

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)

Е. В. СУЛЕЙКИН, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: skynet01@mail.ru)

УДК 614.841

НОВЫЙ ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ

Рассмотрены две характерные схемы термогазодинамической картины пожара при горении твердых и жидких горючих веществ и материалов в помещении. Разработана экспериментальная мелкомасштабная установка. Проведено сопоставление результатов расчетов среднеобъемной плотности монооксида углерода, полученных для полномасштабного помещения с использованием аналитического решения интегральной модели и зонной математической модели, с экспериментальными данными. Показано, что расчет плотностей токсичных газов в полномасштабном помещении можно проводить с учетом только экспериментальных зависимостей вышеуказанных среднеобъемных плотностей от среднеобъемной температуры без использования удельных коэффициентов выделения токсичных газов.

Ключевые слова: пожар; горение; токсичные газы; подобие; коэффициент теплопотерь.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20

Введение

По статистике более чем в 80 % случаев причиной смерти людей на пожарах является отравление продуктами горения [1, 2], поэтому математическое моделирование распространения токсичных продуктов горения при пожаре представляет собой весьма актуальную задачу [3–5].

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 расчета пожарных рисков [6].

Исходные данные по выделению токсичных продуктов горения представлены, например, в учебном пособии [7] и в монографии [5]. Однако приведенные в этих работах (как и в других публикациях) базы данных по свойствам горючих материалов имеют два основных недостатка:

- ограничено количество токсичных газов (CO , CO_2 и HCl — в [7], дополнительно к [7] для ряда горючих материалов в [5] приведены данные по выделению HCN , NO_x , $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$);
- ограничено количество горючих веществ и материалов.

В связи с расширением использования в строительстве новых материалов и изделий, в том числе на основе полимеров, горение и тление которых со-

провождается выделением большого количества токсичных продуктов горения, получение исходных данных по выделению токсичных газов становится все более актуальной проблемой.

Количество выделяющихся при пожаре токсичных газов определяется химическим составом и концентрацией газообразных продуктов газификации твердых и жидких горючих веществ и материалов, а также термогазодинамическими условиями пожара [2, 7].

В настоящее время эта проблема все еще не решена с теоретической и экспериментальной точек зрения из-за сложности физико-химических условий протекания процессов газификации и горения, а также неопределенности химического состава современных строительных материалов. Кроме того, экспериментально найденные значения удельных коэффициентов образования токсичных газов получены, как правило, в результате мелкомасштабных экспериментов, которые не воспроизводят полномасштабных термогазодинамических условий протекания пожара в реальных помещениях.

В настоящей работе, являющейся продолжением работ [5, 8, 9], представлены результаты экспериментального и теоретического исследования зависимости массовых концентраций токсичных газов (на примере монооксида углерода) от температуры смесей продуктов горения и воздуха, образующихся

в мелкомасштабной экспериментальной установке, а также рассмотрения возможности распространения полученных данных на реальное полномасштабное помещение без использования удельных коэффициентов выделения токсичных газов.

Постановка задачи

Рассмотрим две характерные схемы термогазодинамической картины пожара в помещениях с существенно различающимися размерами при горении твердых и жидких горючих веществ и материалов:

- схема № 1 — процесс горения с использованием вытяжной вентиляции для удаления продуктов горения из мелкомасштабной камеры (рис. 1,а);
- схема № 2 — пожар в полномасштабном помещении с малой проемностью или на начальной стадии пожара, когда через проемы происходит только вытеснение газовой среды помещения наружу (рис. 1,б).

В качестве токсичного газа будем рассматривать монооксид углерода.

Необходимо определить экспериментальные и теоретические зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от среднеобъемной температуры газовой среды при пожаре в рассматриваемых мелко- и крупномасштабных помещениях.

