

Е. Н. ПОКРОВСКАЯ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: elenapokrovskaya@bk.ru)

Ф. А. ПОРТНОВ, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com)

УДК 699.8:614.8+544+630.3

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АЭРОЗОЛЕЙ ДЫМА ПРИ ГОРЕНИИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Изучено влияние модификаторов поверхностного слоя древесины на структуру и кинетические параметры аэрозолей, образующихся при термическом разложении древесины. Показано, что согласно статистике МЧС РФ при пожаре наибольшую опасность для человека представляет воздействие на него дыма и продуктов термического разложения, которые вызывают у него дезориентацию и панику, а также отравление, что может вывести его из строя или стать причиной гибели. Проведена оценка: структуры аэрозолей дымов гранулометрическим методом с получением распределения твердых частиц аэрозоля по размерам; кинетических характеристик с использованием математических расчетов на основании полученных данных; устойчивости поверхностного слоя модифицированной древесины под действием высоких температур (от 350 °С). Сделан вывод, что при использовании фосфорсодержащих модификаторов поверхностного слоя древесины происходит уменьшение ее склонности к дымообразованию, а также уменьшение устойчивости аэрозоля, образующегося при термическом разложении древесины, что определяет снижение уровня гибели людей при пожаре.

Ключевые слова: аэрозоль; дым; древесина; модифицирование; термодинамика; поверхностный слой; фосфорорганические соединения; устойчивость аэрозолей.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.12.6-13

Введение

Согласно Федеральному закону № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” снижение видимости на путях эвакуации и токсичность продуктов термического разложения относятся к опасным факторам пожара (ОФП). Возникновение указанных ОФП обусловлено образованием дыма при термическом разложении горючих строительных материалов. Дым представляет собой аэрозоль. На примере древесины, как широко распространенного строительного материала [1, 2], образование аэрозолей можно охарактеризовать следующим образом. При воздействии высоких температур (от 350 °С) происходит разложение древесного композита с выделением горючих газообразных веществ и протекание химических процессов разложения в твердой фазе [3, 4]. При этом образуется поверхностный коксовый слой, который в зависимости от свойств материала и интенсивности теплового воздействия может характеризоваться различной пористостью и устойчивостью к диффузии. Наибольшая степень выделения дыма наблюдается при

беспламенном термическом разложении — тлении, которое происходит при температуре 350–450 °С.

Образование дыма при пожаре опасно тем, что может вызвать панику и дезориентацию человека в опасных условиях, а также ухудшение условий работы спасательных частей. Ряд исследований в области поведения людей в опасных ситуациях [4–11] показал, что при снижении видимости на путях эвакуации люди проявляют нежелание покидать временно безопасные помещения (кроме помещений, в которых возникло возгорание). Это может стать причиной того, что люди окажутся отрезанными от выхода из зданий, а их эвакуация будет сопровождаться дополнительными жертвами. Это связано с тем, что нахождение человека в задымленном помещении может повлечь за собой возникновение респираторных заболеваний и патологий из-за вдыхания токсичных продуктов термического разложения.

В настоящее время изучено влияние породы древесины на свойства дымов [12–14]. Кроме того, рассмотрено влияние модифицирования древесины на дымообразующую способность. Особое значе-

ние в этом вопросе имеет поверхностное адсорбционно-химическое модифицирование как эффективный метод улучшения свойств древесных материалов и уменьшения дымообразования [15]. Вопрос изменения структуры и свойств аэрозоля дыма является малоизученным. Детальная проработка этого вопроса актуальна для обеспечения безопасности людей в случае возникновения пожара.

Исходя из вышеизложенного целью работы является оценка влияния модификаторов поверхностного слоя древесины на образование и устойчивость аэрозоля дыма. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- определить количественные характеристики аэрозолей дымов, образующихся при термическом разложении исходной и модифицированной древесины;
- оценить влияние модификаторов на структуру и свойства поверхностного слоя древесины при ее термическом разложении.

