

С. В. ПУЗАЧ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: puzachsv@mail.ru)

Р. Г. АКПЕРОВ, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина; e-mail: akperov01@mail.ru)

УДК 614.841

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОБРАЗОВАНИЯ МОНОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ

Представлена экспериментальная мелкомасштабная установка по моделированию термогазодинамики пожара в условно герметичном объеме. Получены экспериментальные зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода CO от среднеобъемной температуры, а также удельного коэффициента выделения монооксида углерода и удельной массовой скорости газификации от времени испытаний при горении древесины, масла трансформаторного и оболочки кабелей ПВХ. Проведено сопоставление результатов экспериментов с данными литературных источников и аналитическим решением интегральной модели. Показано, что удельные коэффициенты выделения CO значительно изменяются по времени с начала горения и их средние значения существенно зависят от периода осреднения по времени испытаний.

Ключевые слова: пожар; моделирование; монооксид углерода; удельный коэффициент выделения CO; удельная массовая скорость газификации.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25

Введение

По статистике более чем в 80 % случаев причиной смерти людей на пожарах являлось отравление продуктами горения [1–3], поэтому математическое моделирование распространения токсичных продуктов горения при пожаре представляет собой актуальную задачу [4, 5].

В настоящее время математические модели расчета динамики опасных факторов пожара (в том числе концентраций токсичных продуктов горения) в помещении получили достаточное развитие для решения практических задач пожарной безопасности, в частности для расчета пожарных рисков (например, работы [5–8]).

Исходные данные по выделению токсичных продуктов горения представлены, например, в учебном пособии [9] и в монографии [4]. Удельные коэффициенты выделения токсичных газов приняты постоянными, т. е. не зависящими от термогазодинамической картины развития пожара (концентрации кислорода, температуры и т. д.).

В настоящей работе на основе проведения экспериментов на созданной опытной мелкомасштабной установке выполнен анализ изменения удельных коэффициентов выделения монооксида углерода CO во времени, начиная с момента возникновения

горения, и зависимостей их средних значений от периода осреднения по времени.

Постановка задачи

Схема процесса горения в условно герметичном мелкомасштабном объеме представлена на рис. 1. В качестве токсичного газа будем рассматривать монооксид углерода.

Задача — получить в мелкомасштабной экспериментальной установке экспериментальные и теоретические зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от среднеобъемной температуры газовой среды, экспериментальные зависимости удельного коэффициента образования CO и удельных массовых скоростей газификации горючего ма-

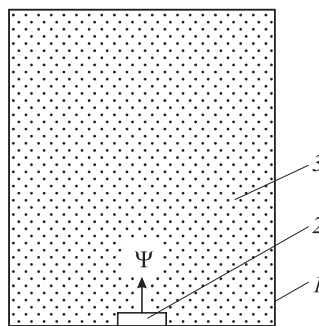


Рис. 1. Схема теплообмена в условно герметичном мелкомасштабном объеме: 1 — ограждающие конструкции; 2 — горючий материал; 3 — смесь продуктов горения и воздуха; Ψ — массовая скорость газификации горючего материала, кг/с

териала от времени и провести анализ полученных соотношений.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Камера сгорания 1 соединена с экспозиционной камерой 2 переходным рукавом 3, оснащенным устройством теплового блокирования. В камере установлен экранированный электронагревательный излучатель 4 и держатель образца 5 на подвижной основе.

Камера сгорания объемом $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ выполнена из листовой нержавеющей стали толщиной $(2,0 \pm 0,1) \text{ мм}$. На боковой стенке камеры имеется окно из кварцевого стекла для наблюдения за образцом при испытаниях, а также шиберные отверстия для изменения режимов испытания.

Экспозиционная камера представляет собой кубический объем ($0,5887 \text{ м}^3$) с конусообразной верхней частью. На двух боковых стенках устроены шиберные отверстия.

Держатель образцов расположен на электронных весах с погрешностью не более $\pm 1 \text{ мг}$, установленных на специальном подвижном столе.

Для непрерывного контроля температуры в экспозиционной камере размещены 32 низкоинерционные бронированные термодпары с диапазоном измерений от минус 40 до $+1100 \text{ }^\circ\text{C}$ с погрешностью не более $\pm 1,5t \text{ (}^\circ\text{C)}$.

Для контроля плотности теплового потока, падающего на образец, используется водоохлаждаемый датчик типа датчика Гордона и регистрирующий прибор с диапазоном измерений от 0 до 100 мВ. По-

грешность измерения плотности теплового потока не превышает $\pm 8 \text{ \%}$.

Для непрерывного контроля состава газовой среды в экспозиционной камере применяется многоканальный газоанализатор, измеряющий концентрацию оксида углерода с диапазоном измерений от 0 до 1 % об. и допустимой погрешностью $\pm 10 \text{ \%}$, диоксида углерода — от 0 до 5 % об. и допустимой погрешностью $\pm 10 \text{ \%}$, кислорода — от 0 до 21 % об. и допустимой погрешностью $\pm 10 \text{ \%}$.