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 электронагре-

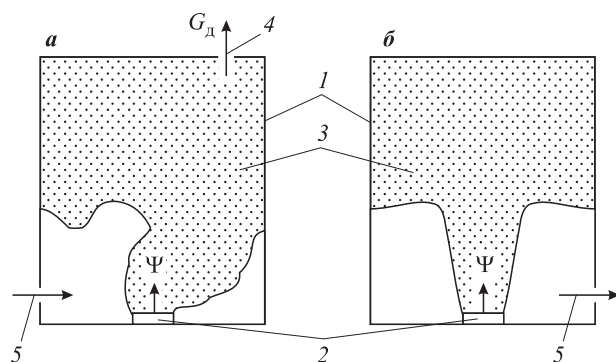


Рис. 1. Схема тепломассообмена в мелкомасштабной камере при работе вытяжной вентиляции (а) и в полномасштабном помещении с малой проемностью или на начальной стадии пожара, когда через проемы происходит только вытеснение газовой среды помещения наружу (б): 1 — ограждающие конструкции; 2 — горючий материал; 3 — смесь продуктов горения и воздуха; 4 — система дымоудаления; 5 — направление движения воздуха через открытый проем; G_d — массовый расход системы дымоудаления, кг/с; Ψ — скорость газификации горючего материала, кг/с

вательный 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 режима испытания.

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

Держатель образцов размещен на электронных весах (с погрешностью не более $\pm 1 \text{ мг}$), расположенных на специальном подвижном столе 7.

Рабочий участок 12 для измерений представляет собой стальную трубу с внутренним диаметром 50 мм, соединенную с экспозиционной камерой. За рабочим участком расположен вентилятор 13 с регулируемым расходом газовой смеси, удаляемой из экспозиционной камеры.

Для непрерывного контроля температуры в экспозиционной камере и на рабочем участке использовалась низкоинерционная бронированная термопара 14 с диапазоном измерений от минус 40 до $+1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ с погрешностью не более $\pm 1,5t \text{ }(^{\circ}\text{C})$.

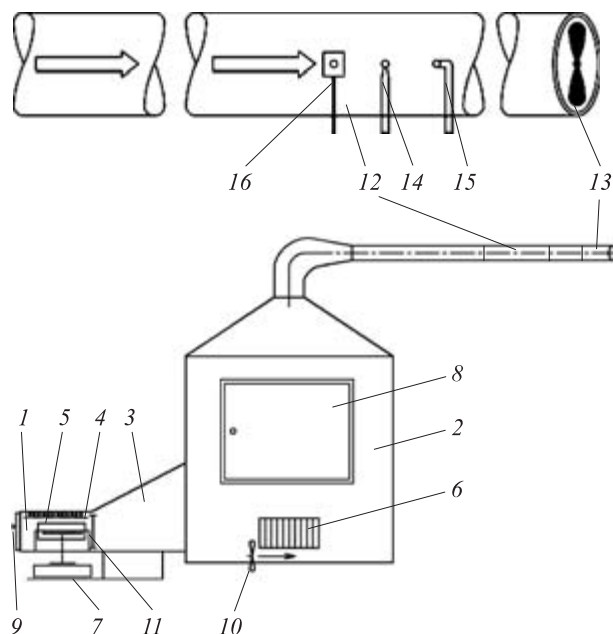


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — экспозиционная камера; 3 — переходной рукав; 4 — электронагревательный излучатель; 5 — держатель образца; 6 — шиберные отверстия; 7 — столик для весов; 8 — дверца экспозиционной камеры; 9 — дверца камеры сгорания; 10 — вентилятор; 11 — заслонка (перегородка) переходного рукава; 12 — рабочий участок; 13 — вентилятор; 14 — термопара; 15 — зонд газоанализатора (для измерения концентраций CO , CO_2 и O_2); 16 — зонд термоанемометра (для измерения скорости газового потока)

Для контроля плотности теплового потока, падающего на образец, подвергаемый испытаниям, применяются водоохлаждаемый датчик типа Гордона и регистрирующий прибор с диапазоном измерений от 0 до 100 мВ. Погрешность измерения плотности теплового потока не превышает $\pm 8\%$.

Для непрерывного контроля состава газовой среды на рабочем участке используется многоканальный газоанализатор (на рис. 2 указан его измерительный зонд 15), измеряющий концентрацию оксида углерода в диапазоне от 0 до 1 % об. с допустимой погрешностью $\pm 10\%$, диоксида углерода — от 0 до 5 % об. с допустимой погрешностью $\pm 10\%$, кислорода — от 0 до 21 % об. с допустимой погрешностью $\pm 10\%$.