Материалы и методы исследования

Для оценки количественных характеристик аэрозоля был проведен гранулометрический анализ с помощью лазерно-дифракционного анализатора размера частиц Cilas 1180. При образовании и осаждении аэрозоля происходила коагуляция частиц. Для того чтобы обратить этот эффект, осажденные частицы помещали в 50 %-ный раствор изопропанола в воде и подвергали ультразвуковому воздействию до и во время испытаний.

Оценку дымообразующей способности проводили на установке по определению коэффициента дымообразования по ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.18).

Для изучения эффективности поверхностного адсорбционно-химического модифицирования был выполнен элементный анализ с использованием сканирующего микроскопа Quanta 200.

Для оценки энергетических свойств поверхности образцов модифицированной древесины был использован метод нейтральной капли для определения поверхностного натяжения образцов и метод сорбции паров азота на установке Quantachrome NOVA 4200e для оценки удельной площади поверхности образцов. Для исследований были отобраны образцы осажденных частиц аэрозоля дыма, образующегося при термическом разложении модифицированной древесины.

В качестве модификаторов поверхностного слоя древесины были использованы 20 %-ные растворы эфиров фосфористой кислоты: диметилфосфит (ДМФ), диэтилфосфит (ДЭФ), дибутилфосфит (ДБФ), дифенилфосфит (ДФФ), полифосфат аммония (ПФА-1). Выбор этих модификаторов основан на том, что эфиры фосфористой кислоты относятся

к модификаторам, снижающим горючесть и увеличивающим биостойкость древесины. Поверхностное модифицирование древесины происходило в мягких условиях (20 °С, 1 атм) при расходе составов 200 г/м². Сгорание модифицированной древесины проводилось в специальной камере сгорания в условиях тления ($T = 450$ °С). Образующийся дым поступал в специальную камеру, в которой и происходило осаждение частиц дыма в течение суток.

Результаты и их обсуждение

В результате измерений гранулометрическим методом было установлено распределение частиц твердой фазы аэрозоля дыма по размерам в зависимости от модификатора поверхностного слоя древесины (табл. 1).

Из данных табл. 1 видно, что модификаторы поверхностного слоя древесины оказывают значительное влияние на количественные характеристики аэрозолей дымов, образующихся при термическом разложении модифицированной древесины. Максимальный размер твердых частиц дисперсной фазы аэрозоля дыма, образующегося при термическом разложении исходной древесины, составляет 25 мкм. При использовании в качестве модификаторов ДМФ максимальный размер частиц составляет 20 мкм, ПФА-1 — 18 мкм и ДЭФ — 15 мкм. Изменение размера твердых частиц дисперсной фазы аэрозоля оказывает значительное влияние на оптические характеристики дыма. Согласно данным испытаний по определению коэффициента дымообразования максимальная дымообразующая способность характерна для исходной древесины, в случае же использования модификаторов происходит значительное снижение дымообразования. Причем наиболее эффективным оказался ДЭФ (табл. 2).

Для образования прочной и устойчивой структуры поверхностного слоя древесины необходимо образование прочных ковалентных связей между модификатором и компонентами лигноуглеводного комплекса древесины. Количественные характеристики химического модифицирования определяются исходя из процентного содержания фосфора в поверхностном слое модифицированной древесины. На характер термического разложения древесины, модифицированной фосфорсодержащими органическими соединениями, влияют параметры образования и структура коксового слоя. Наиболее прочная структура кокса — фосфорсодержащая. Наиболее эффективным модификатором является ДЭФ, который обладает высокой устойчивостью при термическом разложении модифицированной им древесины (табл. 3).