Горючие материалы испытывались в режиме пламенного горения, который обеспечивается при температуре испытания $750 \text{ }^\circ\text{C}$ и плотности падающего теплового потока 60 кВт/м^2 .

Предварительно взвешенный образец материала, имеющий комнатную температуру, помещают в держатель образца (вкладыш). С момента выхода электронагревательного излучателя на стабилизированный режим открывают заслонку переходного рукава и дверцу камеры сгорания. Вкладыш с образцом без задержки помещают в держатель образца, после чего дверцу камеры сгорания закрывают.

В процессе испытаний в режиме постоянного мониторинга фиксируются концентрации (% об.) CO , CO_2 , O_2 , температура и изменение массы образца.

Удельный коэффициент выделения монооксида углерода L_{CO} в каждый момент времени определяется по формуле

$$L_{\text{CO}} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{CO}}}{dt}, \quad (1)$$

где V — внутренний объем установки, м^3 ;

Ψ — массовая скорость выгорания горючего материала, кг/с ;

ρ_{CO} — среднееобъемная плотность CO , кг/м^3 ;

t — время, с.

Интегральная модель расчета тепломассообмена

В работе [10] показано, что среднееобъемная плотность токсичного газа (в частности, CO) может быть описана зависимостью, полученной из аналитического решения уравнений интегральной модели при $\varphi = \text{const}$ и $L_{\text{CO}} = \text{const}$:

$$\rho_{\text{CO}} = K \frac{L_{\text{CO}}}{Q_{\text{H}}^{\text{P}}}, \quad (2)$$

где K — коэффициент пропорциональности между среднееобъемной плотностью токсичного газа и отношением $L_{\text{CO}}/Q_{\text{H}}^{\text{P}}$, Дж/м^3 ;

Q_{H}^{P} — низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг .

Коэффициент пропорциональности не зависит от свойств горючего материала, размеров помещения и площади открытой поверхности горючего мате-

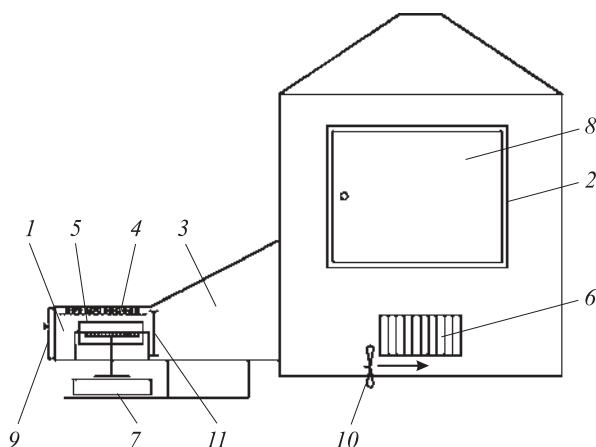


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — экспозиционная камера; 3 — переходный рукав; 4 — электронагревательный излучатель; 5 — держатель образца; 6 — шиберные отверстия; 7 — стол для весов; 8 — дверца экспозиционной камеры; 9 — дверца камеры сгорания; 10 — вентилятор; 11 — заслонка (перегородка) переходного рукава

риала и является функцией только трех параметров, характеризующих термодинамическую картину пожара [10]:

$$K = f(T_{\text{ср}}, T_{\text{в}}, \varphi), \quad (3)$$

где $T_{\text{ср}}$ — среднеобъемная температура газовой среды, К;

$T_{\text{в}}$ — температура воздуха в помещении, К;

φ — коэффициент теплопотерь, равный доле теплоты, выделяющейся в очаге горения и поступающей в ограждающие конструкции из всего объема помещения.

Для рассматриваемой авторами схемы пожара (см. рис. 1) [10]:

$$K = \frac{2,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{\text{ср}} - T_{\text{в}}}{T_{\text{в}}}. \quad (4)$$

Приняв $K/Q_{\text{н}}^{\text{р}} = \rho^*$, преобразуем выражение (2) к виду:

$$\rho_{\text{CO}} = \rho^* L_{\text{CO}}, \quad (5)$$

где ρ^* — характерная плотность, зависящая только от схемы термогазодинамической картины пожара, теплофизических параметров пожара и горючего материала, кг/м³.

Формула (5), выражающая зависимость среднеобъемной плотности СО от среднеобъемной температуры, не содержит геометрических размеров помещения и площади открытой поверхности горючих материалов и, следовательно, является справедливой в условиях как мелкомасштабного, так и крупномасштабного пожара в помещении. Этот вывод подтвержден в работе [11] на основе сопоставления результатов расчетов среднеобъемной плотности монооксида углерода, полученных для полномасштабного помещения с использованием аналитического решения интегральной модели и полной системы уравнений зонной математической модели, с экспериментальными данными, полученными при испытаниях по проточной схеме термогазодинамики пожара [11].