Скорость движения газовой смеси вдоль оси симметрии рабочего участка измеряется с помощью термоанемометра (на рис. 2 указан его измерительный зонд 16) в диапазоне от 0,1 до 30 м/с с погрешностью измерений $\pm 0,5$ м/с.

Горючие материалы испытывались в режиме пламенного горения, который обеспечивается при температуре испытания 750°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 электроннагревательного 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 на рабочем участке (см. рис. 2) в режиме постоянного мониторинга фиксируются на оси симметрии проточной части (рабочий участок) показания концентраций (% об.) CO , CO_2 , O_2 , температуры, скорости течения газовой смеси и изменение массы образца.

Интегральная модель расчета теплообмена

В работе [8] показано, что среднеобъемная плотность токсичного газа может быть описана зависимостью

$$\rho_{г.ср} = K(L_{г.}/Q_{н}^p), \quad (1)$$

где $\rho_{г.ср}$ — среднеобъемная плотность токсичного газа, кг/м^3 ;

K — коэффициент пропорциональности между среднеобъемной плотностью токсичного газа и отношением $L_{г.}/Q_{н}^p$, Дж/м^3 ;

$L_{г.}$ — удельный коэффициент образования токсичного газа;

$Q_{н}^p$ — низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг .

Коэффициент пропорциональности не зависит от свойств горючего материала, размеров помещения и площади открытой поверхности горючего материала и является функцией только трех параметров, характеризующих термодинамическую картину пожара [8]:

$$K = f(T_{ср}, T_{в}, \varphi), \quad (2)$$

где $T_{ср}$ — среднеобъемная температура газовой среды, K ;

$T_{в}$ — температура воздуха в помещении, K ;

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

Для схем пожара № 1 и № 2 [8]

$$K = \frac{3,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{ср} - T_{в}}{T_{ср}}. \quad (3)$$

Приняв $K/Q_{н}^p = \rho^*$, преобразуем выражение (1) к виду:

$$\rho_{г.ср} = \rho^* L_{г.}, \quad (4)$$

где ρ^* — характерная плотность, зависящая только от теплофизических параметров пожара и горючего материала, кг/м^3 .

Зонная модель расчета теплообмена

Используется трехзонная модель для начальной стадии пожара, когда через проемы происходит только вытеснение воздуха помещения наружу. Объем помещения разбит на три зоны: конвективную колонку, припотолочный слой и зону холодного воздуха [7].

Высота нижней границы припотолочного слоя находится из решения обыкновенного дифференциального уравнения, полученного из закона сохранения энергии для припотолочного слоя без учета действия работы системы дымоудаления и приточной вентиляции [7]:

$$\frac{dz_{к}}{d\tau} = -\frac{G_{к}}{\rho_{в} F_{п}} - \frac{Q_{пж}(1 - \varphi)}{c_p \rho_{в} T_{в} F_{п}}, \quad (5)$$

где $z_{к}$ — расстояние от открытой поверхности горючего материала до нижней границы припотолочного слоя, м ;

τ — время, с ;

$G_{к}$ — массовый расход газовой смеси, поступающей из конвективной колонки в припотолочный слой, кг/с ;

$\rho_{в}$ — плотность воздуха в помещении, кг/м^3 ;

$F_{п}$ — площадь потолка помещения, м^2 ;

$Q_{пж}$ — скорость тепловыделения в помещении, Вт ; $Q_{пж} = \eta \psi_{уд} Q_{н}^p F_{г.}$;

η — полнота сгорания;

$\psi_{уд}$ — удельная скорость газификации горючего материала, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $\psi_{уд} = \Psi/F_r$;

F_r — площадь открытой поверхности горючего материала, охваченной горением, м^2 ;

c_p — удельная изобарная теплоемкость смеси газов, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Начальное условие (при $\tau = 0$) имеет вид: $z_k = H - \delta$ (где H — высота помещения, м; δ — толщина слоя масла или образца древесины, м).