Для оценки устойчивости аэрозолей необходимо установить их кинетические параметры: скорость

Таблица 1. Распределение по размеру твердых частиц дисперсной фазы аэрозолей**Table 1.** Size distribution of solid particles of the dispersed phase aerosols

r , мкм r , μm	Исходный образец Original wood	Древесина, модифицированная Wood modified by				
		ДФФ DFF	ДБФ DBF	ДМФ DMF	ПФА-1 PFA-1	ДЭФ DEP
0,04–0,30	0,29	0,29	0,33	1,23	0,99	0,76
0,4	0,18	0,24	0,24	0,52	0,95	0,90
0,5	0,24	0,36	0,39	0,59	1,78	1,50
0,6	0,46	1,55	0,61	0,65	1,96	1,82
0,7	0,75	0,89	0,45	1,05	2,37	2,21
0,8	1,16	1,12	1,02	1,57	2,26	2,24
0,9	1,37	1,25	1,13	1,85	2,21	2,43
1,0	1,50	1,39	1,25	2,00	2,35	2,31
1,1	1,57	1,41	1,12	2,06	2,42	2,20
1,2	1,60	1,51	1,36	2,09	2,55	1,94
1,3	1,60	1,55	1,45	2,11	2,59	1,95
1,4	1,61	1,52	1,61	2,11	2,45	1,99
1,6	1,57	1,45	1,57	2,07	2,43	2,52
1,8	1,53	1,40	1,53	2,03	2,49	2,69
2,0	1,47	1,41	1,47	1,96	2,55	2,85
2,2	1,39	1,55	1,68	1,88	2,65	2,93
2,4	1,39	1,67	2,45	1,91	2,68	3,19
2,6	1,46	2,01	3,12	1,97	2,70	3,32
3,0	1,64	2,45	3,56	2,19	2,72	3,62
4,0	2,32	2,86	4,07	2,88	3,01	3,96
5,0	3,26	3,01	4,48	3,51	3,05	4,28
6,0	3,69	3,36	4,65	3,56	3,29	4,41
6,5	3,75	3,41	4,21	3,29	3,73	4,52
7,0	3,73	3,51	3,73	3,25	3,95	5,08
7,5	3,76	3,45	3,76	3,30	4,65	5,38
8,0	3,79	3,36	3,80	3,51	5,15	5,33
8,5	3,86	3,54	3,75	3,84	5,41	5,03
9,0	4,06	3,96	4,06	4,25	5,05	4,73
10,0	4,53	4,12	4,89	5,99	4,86	4,21
11,0	5,12	4,51	5,75	5,85	4,22	3,67
12,0	5,31	4,89	5,25	5,35	3,62	3,21
13,0	5,52	5,01	5,12	5,12	2,86	2,08
14,0	5,65	5,13	4,23	4,45	2,09	0,53
15,0	5,01	4,85	3,54	3,60	1,29	0,21
16,0	4,08	4,25	3,11	2,73	0,59	–
17,0	3,32	3,78	2,15	2,02	0,13	–
18,0	2,60	3,15	1,56	1,15	0,05	–
19,0	1,80	2,58	1,12	0,46	–	–
20,0	1,25	1,54	0,36	0,05	–	–
22,0	0,70	0,59	0,07	–	–	–
25,0	0,11	0,12	–	–	–	–

Таблица 2. Дымообразующая способность исходной и модифицированной древесины**Table 2.** Smoke generation ability of the original and the modified wood

Показатель Significative	Исходный образец Original wood	Древесина, модифицированная Wood modified by				
		ДМФ DMF	ДЭФ DEP	ДФФ DFF	ДБФ DBF	ПФА-1 PFA-1
D_m , м ² /кг D_m , m ² /kg	1100	510	160	740	600	440

Таблица 3. Содержание фосфора в поверхностном слое древесины до и после термического разложения**Table 3.** Phosphorus concentration in the surface layer of wood before and after thermal decomposition

Состояние древесины Condition of wood	Содержание фосфора, %, в древесине, модифицированной Phosphorus contents, %, in wood modified by				
	ДМФ DMF	ДЭФ DEP	ДБФ DBF	ДФФ DFF	ПФА-1 PFA-1
До термического разложения Before thermal decomposition	2,87	3,57	2,65	2,45	2,11
После термического разложения After thermal decomposition	0,85	4,70	0,71	1,06	0,35

коагуляции и скорость седиментации, которые определяются строением твердых частиц дисперсной фазы и броуновским движением [16–21]. Скорость седиментации W_g (м/с) описывается уравнением

$$W_g = 2r^2\rho g / (9\mu), \quad (1)$$

где r — радиус твердых частиц дисперсной фазы аэрозолей, мкм;

ρ — плотность частиц, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

μ — вязкость среды, Па·с; $\mu = 1,81 \cdot 10^{-4}$ Па·с.