Исходные данные

Рассматриваются следующие горючие материалы [9]:

а) *твердая горючая нагрузка*:

- хвойные древесные стройматериалы: $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 13,8$ МДж/кг, $\Psi_{\text{уд}} = 0,0063$ кг/(м²·с), $L_{\text{CO}} = 0,024$ (где $\Psi_{\text{уд}}$ — удельная массовая скорость выгорания горючего материала, кг/(м²·с));
- оболочка кабелей ПВХ: $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 25$ МДж/кг, $\Psi_{\text{уд}} = 0,0244$ кг/(м²·с), $L_{\text{CO}} = 0,109$;

б) *жидкая горючая нагрузка*: масло трансформаторное: $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 41,9$ МДж/кг, $\Psi_{\text{уд}} = 0,03$ кг/(м²·с), $L_{\text{CO}} = 0,122$.

Критическое значение плотности монооксида углерода $\rho_{\text{CO кр}} = 1,16 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ [9].

Среднее значение коэффициента теплопотерь φ определялось расчетом с использованием формулы (5), в которой $\rho_{\text{CO}} = \rho_{\text{CO кр}}$. Среднеобъемная температура $T_{\text{ср}}$ равна температуре, при которой $\rho_{\text{CO}} = \rho_{\text{CO кр}}$. Значения $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ принимались по работе [9], а L_{CO} — по результатам эксперимента путем осреднения по времени выражения (1).

Результаты численных и натурных экспериментов и их анализ

Эксперименты проводились до температур газовой смеси внутри помещений, не превышающих критического для человека значения, равного 70 °С [9].

Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода $\rho_{\text{CO ср}}$ от повышения среднеобъемной температуры $\Delta T_{\text{ср}}$ представлены на рис. 3 для случая горения хвойных древесных стройматериалов, на рис. 4 — трансформаторного масла и на рис. 5 — оболочки кабелей ПВХ.

При расчете по формуле (5) величина $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ принималась по данным работы [9], а среднее значение L_{CO} — по результатам проведенных экспериментов.

Зависимости среднеобъемной концентрации кислорода от времени приведены на рис. 6 для горения хвойных древесных стройматериалов, трансформаторного масла и оболочки кабелей ПВХ.

Зависимости удельной массовой скорости газификации горючего материала от времени испытаний приведены на рис. 7.

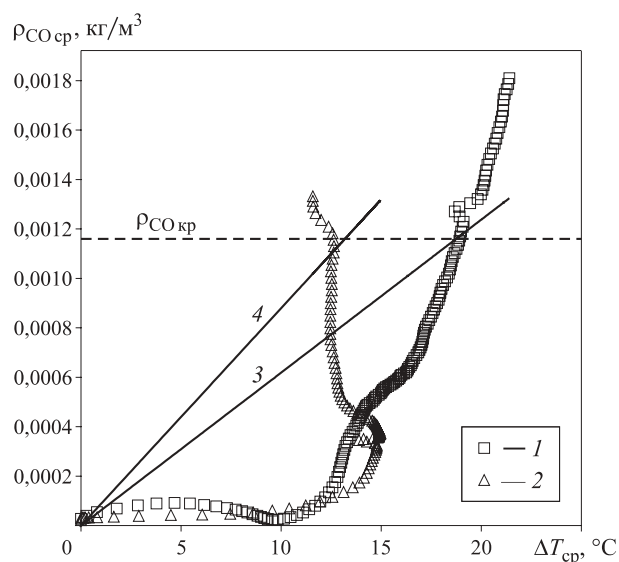


Рис. 3. Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от изменения среднеобъемной температуры при горении хвойных древесных стройматериалов, полученные экспериментально (1, 2) и расчетом по формуле (5) (3, 4): 1 — $F = 0,0072$ м²; 2 — $F = 0,0145$ м²; 3 — $\varphi = 0,97$, $F = 0,0072$ м²; 4 — $\varphi = 0,98$, $F = 0,0145$ м²; F — площадь поверхности образца

