгорания соединена с камерой измерений 1 размерами (800×800×800) мм через два отверстия сечением (30×160) мм. Фотометрическая система состоит из

источника 3 и приемника света 4, сигнал с которого подается на систему регистрации 6. Источник света размещен на верхней стенке камеры измерений, приемник света – в днище камеры. В качестве источника применен полупроводниковый лазер ($\lambda=632,8$ нм) мощностью <5 мВт, запитанный от блока питания 5.



Блок-схема установки по определению линейного коэффициента поглощения:

1 – камера измерений, 2 – камера сгорания,
3 – источник света, 4 – приемника света,
5 – блока питания, 6 – система регистрации.

В качестве приемника применен фотодиод ФД-7К. Изменения сигнала с приемника регистрируются вольтметром универсальным В7-46/1.

На первом этапе были проведены испытания на дымообразующую способность более 500 различных материалов. Процедуру испытаний проводили следующим образом. Подготовленный образец исследуемого материала помещался в специальный держатель в камере сгорания. Для каждого материала готовили 10 одинаковых образцов размером (40×40) мм с фактической толщиной, но не более 10 мм. Лакокрасочные покрытия наносили на алюминиевую фольгу толщиной 0,2 мм. Испытания проводили для каждого материала отдельно в двух режимах – тления (путем воздействия теплового потока с плотностью до 35 кВт/м²) и пламенного горения (при фиксированном тепловом потоке) с применением пламени газовой горелки с длиной пламени от 10 до 15 мм. Плотность теплового потока контролируется по показаниям вольтметра В7-65. Требуемой плотности соответствует показание $\approx 2,958$ мВ.

Измерения проводили при включенном вентиляторе, размещенном в измерительной камере и предназначенном для создания равномерной концентрации дыма по всему объему камеры. В случае если значение светопропускания оказывается меньше 1,5 %, размеры образца уменьшаются. Если при испытаниях в режиме тления образ-

цы воспламеняются, плотность теплового потока уменьшается на $5 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ до тех пор, пока не прекратится самовоспламенение образца. Испытывались по 5 образцов каждого материала в каждом режиме. Вначале устанавливали начальное значение светопропускания, когда дым в камере отсутствовал, соответствующее верхнему пределу измерений регистрирующего прибора и принимаемому за 100 %. Испытания прекращали при достижении минимального значения светопропускания или при полном сгорании образца. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследований ослабления лазерного излучения, проходящего через дым, на установке по определению линейного коэффициента поглощения

№ п/п	Материал	Тление		Пламенное горение	
		Значение ослабления излучения для группы материалов, %			
		min	max	min	max
		$I_{min.}$	$I_{max.}$	$I_{min.}$	$I_{max.}$
1	Линолеум	55,12	4,96	72,24	11,88
2	Ламинат	62,80	17,76	90,00	90,00
3	Ковровые покрытия	89,16	3,72	90,00	5,60
4	ПВХ	64,5	4,22	72,48	10,38
5	Пенополистирол	54,46	4,76	68,24	15,42
6	Фанера	40,78	24,14	90,00	76,92
7	ДВП	24,38	6,32	89,66	70,8
8	Древесина (сосна)	20,60	20,6	90,00	90,00
9	Гипсокартон	85,48	65,80	90,00	78,66
10	ДСП	11,44	3,62	22,52	5,60

Наличие минимума связано с процессом «старения» дыма, обусловленного конденсацией газовых компонентов на поверхности частиц или, наоборот, отводом испаряющихся компонентов с поверхности, а также коагуляцией частиц. Коагуляция дыма связана с тем, что частицы дыма, будучи повержены броуновскому движению, сталкиваются и слипаются. В результате с течени-

ем времени общее количество частиц уменьшается, их средний размер увеличивается и они оседают [3].

Следует отметить, что в нашей работе акцент сделан именно на максимальном значении ослабления оптического излучения. По результатам испытаний были определены материалы, при горении и тлении которых максимально ослабляется оптическое излучение, проходящее через образующийся при этом дым. Далее из выражения закона Бугера–Ламберта была проведена количественная оценка коэффициента ослабления ($K_{ослабл.}$).

Обсуждение результатов

Результаты расчетов приведены в табл. 2 и 3. В ней указаны минимальные и максимальные значения коэффициентов ослабления для групп материалов (K_{min} и K_{max} , соответственно), имеющих наибольшие из исследованных материалов значения данного показателя, среднее квадратическое отклонение σ для каждой серии испытаний, а также среднее значение коэффициента ослабления $K_{ср}$.

Таблица 2

Средние значения коэффициентов ослабления в режиме тления

№ п/п	Материал	Тление				$K_{ср}, \text{м}^{-1}$
		минимальное значение		максимальное значение		
		$K_{min}, \text{м}^{-1}$	σ	$K_{max}, \text{м}^{-1}$	σ	
1	Линолеум	0,74	0,006	3,75	0,05	2,25
2	Ламинат	0,58	0,02	2,16	0,04	1,37
3	Ковровые покрытия	0,143	0,005	4,12	0,17	2,13
4	ПВХ	0,54	0,01	3,96	0,08	2,25
5	Пенополистирол	0,75	0,01	3,81	0,03	2,28
6	Фанера	1,12	0,02	1,77	0,03	1,44
7	ДВП	1,77	0,07	3,45	0,07	2,6
8	Древесина (сосна)	–	–	–	–	1,97*
9	Гипсокартон	0,19	0,01	0,52	0,01	0,35
10	ДСП	2,71	0,04	4,15	0,05	3,42