Исходя из броуновского движения скорость коагуляции выражается уравнением

$$\frac{dN}{dt} = \frac{4KT}{3\mu} \left(1 + \frac{Al}{r} \right) N^2, \quad (2)$$

где N — число частиц заданного радиуса;

dN/dt — количество частиц, вступивших в коагуляцию за единицу времени;

K — константа Больцмана;

T — температура окружающей среды, °С;

$T = 70$ °С;

A — поправочный коэффициент Стокса – Куни-хема;

l — длина свободного пробега молекулы, нм;

$l = 65,3$ нм.

Таблица 4. Скорость седиментации и коагуляции твердых частиц аэрозоля**Table 4.** Speed of sedimentation and coagulation of aerosol particulate matter

r , мкм r , μm	W_g , м/с W_g , m/s	Скорость коагуляции твердых частиц аэрозоля при горении древесины The speed of the coagulation of aerosol particulate matter during combustion of wood					
		исходной original	модифицированной / modified by				
			ДМФ DMF	ДЭФ DEP	ДФФ DFF	ДБФ DBF	ПФА-1 PFA-1
0,2	$2,16 \cdot 10^{-7}$	$1,40 \cdot 10^{-8}$	$3,17 \cdot 10^{-8}$	$5,76 \cdot 10^{-8}$	$1,10 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
3,0	$4,87 \cdot 10^{-5}$	$1,51 \cdot 10^{-10}$	$2,69 \cdot 10^{-10}$	$2,67 \cdot 10^{-10}$	$3,80 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$3,9 \cdot 10^{-10}$
10,0	$5,40 \cdot 10^{-4}$	$9,16 \cdot 10^{-12}$	$1,10 \cdot 10^{-11}$	$5,20 \cdot 10^{-12}$	$8,50 \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^{-11}$	$1,0 \cdot 10^{-11}$
15,0	$1,20 \cdot 10^{-3}$	$1,99 \cdot 10^{-12}$	$1,14 \cdot 10^{-12}$	$1,70 \cdot 10^{-15}$	$2,34 \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^{-12}$	$1,4 \cdot 10^{-13}$
$\Delta m_{\text{общ}}$, г / Δm_{agg} , g		2,60	2,30	1,55	2,45	2,74	2,25

Таблица 5. Энергетические характеристики поверхности модифицированной древесины**Table 5.** Energy characteristics of surface modified wood

Показатель Significative	Исходный образец Original wood	Древесина, модифицированная Wood modified by				
		ДМФ DMF	ДЭФ DEP	ДФФ DFF	ДБФ DBF	ПФА-1 PFA-1
$\sigma \cdot 10^3$, Н/м / $\sigma \cdot 10^3$, N/m	25,33/16,71	19,91/19,07	25,03/24,06	23,03/19,07	22,36/17,36	20,05/22,24
ΔG , кДж / ΔG , kJ	—	–12,68/14,31	–14,5/–14,48	–10,16/–13,69	–6,97/2,43	–2,71/12,35
Примечание. Над чертой приведены данные для древесины до термического разложения, под чертой — после него. Note. Above the line are data for wood before thermal decomposition, under the line is after him.						

Число частиц твердой дисперсной фазы аэрозоля было получено на основании массы твердой дисперсной фазы аэрозоля $\Delta m_{\text{общ}}$ и распределения частиц по размерам. Результаты расчета кинетических параметров аэрозоля представлены в табл. 4.