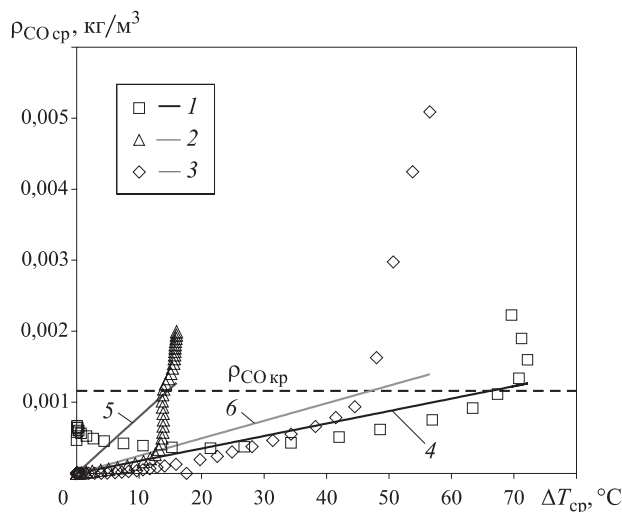


Рис. 4. Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от изменения среднеобъемной температуры при горении трансформаторного масла ($F = 0,01 \text{ м}^2$), полученные экспериментально (1–3) и расчетом по формуле (5) (4–6): 1 — $\delta = 2,85 \text{ мм}$; 2 — $\delta = 1,15 \text{ мм}$; 3 — $\delta = 7,3 \text{ мм}$; 4 — $\varphi = 0,88$; 5 — $\varphi = 0,97$; 6 — $\varphi = 0,90$; δ — толщина слоя трансформаторного масла в кювете

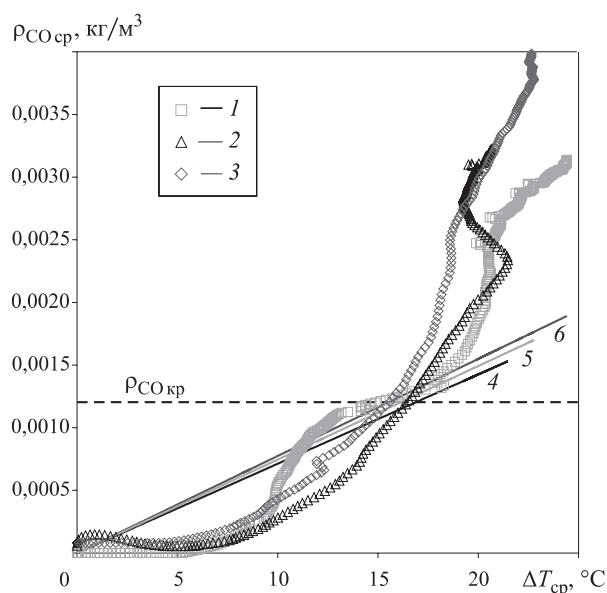


Рис. 5. Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от изменения среднеобъемной температуры при горении оболочки кабелей ПВХ, полученные экспериментально (1–3) и расчетом по формуле (5) (4–6): 1 — $\varphi = 0,97$, $F = 0,0067 \text{ м}^2$; 2 — $\varphi = 0,97$, $F = 0,0059 \text{ м}^2$; 3 — $\varphi = 0,98$, $F = 0,012 \text{ м}^2$; 4 — $F = 0,0067 \text{ м}^2$; 5 — $F = 0,0059 \text{ м}^2$; 6 — $F = 0,012 \text{ м}^2$

Средние за время проведения экспериментов значения $\Psi_{\text{уд}}$ составляли:

- для хвойных древесных строительных материалов — $0,0072$ и $0,0068 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (по [9] $\Psi_{\text{уд}} = 0,0063 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$);
- для оболочек кабелей ПВХ данные не получены из-за неопределенности площади горения;

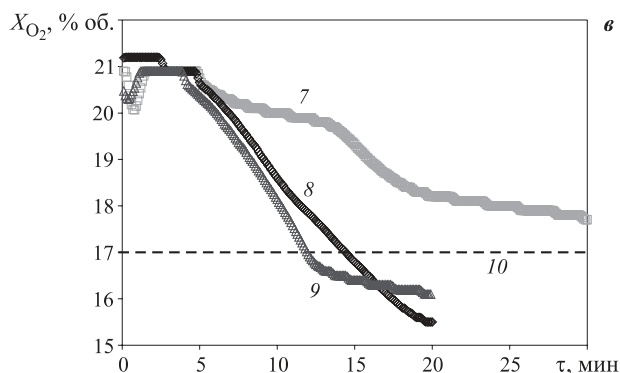
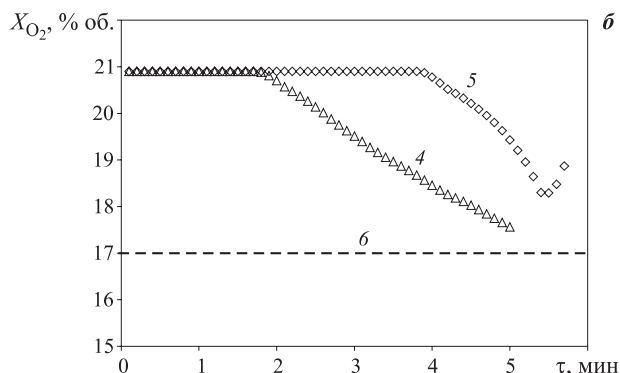
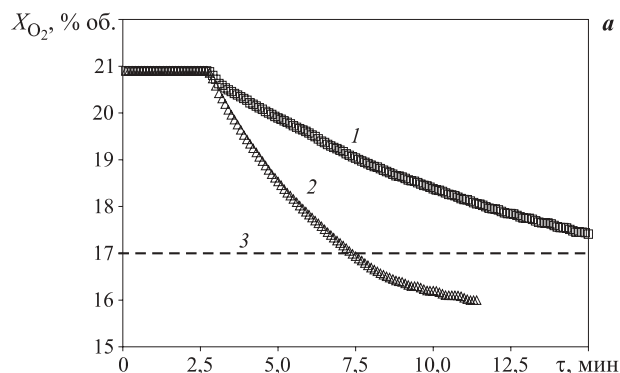