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

Таблица 3

Средние значения коэффициентов ослабления в режиме горения

№ п/п	Материал	Горение				$K_{cp}, \text{м}^{-1}$
		минимальное значение		максимальное значение		
		$K_{min}, \text{м}^{-1}$	σ	$K_{max}, \text{м}^{-1}$	σ	
1	Линолеум	0,406	0,005	2,66	0,02	1,53
2	Ламинат	0,13	0,01	0,34	0,01	0,23
3	Ковровые покрытия	0,13	0,01	3,60	0,04	1,86
4	ПВХ	0,40	0,01	2,83	0,07	1,61
5	Пенополистирол	0,47	0,01	2,33	0,03	1,4
6	Фанера	0,13	0,01	0,33	0,01	0,23
7	ДВП	0,136	0,002	0,43	0,01	0,28
8	Древесина (сосна)	–	–	–	–	0,13*
9	Гипсокартон	0,13	0,01	0,30	0,01	0,21
10	ДСП	1,87	0,09	3,6	0,04	2,73

Примечание: * значение среднего квадратического отклонения – 0,001.

Из приведенных таблиц следует, что для исследованных материалов наибольшие значения коэффициента ослабления при тлении могут иметь линолеум, древесно-стружечные и древесноволокнистые плиты, ковровые покрытия, а также изделия из ПВХ и пенополистирола. При пламенном горении наибольший коэффициент ослабления реализуется для образцов линолеума, древесно-стружечных плит, ковровых покрытий, а также изделия из ПВХ и пенополистирола. У всех исследованных материалов коэффициент ослабления выше в режиме тления.

Полученные данные показали, что дым обладает значительно большим поглощающим эффектом, чем туман, который выступает в качестве рассеивающей среды для прототипа разрабатываемой системы. Так, например коэффициент ослабления древесины более чем в 25 раз выше, чем у тумана, определенным в соответствии с международным кодом видимости.

Следует отметить, что расчеты коэффициентов ослабления лазера, проходящего через дым, носят оценочный характер и не являются абсолютными, т. к. проведенные испытания материалов на дымообразующую способность не учитывают объемную концент-

рацию дыма, зависящую от массы дыма, образованного в результате горения (тления) и соответственно от массы сгоревшего топлива.

Для более точной оценки поглощающих свойств дымов планируется усовершенствовать методику по определению дымообразующей способности материалов, определенную в [2].

Известно что, прохождение оптического излучения через воздушную среду, содержащую дым, можно описать законом Бугера–Ламберта. При этом коэффициент ослабления света определяется произведением удельного массового показателя (коэффициента) экстинкции σ , и массовой концентрации дыма.

Авторами работы [4] установлено, что σ имеет среднее значение $8,7 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ на длине волны $632,8 \text{ нм}$ с неопределенностью $\pm 1,17 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ и доверительной вероятностью 95 % и является практически универсальной константой. Вывод сделан на основе исследований, проведенных семью различными исследовательскими коллективами в пяти лабораториях США как мало-, так и крупномасштабных пожаров с разнообразными материалами в качестве топлива с учетом того, что дым всех пламенных пожаров в основном состоит из углерода в форме частицы почти сферической формы. Размер такой «сферы» гораздо меньше длины волны света. Исследования в работе проводили для трех длин волн – 450 , 630 и 1000 нм . Показано, что в таких условиях коэффициент поглощения света пропорционален массе и не зависит от размера частиц, таким образом, он дает основной вклад в коэффициент ослабления. Вклад коэффициента рассеяния значительно меньше, а именно оно зависит от размера частиц. Приведенные результаты показывают, что показания измерителя коэффициента ослабления могут давать значения массовой концентрации дыма.

Массовая концентрация дыма определяется отношением массы дыма к объему, заполненному дымом.

Таким образом, контролируя значение уменьшения интенсивности излучения, проходящего через дым, а также массы сгоревшего топлива, представляется возможным оценить значение удельного выхода дыма (уровня задымленности) из расчёта 1 кг дымовых частиц на 1 кг топлива.

Данный показатель позволит, зная количество горящего материала и объем помещения, заполняемого дымом, спрогнозировать степень затухания оптического излучения, проходящее через этот объем.

Выводы

В результате проведенной работы:

1. Определены материалы, имеющие максимальные коэффициенты ослабления оптического излучения, проходящего через воздушную среду, содержащую дым, образованный при горении или тлении данных материалов. Данные результаты могут быть использованы при проведении натурных огневых испытаний оптических приборов, предназначенных для визуализации объектов в задымленной среде.

2. Рассчитанные значения коэффициентов ослабления оптического излучения и массовой концентрации дыма могут быть применены для прогнозирования прохождения оптического излучения через задымленную среду, например для расчета мощности лазерной подсветки в активно-импульсных системах видения.

3. Перспективным представляется проведение испытаний для определения удельного массового показателя (коэффициента) экстинкции σ_s при тлении различных материалов, что позволит проводить количественную оценку выхода дыма при тлении для прогнозирования распространения оптического излучения. Данная работа может быть проведена при мелкомасштабных испытаниях с контролем массы сгоревшего вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горобец В. А., Кунцевич Б. Ф., Петухов В. О., Пучковский И. Н. Оптико-электронная система видения в условиях ограниченной прозрачности атмосферы // Вестник АИН. 2008. № 3. С. 65–82.

2. ГОСТ 12.1.044 Система стандартов безопасности труда. Пожаро-взрывобезопасность веществ определения и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Изд-во стандартов, 1990. С. 74–76.

3. Снегирев А. Ю., Махвиладзе Г. М., Робертс Дж. Учет коагуляции дыма при численном моделировании пожара в помещении // Пожаровзрывобезопасность. 1999. Т. 8. № 3. С. 21–31.

4. Mulholland G. W., Johnsson E. L., Fernandez M. G., Shear D. A. Design and Testing of a New Smoke Concentration Meter // Fire and Materials. 2000. V. 24, P. 231–243.