В зависимости от модификатора поверхностного слоя древесины наблюдается изменение скорости коагуляции. Для частиц радиусом 0,2 мкм скорость коагуляции возрастает в 3–4 раза при использовании ДМФ и ДЭФ. В случае применения ДФФ и ДБФ скорость коагуляции изменяется незначительно, что определяется природой модификаторов при фосфорильной группе. ПФА-1 является соевым компонентом, при использовании которого обеспечивается быстрая коагуляция частиц малого размера и малая скорость коагуляции крупных частиц. С увеличением радиуса частиц скорость их коагуляции при использовании ДЭФ значительно уменьшается, что связано с малой концентрацией крупноразмерных частиц и наименьшей общей массой частиц аэрозоля, образующегося при термическом разложении древесины, модифицированной ДЭФ.

Для изучения принципа дымогасящего действия модификаторов проведено исследование свойств поверхностного слоя модифицированной древесины и изменения его вследствие термического разло-

жения на основании энергетических характеристик поверхности модифицированной древесины до и после термического разложения. Расчет изменения изобарно-изотермического потенциала ΔG (кДж) был выполнен с использованием объединенного уравнения I–II начал термодинамики [22–24]:

$$\Delta G = \sigma dS_{\text{уд}} + S_{\text{уд}} d\sigma, \quad (3)$$

где σ — поверхностное натяжение образца, Н/м;
 $S_{\text{уд}}$ — удельная площадь поверхности образцов, м²/г.

Полученные в результате испытаний и расчетов данные приведены в табл. 5.

Данные табл. 5 показывают, что поверхность образца древесины, модифицированной ДЭФ, обладает наибольшей устойчивостью при термическом разложении, так как она характеризуется наибольшим поверхностным натяжением, а отклонения значений ΔG до и после термического разложения близки к нулю.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Кинетические параметры седиментации и коагуляции аэрозолей, образующихся при термическом разложении модифицированной древесины, зависят от природы модификатора. В ряду эфиров фосфористой кислоты наилучшим является ДЭФ, кото-

рый определяет наибольшую скорость разрушения аэрозоля дыма. Природа модификатора влияет на свойства поверхности древесины. При модифицировании происходит увеличение поверхностного натяжения. Изменение изобарно-изотермического потенциала характеризует устойчивость модифицированной поверхности, что количественно опреде-

ляется суммарной массой твердых частиц дисперсной фазы аэрозоля дыма, а также уменьшением максимального диаметра частиц. Таким образом, модифицирование древесины эфирами фосфористой кислоты уменьшает дымообразующую способность, что обуславливает снижение уровня гибели людей при пожаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукьянов А. М., Корольченко Д. А., Агапов А. Г. О пожароопасности древесины при возведении мостов // Мир транспорта. — 2012. — № 4(42). — С. 158–164.
2. Покровская Е. Н. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений. — М. : Изд-во АСВ, 2009. — 136 с.
3. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 262 с.
4. Шахов С. В., Сухарев И. Н., Шубкин С. Ю. Аспекты термического разложения древесины при образовании копильного дыма // Современные проблемы развития фундаментальных и прикладных наук : материалы II Международной научно-практической конференции (25 февраля 2016 г., г. Прага). — С. 64–70.
5. Young C. J., Moss J. Smoke inhalation: Diagnosis and treatment // Journal of Clinical Anesthesia. — 1989. — Vol. 1, No. 5. — P. 377–386. DOI: 10.1016/0952-8180(89)90079-2.
6. Shusterman D. J. Clinical smoke inhalation injury: systemic effects // Occupational Medicine. — 1993. — No. 8(3). — P. 469–502.
7. Евстифеева С. Д., Тихомирова З. В., Самошина Е. А. Отравление угарным газом при пожарах // Успехи современного естествознания. — 2013. — № 9. — С. 118.
8. Canter D. An overview of human behaviour in fires // Fires and human behavior / Canter D. (ed.). — London : David Fulton Publisher, 1990. — P. 205–234.
9. Bryan J. L. Implications for codes and behaviour models from the analysis of behaviour response patterns in fire situations as selected from the Project People and Project People II study programs : NBS-GCR-83-425. — Washington : National Bureau of Standards, March 1983.
10. Paabo M., Levin B. C. A literature review of the chemical nature and toxicity of the decomposition products of polyethylenes // Fire and Materials. — 1987. — Vol. 11, Issue 2. — P. 55–70. DOI: 10.1002/fam.810110203.
11. Levin B. C., Kuligowski E. D. Toxicology of fire and smoke // Inhalation Toxicology / Salem H., Katz S. A. (eds.). — Boca Raton, FL : CRC Press (Taylor and Francis Group), 2005. — 2nd ed. — P. 205–228. DOI: 10.1201/9781420037302.ch10.
12. Butcher E. G., Parnell A. C. Smoke control in fire safety design. — London : E. & F. N. Spon, 1979. — 178 p.
13. Edgerley P. G., Pettett K. The effect of pyrolysis and combustion temperatures on smoke density // Fire and Materials. — 1978. — Vol. 2, No. 1. — P. 11–17. DOI: 10.1002/fam.810020105.
14. Orzel R. A. Toxicological aspects of firesmoke: polymer pyrolysis and combustion // Occupational Medicine. — 1993. — No. 8(3). — P. 414–429.
15. Покровская Е. Н., Портнов Ф. А., Кобелев А. А., Корольченко Д. А. Дымообразующая способность и токсичность продуктов сгорания древесных материалов при поверхностном модифицировании элементоорганическими соединениями // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 10. — С. 40–45.
16. Тимошенко В. И., Чернов Н. Н., Лупандина М. А. Макропроцесс акустического осаждения тонкодисперсных дымов // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2013. — № 9. — С. 220–223.
17. Богилло В. И. Влияние фазового состава атмосферных аэрозолей на кинетику их взаимодействия с летучими примесями // Хімія, фізика та технологія поверхні [Химия, физика и технология поверхности]. — 2011. — Т. 2, № 1. — С. 61–75.
18. Алоян А. Е. Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере : монография. — М. : Наука, 2008. — 415 с.
19. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. — М. : Химия, 1982. — 400 с.
20. Seinfeld J. H., Pandis S. N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. — New York : John Wiley & Sons, Inc., 2006. — 1248 p.