Рис. 6. Экспериментальные зависимости среднеобъемной концентрации кислорода от времени: а — хвойные древесные строительные материалы: 1 — $F = 0,0072 \text{ м}^2$; 2 — $F = 0,0145 \text{ м}^2$; 3 — $X_{\text{O}_2, \text{кр}} = 17\% [9]$; б — трансформаторное масло: 4 — $\delta = 1,15 \text{ мм}$; 5 — $\delta = 7,3 \text{ мм}$; 6 — $X_{\text{O}_2, \text{кр}} = 17\% [9]$; в — оболочка кабелей ПВХ: 7 — $F = 0,0067 \text{ м}^2$; 8 — $F = 0,0059 \text{ м}^2$; 9 — $F = 0,012 \text{ м}^2$; 10 — $X_{\text{O}_2, \text{кр}} = 17\% [9]$; X_{O_2} — объемная концентрация кислорода; $X_{\text{O}_2, \text{кр}}$ — критическое значение объемной концентрации кислорода

- для масла трансформаторного — $0,022$; $0,007$ и $0,018 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (по [9] $\Psi_{\text{уд}} = 0,03 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$).

Существенные различия в значениях $\Psi_{\text{уд}}$ при горении трансформаторного масла в трех экспериментах объясняются разной толщиной слоя масла в кювете.

На рис. 8 представлены зависимости удельных коэффициентов образования СО от времени. Результаты экспериментов показали, что значения удельных коэффициентов образования СО (см. рис. 8) и, соответственно, плотности СО (см. рис. 3–5) незна-

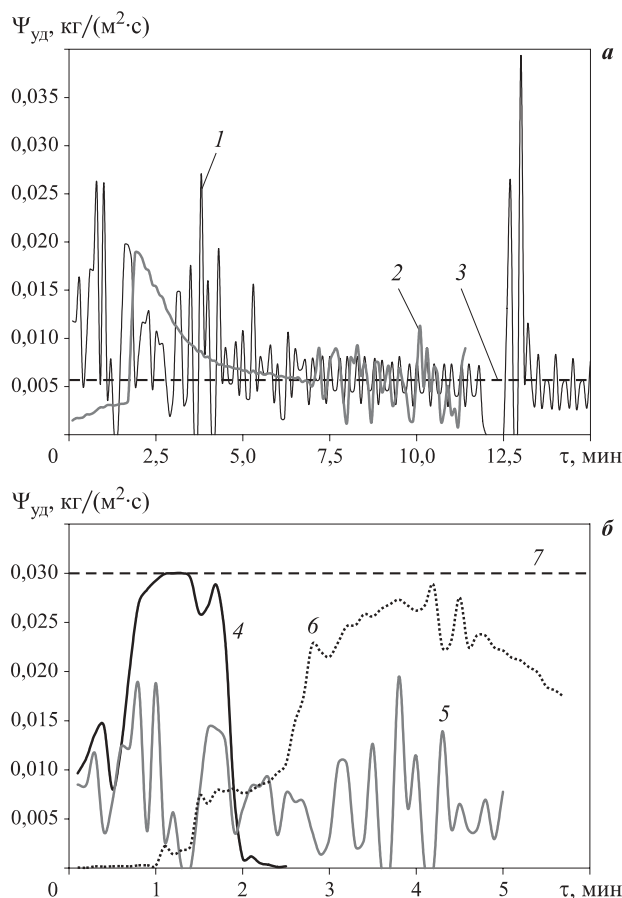


Рис. 7. Зависимости удельной массовой скорости газификации горючего материала от времени с начала горения: *а* — хвойные древесные стройматериалы: 1 — $F = 0,0072 \text{ м}^2$; 2 — $F = 0,0145 \text{ м}^2$; 3 — $\Psi_{\text{уд}} = 0,0063 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [9]; *б* — трансформаторное масло: 4 — $\delta = 2,85 \text{ мм}$; 5 — $\delta = 1,15 \text{ мм}$; 6 — $\delta = 7,3 \text{ мм}$; 7 — $\Psi_{\text{уд}} = 0,03 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [9]

чительны на начальной стадии горения, когда концентрация кислорода практически не меняется (см. рис. 6). При снижении концентрации O_2 выделение СО резко увеличивается и плотность СО быстро достигает критического значения (см. рис. 3–5). Таким образом, допущение о постоянстве L_{CO} на начальной стадии пожара, принятое в работах [7–9, 12, 13], не отражает реальной термогазодинамической картины развития пожара.