Массовый расход в сечении конвективной колонки определяется по формулам [10]:

- при $z > z_{пл}$:

$$G = 0,071 \left(\frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{1000} \right)^{1/3} z^{5/3} + 1,8 \cdot 10^{-6} Q_{пож} (1 - \chi); \quad (6)$$

- при $z \leq z_{пл}$:

$$G = 0,032 \left(\frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{1000} \right)^{3/5} z, \quad (7)$$

где z — координата поперечного сечения колонки, отсчитываемая от открытой поверхности горючего материала, м;

$z_{пл}$ — высота пламенной зоны, м;

$$z_{пл} = 0,166 \left(\frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{1000} \right)^{2/5};$$

χ — коэффициент теплопотерь из зоны конвективной колонки;

G — расход смеси газов через сечение колонки, находящееся на высоте z , $\text{кг}/\text{с}$.

Средняя температура в сечении конвективной колонки T_k (К) определяется по формуле [7]:

$$T_k = T_b + \frac{Q_{пож} (1 - \chi)}{c_p G}. \quad (8)$$

Средняя плотность и температура смеси газов в припотолочном слое находятся из решения соответственно дифференциального уравнения закона сохранения массы припотолочного слоя и уравнения состояния идеального газа [7]:

$$\frac{d(\rho_{пс} V_{пс})}{d\tau} = G_k; \quad (9)$$

$$p_{пс} = \rho_{пс} R T_{пс} \approx p_b, \quad (10)$$

где $\rho_{пс}$ — средняя плотность газовой смеси в припотолочном слое, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$V_{пс}$ — объем зоны припотолочного слоя, м^3 ;

$p_{пс}$ — среднее давление в зоне припотолочного слоя, Па;

R — газовая постоянная (принимается, что газовые постоянные воздуха и смеси продуктов горения с воздухом равны [7]), $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

$T_{пс}$ — средняя температура газовой смеси в припотолочном слое, К;

p_b — давление наружного воздуха при $z = 0$, Па.

Средняя плотность токсичного газа в припотолочном слое определяется из закона сохранения массы указанного выше газа [7]:

$$\frac{d(\rho_{г.пс} V_{пс})}{d\tau} = \Psi L_r, \quad (11)$$

где $\rho_{г.пс}$ — средняя плотность токсичного газа в припотолочном слое, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Ψ — скорость газификации горючего материала, $\text{кг}/\text{с}$.

Уравнения (5), (9) и (11) решаются численным методом Рунге–Кутты 4-го порядка точности [11].

Исходные данные

Размеры полномасштабных помещений принимались равными $5 \times 5 \times 15$, $10 \times 10 \times 10$ и $20 \times 20 \times 25$ м.

Рассматривались следующие горючие материалы [7]:

- твердая горючая нагрузка — хвойные древесные стройматериалы: $Q_n^p = 13,8$ МДж/кг; $\psi_{уд} = 0,0063$ $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $w_d = 0,0585$ м/с; $L_{CO} = 0,024$ (где w_d — линейная скорость распространения пламени по поверхности твердого горючего материала, м/с; L_{CO} — удельный коэффициент образования оксида углерода);
- жидкая горючая нагрузка — масло трансформаторное: $Q_n^p = 41,9$ МДж/кг; $\psi_{уд} = 0,03$ $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $L_{CO} = 0,122$; $\tau_{ст} = 10$ мин или $\tau_{ст} = 20$ мин (где $\tau_{ст}$ — время стабилизации горения, мин).

При расчете полномасштабного помещения коэффициент теплопотерь ϕ принимался равным 0,6. В случае мелкомасштабного помещения среднее за время испытаний значение ϕ определялось из расчета с использованием полной системы уравнений интегральной модели [6].

Начальные условия задавались следующими: $T_b = 293$ К; $p_b = 1,013 \cdot 10^5$ Па.

Результаты численных и натурных экспериментов и их анализ

Численные и натурные эксперименты проводились до температуры газовой смеси внутри помещений, не превышающей критического значения для человека, равного 70°C [7]. При температуре выше 70°C человек гибнет от теплового ожога.

Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от повышения среднеобъемной температуры представлены на рис. 3 для случая горения хвойных древесных стройматериалов, на рис. 4 — для случая горения трансформаторного масла.

Из анализа данных на рис. 3 для случая горения хвойных древесных материалов можно сделать следующие выводы:

- отличие значений плотности монооксида углерода, полученных при одинаковом повышении

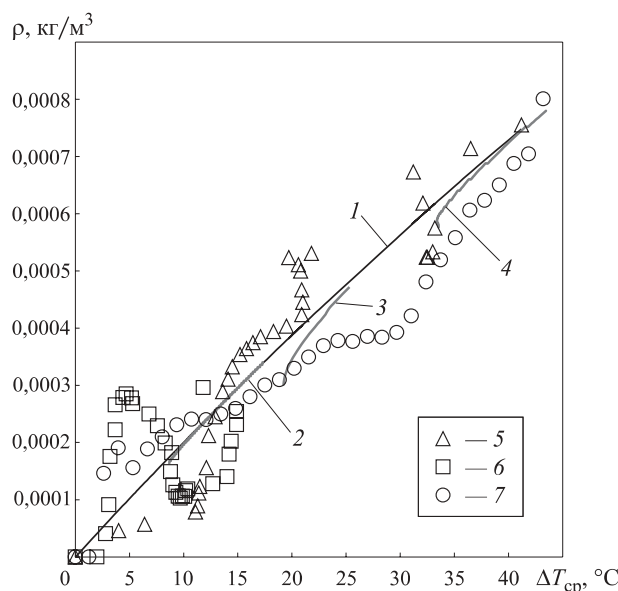


Рис. 3. Зависимости среднеобъемной плотности оксида углерода от повышения среднеобъемной температуры при горении хвойных древесных стройматериалов, полученные теоретически (1–4) и экспериментально (5–7): 1 — формула (4) ($\varphi = 0,9$); 2 — зонная модель ($20 \times 20 \times 25$ м, $\varphi = 0,6$); 3 — зонная модель ($5 \times 5 \times 15$ м, $\varphi = 0,6$); 4 — зонная модель ($10 \times 10 \times 10$ м, $\varphi = 0,6$); 5 — $W_{\text{вт}} = 0,007 \div 0,0133$ м³/с, $\varphi = 0,9$; 6 — $W_{\text{вт}} = 0,005 \div 0,009$ м³/с, $\varphi = 0,97$; 7 — при естественном дымоудалении, $\varphi = 0,92$; $W_{\text{вт}}$ — объемный расход вентилятора экспериментальной установки, м³/с; $\Delta T_{\text{cp}} = T_{\text{cp}} - T_{\text{в}}$ — повышение среднеобъемной температуры, °C

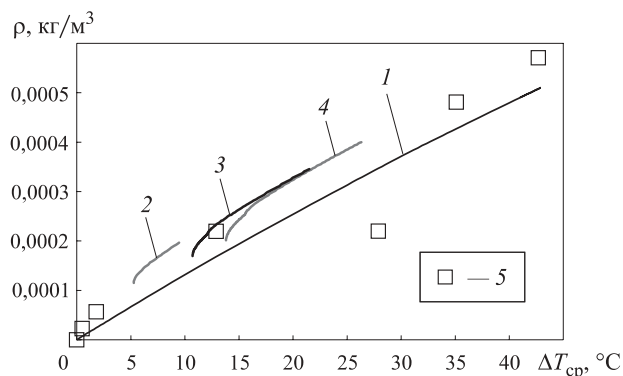


Рис. 4. Зависимости среднеобъемной плотности оксида углерода от повышения среднеобъемной температуры при горении масла трансформаторного, полученные теоретически (1–4) и экспериментально (5): 1 — формула (4) ($\varphi = 0,75$); 2 — зонная модель ($10 \times 10 \times 10$ м, $\varphi = 0,6$, $\tau_{\text{ст}} = 20$ мин); 3 — зонная модель ($10 \times 10 \times 10$ м, $\varphi = 0,6$, $\tau_{\text{ст}} = 10$ мин); 4 — зонная модель ($5 \times 5 \times 15$ м, $\varphi = 0,6$, $\tau_{\text{ст}} = 10$ мин); 5 — $W_{\text{вт}} = 0,001 \div 0,0098$ м³/с, $\varphi = 0,75$