21. Aloyan A. E., Lushnikov A. A., Makarenko S. V., Marchuk G. I., Zagainov V. A. Mathematical modelling of the atmospheric aerosol transfer with coagulation taken into account // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. — 1993. — Vol. 8, No. 1. — P. 17–30. DOI: 10.1515/rnam.1993.8.1.17.
22. Tutygin A. S., Shinkaruk A. A., Aisenstadt A. M., Lesovik V. S. Ecological risks reduction in the production of concrete composites // Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety. — 2014. — Vol. 8. — P. 54–61.
23. Tutygin A. S., Shinkaruk A. A., Aisenstadt A. M., Frolova M. A., Pospelova T. A. Ways to increase and monitor bearing capacity of soils // Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety. — 2013. — Vol. 7, Part 1. — P. 37–45.
24. Айзенштадт А. М. Термодинамическая оптимизация состава нанокompозитов горных пород // Инновационные материалы и технологии для строительства в экстремальных климатических условиях : материалы I Всероссийской научно-технической конференции. — Архангельск : САФУ, 2014. — С. 37–44.

Материал поступил в редакцию 8 ноября 2017 г.

Для цитирования: Покровская Е. Н., Портнов Ф. А. Кинетические параметры аэрозолей дыма при горении модифицированной древесины // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 12. — С. 6–13. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.12.6-13.

English

KINETIC PARAMETERS OF AEROSOL SMOKE DURING MODIFIED WOOD COMBUSTION

POKROVSKAYA E. N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: elenapokrovskaya@bk.ru)

PORTNOV F. A., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com)