Из рис. 3–5 видно, что расчет по выражению (5) с использованием полученных из экспериментов средних значений L_{CO} и φ достаточно точно определяет среднеобъемную температуру в момент времени, когда $\rho_{\text{CO}} = \rho_{\text{CO кр}}$.

Среднеобъемная плотность СО в начальный промежуток времени существенно меньше теоретического значения, полученного при допущении $L_{\text{CO}} = \text{const}$ (см. рис. 3 (кривые 3 и 4), рис. 4 (кривые 4–6), рис. 5 (кривые 4–6)).

Средние по времени проведения экспериментов значения L_{CO} представлены в таблице. Анализ дан-

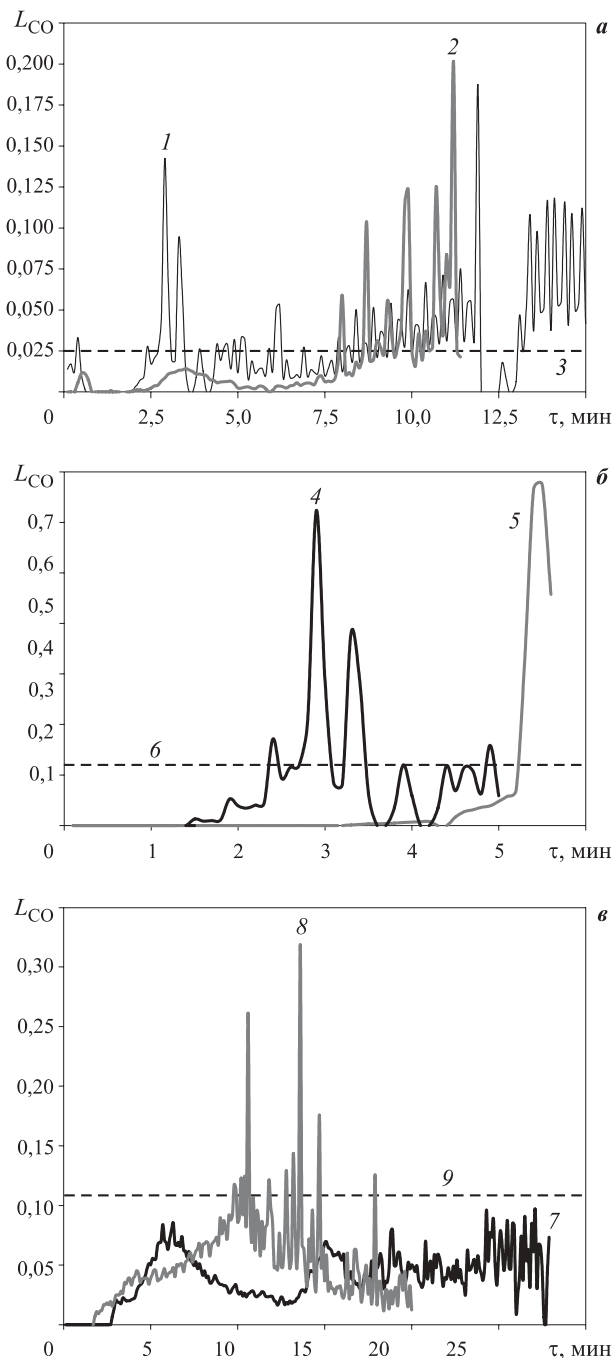


Рис. 8. Зависимости удельных коэффициентов образования СО от времени с начала горения: *а* — хвойные древесные стройматериалы: 1 — $F = 0,0072 \text{ м}^2$; 2 — $F = 0,0145 \text{ м}^2$; 3 — $L_{\text{CO}} = 0,024$ [9]; *б* — трансформаторное масло: 4 — $\delta = 1,15 \text{ мм}$; 5 — $\delta = 7,3 \text{ мм}$; 6 — $L_{\text{CO}} = 0,122$ [9]; *в* — оболочка кабелей ПВХ: 7 — $F = 0,0067 \text{ м}^2$; 8 — $F = 0,012 \text{ м}^2$; 9 — $L_{\text{CO}} = 0,109$ [9]

ных таблицы показывает, что в зависимости от времени осреднения величина L_{CO} может изменяться для хвойных древесных стройматериалов в 2,63 раза, для оболочки кабелей ПВХ — в 1,8 раза и масла трансформаторного — в 5,1 раза.

Существенное отличие значений L_{CO} от представленных в работе [9] можно объяснить как различием условий проведения экспериментов, так и тем,

Средние по времени проведения экспериментов значения L_{CO}

Горючий материал	Условия проведения эксперимента	Время осреднения L_{CO} , мин	ρ_{CO} в конце промежутка осреднения, кг/м ³	Значение L_{CO}	
				среднее	по [9]
Хвойные древесные стройматериалы	$F = 0,0072 \text{ м}^2$	11,6	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,017	0,024
		15,0	$1,81 \cdot 10^{-3}$	0,029	
	$F = 0,0145 \text{ м}^2$	8,0	$5,00 \cdot 10^{-4}$	0,006	
		10,9	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,011	
Оболочка кабелей ПВХ	$F = 0,0067 \text{ м}^2$	12,7	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,032	0,109
		27,9	$3,00 \cdot 10^{-3}$	0,028	
	$F = 0,012 \text{ м}^2$	7,6	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,035	
		20,0	$3,00 \cdot 10^{-3}$	0,050	
Масло трансформаторное	$F = 0,01 \text{ м}^2; \delta = 1,15 \text{ мм}$	3,5	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,042	0,122
		5,0	$2,00 \cdot 10^{-3}$	0,056	
	$F = 0,01 \text{ м}^2; \delta = 7,3 \text{ мм}$	5,4	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,012	
		5,7	$5,10 \cdot 10^{-3}$	0,061	

что химический состав оболочки кабелей ПВХ и масла трансформаторного в настоящей работе и в публикации [9] может значительно отличаться друг от друга. Кроме того, в данных опытах не измерялась влажность хвойных древесных стройматериалов.

Заключение

Эксперименты, проведенные на мелкомасштабной установке в условно герметичном объеме, показали, что удельные коэффициенты выделения СО значительно изменяются по времени с начала горения

и их средние значения существенно зависят от периода осреднения по времени испытаний.

Необходимо продолжение экспериментальных исследований с целью обоснования методики получения опытных значений удельных коэффициентов выделения монооксида углерода, являющихся исходными данными для математических моделей расчета динамики опасных факторов пожара в полномасштабном помещении. Испытания будут выполнены на мелкомасштабной установке как по условно герметичной, так и по проточной схемам течения [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белешиников И. Л. Судебно-медицинская оценка содержания цианидов в органах и тканях людей, погибших в условиях пожара : автореф. дис. ... канд. мед. наук. — СПб., 1996. — 24 с.
2. Иличкин В. С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов: Принципы и методы определения. — СПб. : Химия, 1993. — 136 с.
3. NFPA 269. Standard test method for developing toxic potency data for use in fire hazard modeling. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2003. — P. 269-1–269-18.
4. Пузач С. В., Смагин А. В., Лебедченко О. С., Абакумов Е. С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. — 222 с.
5. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 336 с.
6. NFPA 92B. Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1990.
7. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics Simulator (Version 6). NIST Special Publication 1018. — Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. — 149 p.
8. Welch S., Rubini P. SOFIE: Simulation of Fires in Enclosures. User Guide. — United Kingdom, Cranfield : Cranfield University, 1996. — 340 p.
9. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
10. Пузач С. В., Пузач В. Г., Доан В. М. К определению показателя токсичности продуктов горения горючих веществ и материалов в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 4–13.

11. Пузач С. В., Сулейкин Е. В. Новый теоретико-экспериментальный подход к расчету распространения токсичных газов при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13–20.
12. Tanaka T., Yamada S. BRI2002: Two layer zone smoke transport model. Chapter 1. Outline of the model // Fire Science and Technology. — 2004. — Vol. 23, No. 1. — P. 1–44. DOI: 10.3210/fst.23.1.
13. Hansell G. O., Morgan H. P. Design approaches for smoke control in atrium buildings. Report BRE 258. — UK, Garston : Building Research Establishment, 1994. — 57 p.

Материал поступил в редакцию 18 марта 2016 г.

Для цитирования: Пузач С. В., Акперов Р. Г. Экспериментальное определение удельного коэффициента образования монооксида углерода при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 18–25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18–25.

English

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE SPECIFIC COEFFICIENT OF RELEASE OF CARBON MONOXIDE DURING A FIRE IN THE ROOM

PUZACH S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, the Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: puzachsv@mail.ru)

AKPEROV R. G., Lecturer, Fire Safety in Building Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: akperov01@mail.ru)

ABSTRACT

An experimental installation for small-scale modeling of thermal and gas dynamics of fire in conventionally sealed volume during the combustion of solid and liquid combustible substances and materials is created. The plant consists of a combustion chamber and the exposure chamber in which there are measured the current mass of combustible material, the temperature of heat source, the mean volume temperature and mean volume gas concentrations in the gas mixture.