температуры с использованием интегрального подхода (выражение (4), кривая 1) и зонной математической модели (кривые 2–4), не превышает 12 %;

- плотность монооксида углерода, полученная с использованием формулы (4) (кривая 1), совпадает с экспериментальными данными, представ-

ленными кривыми 5 и 7, с достоверностью 0,831, кривой 6 — с достоверностью 0,032.

Отличие теоретического значения плотности СО от экспериментального можно объяснить влиянием двух факторов:

- удельный коэффициент образования СО принимался по базе данных [7], а не был измерен непосредственно в экспериментах;
- коэффициент теплопотерь в экспериментальной установке принимался средним за время проведения расчетов.

Из анализа данных на рис. 4 для случая горения трансформаторного масла можно сделать следующие выводы:

- отличие значений плотности монооксида углерода, полученных при одинаковом повышении температуры с использованием интегрального подхода (выражение (4), кривая 1) и зонной математической модели (кривые 2–4), не превышает 17 %;
- плотность монооксида углерода, полученная с использованием формулы (4) (кривая 1), совпадает с экспериментальными данными (кривая 5) с достоверностью 0,894.

Из вышесказанного можно сделать заключение, что результаты экспериментальных исследований в мелкомасштабном помещении для рассмотренных исходных данных можно распространять на крупномасштабное помещение при допустимых погрешностях, указанных выше. В дальнейшем по мере отладки экспериментальной установки значения L_{CO} и φ будут уточняться.

Заключение

Предложен новый подход к расчету концентраций токсичных продуктов горения при пожаре в полномасштабном помещении с помощью интегральной и зонной моделей термогазодинамики пожара, в котором в отличие от традиционного [6, 7, 12, 13] не используются удельные коэффициенты выделения токсичных газов. Новый метод заключается в следующем:

- проводится исследование рассматриваемого горючего материала в предложенной мелкомасштабной экспериментальной установке с целью получить зависимости среднеобъемных плотностей токсичных газов от температуры (до 70 °C);
- выполняется расчет зависимости среднеобъемной температуры (интегральная модель) или среднеобъемной температуры припотолочного слоя (зонная модель) от времени с начала пожара с уточнением коэффициента теплопотерь;
- для каждого момента времени пожара по расчетной среднеобъемной температуре или среднеобъемной температуре припотолочного слоя

определяются соответствующие среднеобъемные плотности токсичных газов по полученным экспериментальным зависимостям с поправкой на коэффициент теплопотерь в полномасштабном помещении.

Для повышения точности расчетов необходимо определять удельный коэффициент образования токсичного газа и коэффициент теплопотерь непосредственно при проведении экспериментов на предложенной экспериментальной установке.

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. Levin B. C. New research avenues in toxicology: 7-gas N-gas model, toxicant suppressants, and genetic toxicology // Toxicology. — 1996. — Vol. 115, No. 1-3. — P. 89–106. DOI: 10.1016/s0300-483x(96)03497-x.
5. 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.
6. 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.
7. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
8. 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.
9. Пузач С. В., Сулейкин Е. В., Акперов Р. Г., Дутов В. И. Повышение достоверности экспериментальных методов определения показателя токсичности веществ и материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 29–37.
10. NFPA 92B. 1990 NFPA Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1990.
11. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М. : Наука, 1968. — 720 с.
12. 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.
13. Welch S., Rubini P. SOFIE: Simulation of Fires in Enclosures. User Guide. — United Kingdom, Cranfield : Cranfield University, 1996. — 340 p.

Материал поступил в редакцию 21 декабря 2015 г.

Для цитирования: 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.