ABSTRACT

The most hazardous factors of fire are smoke and toxic products of thermal decomposition. In case of fire it's going smoke evacuation routes. During the fire the person may be at risk of disorientation and panic. Smoke is aerosol formed during thermal decomposition of materials. The object of study is timber, which is widely used in construction. Currently, the influence of wood and wood surface layer modifiers on smoke-forming ability was studied. The impact of wood surface layer modifiers on properties of aerosols remains poorly studied. Objective is to evaluate the influence of modifiers of the surface layer of wood on the formation and stability of aerosol smoke. In the work of elemental analysis method was used to assess the modifying action of selected esters of acids of phosphorus. It is known that these compounds are effective flame-retardants, and provide the biostability of wood. Granulometric analysis conducted to evaluate the properties of aerosol. It was used the method of "neutral drop" to evaluate the energy characteristics of surface modified wood. As a result of the elemental analysis the percentage of phosphorus in surface layer of wood before and after thermal decomposition was obtained. These data lead to the conclusion about high efficiency and stability of thermal effects of diethyl phosphite as a modifier. Based on granulometric analysis particulate aerosol distribution by size was obtained. Using of the selected modifiers decreases the maximum size of the aerosol particles, which reduces the optical smoke density. Esters of phosphorus acids affect the kinetic parameters of the aerosol. The greatest influence on the reduction of stability of aerosol provides diethyl phosphite. Aerosol formation, has a smaller particle size, occurs when the thermal

decomposition of modified wood with thermally stable surface. Thus modifying wood by ethers of phosphorous acid reduces the propensity to smoke ability that determines the decrease of death in case of fire.

Keywords: aerosol; smoke; timber; modification; thermodynamics; surface layer; organophosphorus compounds; aerosol stability.

REFERENCES

1. Lukyanov A. M., Korolchenko D. A., Agapov A. G. Fire hazards of the timber during bridge construction. *Mir transporta / World of Transport and Transportation*, 2012, no. 4(42), pp. 158–164 (in Russian).
2. Pokrovskaya E. N. *Sokhraneniye pamyatnikov derevyannogo zodchestva s pomoshchyu elementoorganicheskikh soyedineniy* [Preservation of monuments of wooden architecture with the help of organo-element compounds]. Moscow, ASV Publ., 2009. 136 p. (in Russian).
3. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoopasnyye svoystva* [Burning wood and its fire behavior]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2010. 262 p. (in Russian).
4. Shahov S. V., Sukharev I. N., Shubkin S. Yu. Aspects of thermal decomposition of wood with formation of smoke. In: *Sovremennyye problemy razvitiya fundamentalnykh i prikladnykh nauk* [Prospects for the development of fundamental and applied sciences]. Proceedings of II International Scientific and Practical Conference (February 25, 2016, Prague), pp. 64–70 (in Russian).
5. Young C. J., Moss J. Smoke inhalation: Diagnosis and treatment. *Journal of Clinical Anesthesia*, 1989, vol. 1, no. 5, pp. 377–386. DOI: 10.1016/0952-8180(89)90079-2.
6. Shusterman D. J. Clinical smoke inhalation injury: systemic effects. *Occupational Medicine*, 1993, no. 8(3), pp. 469–502.
7. Evstifeeva S. D., Tikhomirova Z. V., Samoshina E. A. Carbon monoxide poisoning in fires. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya / Advances in Current Natural Sciences*, 2013, no. 9, p. 118 (in Russian).
8. Canter D. An overview of human behaviour in fires. In: Canter D. (ed.). *Fires and human behavior*. London, David Fulton Publisher, 1990, pp. 205–234.
9. Bryan J. L. *Implications for codes and behaviour models from the analysis of behaviour response patterns in fire situations as selected from the Project People and Project People II study programs*. NBS-GCR-83-425. Washington, National Bureau of Standards, March 1983.
10. Paabo M., Levin B. C. A literature review of the chemical nature and toxicity of the decomposition products of polyethylenes. *Fire and Materials*, 1987, vol. 11, issue 2, pp. 55–70. DOI: 10.1002/fam.810110203.
11. Levin B. C., Kuligowski E. D. Toxicology of fire and smoke. In: Salem H., Katz S. A. (eds.). *Inhalation Toxicology*. 2nd Edition. Boca Raton, FL, CRC Press (Taylor and Francis Group), 2005, pp. 205–228. DOI: 10.1201/9781420037302.ch10.
12. Butcher E. G., Parnell A. C. *Smoke control in fire safety design*. London, E. & F. N. Spon, 1979. 178 p.
13. Edgerley P. G., Pettett K. The effect of pyrolysis and combustion temperatures on smoke density. *Fire and Materials*, 1978, vol. 2, no. 1, pp. 11–17. DOI: 10.1002/fam.810020105.
14. Orzel R. A. Toxicological aspects of firesmoke: polymer pyrolysis and combustion. *Occupational Medicine*, 1993, no. 8(3), pp. 414–429.
15. Pokrovskaya E. N., Portnov F. A., Kobelev A. A., Korolchenko D. A. The smoke generation property and combustion products toxicity of wood which was modified by organoelemental compounds. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 10, pp. 40–45 (in Russian).
16. Timoshenko V. I., Chernov N. N., Lupandina M. A. Macroprocess acoustic precipitation fine fumes. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki / Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2013, no. 9, pp. 220–223 (in Russian).
17. Bogillo V. I. Influence of phase composition of atmospheric aerosols on the interaction kinetics with volatile impurities. *Himija, fizika ta tehnologija poverhni / Chemistry, Physics and Technology of Surface*, 2011, vol. 2, no. 1, pp. 61–75 (in Russian).
18. Aloyan A. E. *Modelirovaniye dinamiki i kinetiki gazovykh primesey i aerorozley v atmosfere* [Modeling of dynamics and kinetics of gas impurities and aerosols in the atmosphere]. Moscow, Nauka Publ., 2008. 415 p. (in Russian).
19. Frolov Yu. G. *Kurs kolloidnoy khimii* [Colloid chemistry course]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 400 p. (in Russian).