Analytical dependence for calculating the mean volume density of carbon monoxide is proposed. It is shown that the above mentioned density does not depend on the properties of the combustible material, sizes of the room and the area of the exposed surface of the fuel material. Thus, the above relationship is valid in a small-scale and large-scale conditions of fires in the room.

Experimental dependences between mean volume density of carbon monoxide and the mean volume temperature are obtained. Experimental dependences of the coefficients of the specific release of carbon monoxide and specific gasification mass rates from testing time during the combustion of coniferous wood, transformer oil and PVC sheath cables are received. It was found that the above coefficients are substantially unsteady.

A comparison of experimental results with those of literary sources and the analytical solution of the integral model is presented. The essential difference between the obtained values of L_{CO} and the provided ones in the literature can be explained by differences in the experimental conditions. Also the chemical compositions of the PVC sheath cables and transformer oil in this paper and in the published ones may differ significantly from each other. Furthermore, in these experiments there was not measured humidity of coniferous wood materials.

It is shown that the values of the specific release coefficient and density of carbon monoxide are insignificant in the initial stage of burning when the oxygen concentration remains practically unchanged. By reducing the concentration of the oxygen emission of carbon monoxide increases dramatically and the density of carbon monoxide quickly reaches its critical value.

It was found that the average value of the specific release coefficient of carbon monoxide depends essentially on the averaging period of the time. Averaging value can be changed in the case of

coniferous wood materials in 2.63 times, for cable sheathing PVC — 1.8 times and transformer oil — 5.1 times.

Keywords: fire; modeling; carbon monoxide; specific coefficient of release of carbon monoxide; specific mass speed of gasification.

REFERENCES

1. Beleshnikov I. L. *Sudebno-meditsinskaya otsenka sodержaniya tsianidov v organakh i tkanyakh lyudey, pogibshikh v usloviyakh pozhara: avtoref. dis. kand. med. nauk* [Forensic medical assessment of the content of cyanide in the organs and tissues of people who died in a fire. Abstr. cand. med. sci. diss.]. Saint Petersburg, 1996. 24 p.
2. Ilichkin V. S. *Toksichnost produktov goreniya polimernykh materialov: Printsipy i metody opredeleniya* [Toxicity of combustion products of polymeric materials: Principles and methods of determination]. Saint Petersburg, Khimiya Publ., 1993. 136 p.
3. *NFPA 269. Standard test method for developing toxic potency data for use in fire hazard modeling*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2003, pp. 269-1–269-18.
4. Puzach S. V., Smagin A. V., Lebedchenko O. S., Abakumov E. S. *Novyye predstavleniya o raschete neobkhodimogo vremeni evakuatsii lyudey i ob effektivnosti ispolzovaniya portativnykh filtruyushchikh samospasateley pri evakuatsii na pozharakh* [New ideas about the calculation of necessary time of evacuation of people and the effectiveness of using a portable filter self-rescuers during evacuation at fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2007. 222 p.
5. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvbezopasnosti* [Methods for calculating the heat and mass transfer in a fire at the premises and their application in solving practical problems of fire safety]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 336 p.
6. *NFPA 92B. Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 1990.
7. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. *Fire Dynamics Simulator (Version 6)*. National Institute of Standards and Technology. Special Publication 1018. Gaithersburg, 2013. 149 p.
8. Welch S., Rubini P. *SOFIE: Simulation of Fires in Enclosures. User Guide*. United Kingdom, Cranfield, Cranfield University, 1996. 340 p.
9. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2000. 118 p.
10. Puzach S. V., Puzach V. G., Doan V. M. K opredeleniyu pokazatelya toksichnosti produktov goreniya goryuchikh veshchestv i materialov v pomeshchenii [To definition of toxic potency of combustion products of combustible materials in compartment]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 4–13.
11. Puzach S. V., Suleykin E. V. *Novyy teoretiko-eksperimentalnyy podkhod k raschetu rasprostraneniya toksichnykh gazov pri pozhare v pomeshchenii* [New united theoretical and experimental approach to the calculation of the distribution of toxic gases in case of fire in the room]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20.
12. Tanaka T., Yamada S. *BRI2002: Two layer zone smoke transport model. Chapter 1. Outline of the model. Fire Science and Technology*, 2004, vol. 23, no. 1, pp. 1–44. DOI: 10.3210/fst.23.1.
13. Hansell G. O., Morgan H. P. *Design approaches for smoke control in atrium buildings. Report BRE 258*. UK, Garston, Building Research Establishment, 1994. 57 p.

For citation: Puzach S. V., Akperov R. G. Eksperimentalnoye opredeleniye udelnogo koeffitsiyenta obrazovaniya monoksida ugleroda pri pozhare v pomeshchenii [Experimental determination of the specific coefficient of release of carbon monoxide during a fire in the room]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 18–25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25.