English

NEW UNITED THEORETICAL AND EXPERIMENTAL APPROACH TO THE CALCULATION OF THE DISTRIBUTION OF TOXIC GASES IN CASE OF FIRE IN THE ROOM

PUZACH S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Science Worker 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)

SULEYKIN E. V., Lecturer, Fire Safety in Building Department,
State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4,
Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: skynet01@mail.ru)

ABSTRACT

There are considered two typical schemes of the thermodynamic picture of the fire when burning solid and liquid combustible substances and materials: the combustion process with the use of exhaust ventilation to remove combustion products from small-scale chamber and fire in a full-scale room with a small square of holes or at the initial stage of fire, when through the openings occurs only a displacement of the gaseous environment of the room to the outside.

It is presented the analytical dependence for the calculation of the average volume density of toxic gas in the case of the above mentioned schemes of fire development. It is shown that the density does not depend on the properties of the combustible material, the size of the room and exposed surface area of combustible material.

Three-zone mathematical model of initial stage of fire in the room is described.

Small-scale pilot plant is created for realizing the combustion process with the use of exhaust ventilation to remove products of combustion.

The results of calculations of the carbon monoxide density, obtained for full-scale fire using analytical solution of the integral model and zonal mathematical model, are compared with the experimental data.

It is shown that the calculations of densities of toxic gases in full-scale room can be performed taking into account only the experimental dependencies of the above mentioned densities from the temperature without using specific coefficients for the release of toxic gases. The accuracy of such calculations is sufficient to solve practical problems.

On the basis of obtained results it is suggested a new approach to the calculation of the spread of toxic combustion products during a fire in a full-scale room, which, unlike traditional, is the following:

- it is conducted experimental research of combustible material in the proposed small-scale pilot plant with the aim of obtaining dependencies between average volume densities of toxic gases and temperature (up to 70 °C);
- dependencies volumetric average temperature (integral model) or volumetric average temperature of under ceiling layer (zonal model) on the time the fire started are calculated, as well as the value of the coefficient of heat losses;
- the corresponding average volumetric densities of toxic gases are defined by the corresponding obtained experimental curves using the calculated average volume temperature or average volume temperature of under ceiling layer for each point in time of fire.

Keywords: fire; burning; toxic gases; similarity; heat losses coefficient.

REFERENCES

1. Beleshnikov I. L. *Sudebno-meditsinskaya otsenka soderzhaniya 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, 1990. 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. Levin B. C. New research avenues in toxicology: 7-gas N-gas model, toxicant suppressants, and genetic toxicology. *Toxicology*, 1996, vol. 115, no. 1-3, pp. 89–106. DOI: 10.1016/s0300-483x(96)03497-x.
5. 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.

6. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti* [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.
7. 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.
8. 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]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 4–13.
9. Puzach S. V., Suleykin E. V., Akperov R. G., Dutov V. I. Povysheniye dostovernosti eksperimentalnykh metodov opredeleniya pokazatelya toksichnosti veshchestv i materialov [Increasing the validity of experimental definition of substance and material toxic potency]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 29–37.
10. *NFPA 92B. 1990 NFPA Technical Committee Reports — Technical Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 1990.
11. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Mathematical handbook for scientists and engineers]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 720 p.
12. 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.
13. Welch S., Rubini P. *SOFIE: Simulation of Fires in Enclosures. User Guide*. United Kingdom, Cranfield, Cranfield University, 1996. 340 p.

For citation: 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]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20.



“УМНАЯ БАТАРЕЙКА” ДЛЯ ПОЖАРНЫХ СИГНАЛИЗАЦИЙ

9-вольтовая батарейка типоразмера PP3 задумана в качестве “умной” альтернативы обычным батарейкам, которыми комплектуются датчики задымления и пожарная сигнализация. В отличие от последних Roost оборудована модулем беспроводной связи и парой полезных датчиков. При срабатывании сигнализации “умная батарейка” высылает на смартфон хозяина тревожное сообщение, дублируя его сигналом в ближайшую экстренную службу. Кроме того, Roost умеет предупреждать владельца, когда заряд батарейки снижается до критического уровня и сигнализация вот-вот “уснет”.

<http://habrahabr.ru/company/madrobots/blog/248251/>