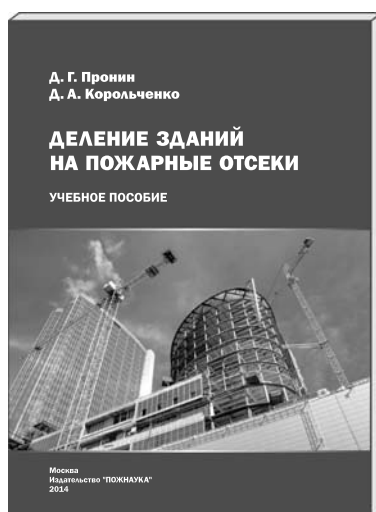
20. Seinfeld J. H., Pandis S. N. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2006. 1248 p.
21. Aloyan A. E., Lushnikov A. A., Makarenko S. V., Marchuk G. I., Zagainov V. A. Mathematical modelling of the atmospheric aerosol transfer with coagulation taken into account. *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*, 1993, vol. 8, no. 1, pp. 17–30. DOI: 10.1515/rnam.1993.8.1.17.
22. Tutygin A. S., Shinkaruk A. A., Aisenstadt A. M., Lesovik V. S. Ecological risks reduction in the production of concrete composites. *Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety*, 2014, vol. 8, pp. 54–61.
23. Tutygin A. S., Shinkaruk A. A., Aisenstadt A. M., Frolova M. A., Pospelova T. A. Ways to increase and monitor bearing capacity of soils. *Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety*, 2013, vol. 7, part 1, pp. 37–45.
24. Ayzenshtadt A. M. Thermodynamic optimization of the composition of rocks nanocomposites. In: *Innovatsionnyye materialy i tekhnologii dlya stroitelstva v ekstremalnykh klimaticheskikh usloviyakh* [Innovative materials and technologies for building industry in extreme climate]. Proceedings of I International Scientific Conference. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov Publ., 2014, pp. 37–44 (in Russian).

For citation: Pokrovskaya E. N., Portnov F. A. Kinetic parameters of aerosol smoke during modified wood combustion. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 12, pp. 6–13 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.12.6-13.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 40 с. : ил.

В учебном пособии изложены базовые основы, действующие требования и современные представления о целях, задачах и способах ограничения распространения пожара по зданиям и сооружениям путем их разделения на пожарные отсеки.

Пособие предназначено для студентов Московского государственного строительного университета. Оно может быть использовано также другими образовательными учреждениями и практическими работниками, занимающимися вопросами обеспечения пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru