

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022. Т. 31. № 1. С. 6–13
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022; 31(1):6-13

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.841

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2022.31.01.6-13>

Сравнительная оценка критериев определения критических величин парциальной плотности монооксида углерода при расчете времени блокирования путей эвакуации при пожаре в помещении

Сергей Викторович Пузач^{1✉}, Руслан Анатольевич Черепанов²,
Руслан Гянджавиевич Акперов¹

¹ Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия

² Специальное управление ФПС № 20 МЧС России, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. При расчете времени блокирования путей эвакуации монооксидом углерода критериями наступления вышеуказанного времени могут являться критические величины парциальной плотности газа, токсодозы или относительной массы карбоксигемоглобина в крови человека. Однако сравнительный анализ влияния выбора критерия на время блокирования путей эвакуации этим газом не проводился.

Цели и задачи. Целью статьи является сравнительная оценка времен блокирования путей эвакуации монооксидом углерода, полученных с использованием различных методов определения критических значений плотности монооксида углерода. Для ее достижения проведены экспериментальные исследования процесса горения различных твердых и жидких горючих веществ и материалов в маломасштабной экспериментальной установке и на их основе выполнены расчеты времен блокирования путей эвакуации монооксидом углерода.

Теоретические основы. Поступление монооксида углерода при попадании в организм ингаляционным способом во время пожара рассчитывается по экспериментально измеренным парциальным плотностям СО с помощью математических моделей расчета токсодозы этого газа и образования карбоксигемоглобина в крови человека.

Результаты и их обсуждение. Представлены экспериментальные зависимости от времени испытаний средней объемной плотности монооксида при горении оболочки кабелей ПВХ «low smoke», древесины (сосна), шоколада, масла трансформаторного и масла растительного. Получены теоретические зависимости от времени величин токсодозы, полученной человеком, а также массовой концентрации карбоксигемоглобина в крови человека для рассмотренных горючих материалов. Обнаружено, что времена блокирования путей эвакуации монооксидом углерода могут существенно отличаться друг от друга при использовании различных методов определения критических значений плотности монооксида углерода.

Выводы. В нормативных методах расчета времени блокирования путей эвакуации монооксидом углерода использование величины критической парциальной плотности СО может привести к существенному завышению вышеуказанного времени, что приведет к недооценке токсического воздействия на человека во время его эвакуации. Поэтому необходимо применять все рассмотренные в статье методы с целью выбора минимальной величины вышеуказанного времени.

Ключевые слова: токсичность; карбоксигемоглобин; вентиляция легких; пожарная нагрузка; горение

Для цитирования: Пузач С.В., Черепанов Р.А., Акперов Р.Г. Сравнительная оценка критериев определения критических величин парциальной плотности монооксида углерода при расчете времени блокирования путей эвакуации при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 1. С. 6–13. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.01.6-13

✉ Пузач Сергей Викторович, e-mail: puzachsv@mail.ru

The comparative evaluation of the criteria used to determine the critical values of the partial density of carbon monoxide as part of the calculation of time to the blocking of escape routes in case of a room fire

Sergey V. Puzach^{1✉}, Ruslan A. Cherepanov², Ruslan G. Akperov¹

¹ The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

² Special Management FFS No. 20 Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Critical values of the partial density of gas, the toxic dose or relative mass of carboxyhemoglobin in human blood serve as the criteria determining the time to the blocking of escape routes due to the presence of carbon monoxide. However, the comparative analysis of the effect produced by the selected criterion on the time to the blocking of escape routes due to the presence of this gas has not been conducted yet.

Goals and objectives. The purpose of the article is to compare the values of the time to the blocking of escape routes by carbon monoxide obtained using various methods of determining the critical values of the carbon monoxide density. Towards this end, experimental studies on combustion processes of various solid and liquid combustible substances and materials were conducted in a small-scale test unit, and calculations of the time to the blocking of escape routes with carbon monoxide were made on their basis.

Theoretical fundamentals. The amount of carbon monoxide, inhaled during a fire, is calculated using experimentally measured partial densities of CO and mathematical models designated for the calculation of the toxic dose of this gas and formation of carboxyhemoglobin in human blood.

Results and discussion. Experimental dependencies between the testing time and medium-volume densities of monoxide emitted during the combustion of the "low smoke" PVC cable sheathing, timber (pinewood), chocolate, transformer oil and vegetable oil are presented. The authors obtained theoretical dependencies between the toxic dose and mass concentration of carboxyhemoglobin in human blood, on the one hand, and the time for the combustible materials, analyzed in the article. It has been found that the values of time to the blocking of escape routes due to the presence of carbon monoxide may differ significantly depending on the method used to determine the critical values of the carbon monoxide density.

Conclusions. Standard methods, used to calculate the time to the blocking of escape routes due to the presence of carbon monoxide, employ the value of the critical partial density which may involve a substantial overestimation of the above time frame and the underestimation of the toxic effect produced on a person in the process of his/her evacuation. Therefore, it is necessary to apply all methods, discussed in the article, to select the minimum value of the above time frame.

Keywords: toxicity; carboxyhemoglobin; lung ventilation; fire load; burning

For citation: Puzach S.V., Cherepanov R.A., Akperov R.G. The comparative evaluation of the criteria used to determine the critical values of the partial density of carbon monoxide as part of the calculation of time to the blocking of escape routes in case of a room fire. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(1):6-13. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.01.6-13 (rus).

✉ Sergey Victorovich Puzach, e-mail: puzachsv@mail.ru

Введение

Гибель людей во время пожара происходит в основном из-за отравления токсичными газами [1–10]. Поэтому повышение надежности и достоверности расчета времени блокирования путей эвакуации токсикантами является актуальной проблемой.

Время блокирования путей эвакуации токсичным газом принимается равным промежутку времени от начала пожара до момента времени, когда плотность этого газа достигнет ее критического значения для человека на высоте рабочей зоны на путях эвакуации [11].

Существуют другие методы, основанные на критических величинах следующих параметров:

- по величине токсодозы, полученной человеком во время эвакуации [12, 13];
- в случае монооксида углерода по величине относительной массы карбоксигемоглобина в крови человека [14, 15].

Однако сравнительный анализ влияния выбора критических величин парциальной плотности газа, токсодозы или относительной массы карбоксигемоглобина в крови человека в случае монооксида углерода, как наиболее опасного токсиканта, на время блокирования путей эвакуации этим газом не проводился.

В работах [16, 17] показано, что полученные в маломасштабной экспериментальной установке

зависимости среднеобъемных величин парциальной плотности токсичного газа от среднеобъемной парциальной плотности кислорода справедливы в условиях крупномасштабного пожара в помещении. Поэтому на примере монооксида углерода выполним сравнение различных методов расчета времен блокирования путей эвакуации с использованием экспериментальных зависимостей парциальной плотности этого газа от времени, полученных при горении различных твердых и жидких горючих веществ и материалов в маломасштабной экспериментальной установке.

Целью статьи является сравнительная оценка времен блокирования путей эвакуации монооксидом углерода, полученных с использованием различных методов определения критических значений вышеуказанных параметров.

Для достижения поставленной цели:

- проведены в маломасштабной экспериментальной установке экспериментальные исследования параметров процесса горения различных горючих материалов;
- с помощью полученных экспериментальных зависимостей парциальной плотности монооксида углерода от времени выполнены расчеты времен блокирования путей эвакуации монооксидом углерода с использованием вышеуказанных подходов.

Критические значения параметров процесса распространения монооксида углерода в помещении

Критическая концентрация монооксида углерода при попадании в организм ингаляционным способом равна $\rho_{\text{CO,кр}} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ [11].

Расчет токсодозы проводится с использованием выражения [12, 13]:

$$D = \int_0^{\tau} \rho_{\text{CO}} d\tau, \quad (1)$$

где τ — время от начала горения, с; D — токсодоза, $\text{кг} \cdot \text{с/м}^3$; ρ_{CO} — парциальная плотность CO, кг/м^3 .

Критическое значение токсодозы равно $D_{\text{кр}} = 0,0408 \text{ кг} \cdot \text{с/м}^3$ [13].

Расчет массовой доли карбоксигемоглобина в крови проводится с использованием выражения [14, 15]:

$$\bar{M}_{\text{HbCO}} = \frac{k_W W}{M_{\text{Hb}}} \left(\frac{\mu_{\text{Hb}}}{n \mu_{\text{CO}}} + 1 \right) \int_0^{\tau} \rho_{\text{CO}} d\tau, \quad (2)$$

где $\bar{M}_{\text{HbCO}} = M_{\text{HbCO}}/M_{\text{Hb}}$ — массовая доля карбоксигемоглобина; M_{HbCO} — масса карбоксигемоглобина, г; M_{Hb} — масса гемоглобина, г; W — объемная скорость вентиляции легких, л/мин; k_W — коэффициент,

равный отношению объемного расхода воздуха, поступающего в альвеолы легких, к объемной скорости вентиляции легких; μ_{Hb} — молекулярная масса гемоглобина, кг/кмоль ; μ_{CO} — молекулярная масса CO, кг/кмоль ; n — число молекул CO в одной молекуле карбоксигемоглобина.

Критическое для человека значение массовой доли карбоксигемоглобина принимаем равным $\bar{M}_{\text{HbCO}} = 0,2$ (легкое отравление) [14, 15].

Маломасштабная экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1 [17].

Камера сгорания 1 объемом $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ изолирована теплоизоляционным материалом и объединена с экспозиционной камерой 2 переходным рукавом 3, имеющим шиберную задвижку для отсечения камеры сгорания от экспозиционной камеры. Электронагревательная панель 4, держатель образца 5 и термopара для контроля температуры в объеме камеры расположены в вышеуказанной камере.

Держатель для образцов представляет собой металлическую кювету размером $0,1 \times 0,1 \text{ м}$, находящуюся на весах 7 (погрешность $\pm 1 \text{ мг}$), расположенных на специальном столе, имеющем подвижную основу.

Камера экспозиции имеет кубическую форму объемом $0,5887 \text{ м}^3$, переходящую кверху в конус. Шиберные отверстия для поддува воздуха расположены с двух противоположных стенок камеры.

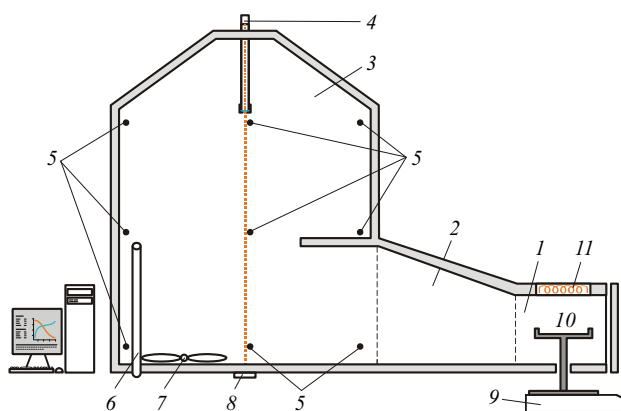


Рис. 1. Схема модифицированной экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — переходной рукав; 3 — экспозиционная камера; 4 — лазерный модуль; 5 — термopары; 6 — зонд отбора газа; 7 — вентилятор; 8 — фоточувствительный элемент; 9 — электронные весы; 10 — держатель образца; 11 — электронагревательный излучатель [17]

Fig. 1. The layout of a modified experimental unit: 1 — combustion chamber; 2 — adapter hose; 3 — exposure chamber; 4 — laser module; 5 — thermocouples; 6 — gas sampling probe; 7 — fan; 8 — photosensitive element; 9 — electronic scales; 10 — sample holder; 11 — electric heating radiator [17]

Для регистрации плотности падающего теплового потока на испытуемый образец используется водоохлаждаемый датчик типа Гордона и милливольтметр. Измерения данного параметра проводятся с погрешностью не более 8 %.

Измерение концентрации оксида углерода (диапазон от 0 до 1 % об., погрешность не более 10 %) со снятием показаний каждые 5 секунд проводится газоанализатором, фиксирующим, кроме того, значения концентраций кислорода и диоксида углерода.

Испытания проводились в режиме пламенного горения образца при температуре от 500 до 750 °С в камере сгорания. При этом плотность падающего теплового потока находилась в пределах от 45 до 60 кВт/м². Пламенное горение, в отличие от режима тления, обеспечивало высокую скорость распространения продуктов терморазложения по объему экспозиционной камеры экспериментальной установки.

После прогрева нагревательным элементом камеры сгорания до достижения рабочей температуры при требуемой плотности падающего на образец теплового потока испытуемый материал помещают в держатель образца, закрывают дверцу камеры сгорания и открывают переходной рукав для поступления продуктов горения в экспонируемую камеру. В процессе испытаний необходимые параметры каждые 5 секунд записываются на персональный компьютер с помощью регистрирующих программ.

Исходные данные

В экспериментах исследовались следующие горючие материалы, находящиеся в зданиях различного функционального назначения:

- твердая горючая нагрузка: оболочки кабелей ПВХ «low smoke» (с пониженным дымовыделением), древесина (сосна), шоколад (горький, 55 % какао-продуктов);
- жидкая горючая нагрузка: масло трансформаторное, масло растительное.

Перед испытаниями образцы материала нарезались под размеры держателя образца (вкладыша) 10 × 10 см. Из кабеля вынималась его металлическая часть. Далее образцы кондиционировались, взвешивались и помещались в специальный держатель образцов (вкладыш).

При спокойном дыхании, когда нет дополнительных воздействий на дыхательный центр, принимаем для взрослого человека весом 75 кг $\dot{V}_W = 5,25$ л/мин и $k_W = 0,7$ [18].

Диффузионная способность легких по СО равна [18]:

- при спокойном дыхании: $D_{л.СО} = 20$ мл/(мм рт. ст. · мин);
- при физической нагрузке: $D_{л.СО} = 60$ мл/(мм рт. ст. · мин).

Расчеты проводим для взрослого человека и ребенка 6 лет.

Принимаем, что в организме взрослого человека средняя масса гемоглобина в крови человека составляет 708,8 г [19], у ребенка 6 лет — 204,8 г [19].

Молекулярная масса гемоглобина составляет $\mu_{Нб} = 68\,800$ кг/кмоль [19, 20], для СО — $\mu_{СО} = 28$ кг/кмоль.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований

Экспериментальные зависимости от времени испытаний среднеобъемной плотности монооксида углерода представлены на рис. 2, токсодозы СО — на рис. 3 и массовой доли карбоксигемоглобина — на рис. 4.

Из рис. 2–4 видно, что во всех экспериментах величины парциальной плотности СО, токсодозы и массовой доли карбоксигемоглобина достигали их критических значений.

На рис. 5 и в таблице приведены времена блокирования путей эвакуации монооксидом углерода, полученные с использованием различных методов их определения для испытываемых горючих материалов.

Достижение критических для человека значений параметров в вышеуказанных методах определяется по следующим параметрам:

- парциальная плотность СО [11];
- величина токсодозы СО (уравнение (1)) [12, 13];
- относительная масса карбоксигемоглобина в крови человека (уравнение (2)) [14, 15].

Из рис. 5 и таблицы видно, что при горении древесины определение времени блокирования путей эвакуации монооксидом углерода с использованием величины критической парциальной плотности СО может привести к существенной недооценке токсического воздействия на человека во время его эвакуации.

Например, вышеуказанное время в 2,3 раза больше времени, полученного при проведении расчета по величине относительной массы карбоксигемоглобина в крови взрослого человека, и в 2,1 раза — по сравнению с применением величины токсодозы.

В соответствии с нормативной литературой («Свод правил. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения. Приложение А (рекомендуемое). Методика определения необходимого времени эвакуации людей из помещения при пожаре») критические концентрации токсичных продуктов горения принимаются по литературным данным для условий однократного воздействия на эвакуирующихся в течение нескольких минут при средних физических нагрузках и по критерию сохранения ими способности реально

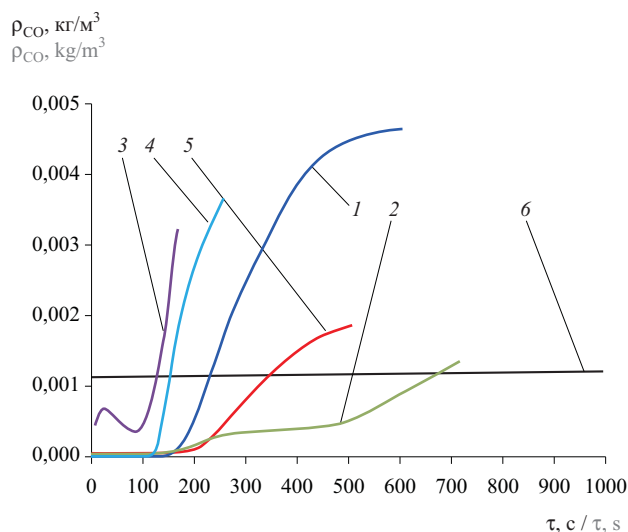


Рис. 2. Экспериментальные зависимости среднеобъемной парциальной плотности монооксида углерода от времени испытаний: 1 — кабели «low smoke»; 2 — древесина (сосна); 3 — масло трансформаторное; 4 — масло растительное; 5 — шоколад; 6 — критическое значение $\rho_{CO,cr}$

Fig. 2. Experimental dependencies between the medium-volume partial density of carbon monoxide and the testing time: 1 — “low smoke” cables; 2 — timber (pine wood); 3 — transformer oil; 4 — vegetable oil; 5 — chocolate; 6 — critical value of $\rho_{CO,cr}$

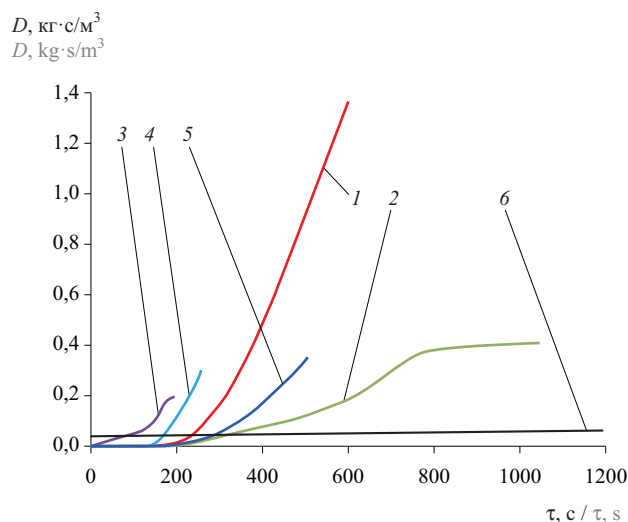


Рис. 3. Экспериментальные зависимости токсодозы монооксида углерода от времени испытаний: 1 — кабели «low smoke»; 2 — древесина (сосна); 3 — масло трансформаторное; 4 — масло растительное; 5 — шоколад; 6 — критическое значение $\rho_{CO,cr}$

Fig. 3. Experimental dependencies between the toxic dose of carbon monoxide and the testing time: 1 — “low smoke” cables; 2 — timber (pine wood); 3 — transformer oil; 4 — vegetable oil; 5 — chocolate; 6 — critical value of $\rho_{CO,cr}$

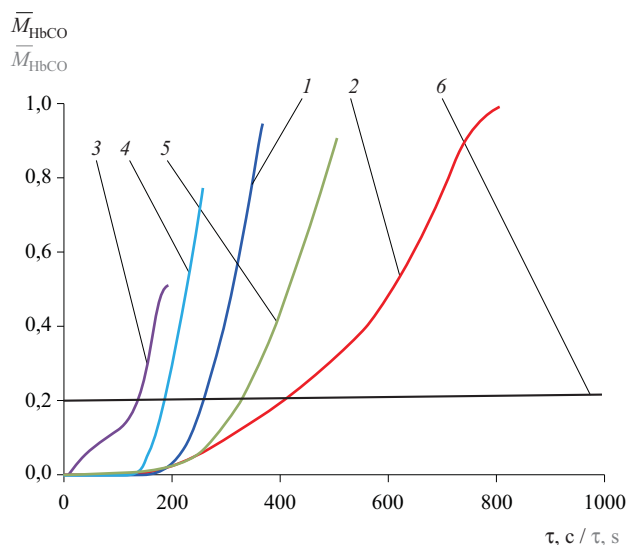


Рис. 4. Зависимости массовой доли карбоксигемоглобина от времени с начала испытаний в случае среднего взрослого человека: 1 — кабели «low smoke»; 2 — древесина (сосна); 3 — масло трансформаторное; 4 — масло растительное; 5 — шоколад; 6 — критическое значение \bar{M}_{HbCO}

Fig. 4. The dependence between the mass content of carboxyhemoglobin and the time as of the beginning of the testing process in the case of an average adult: 1 — “low smoke” cables; 2 — timber (pine wood); 3 — transformer oil; 4 — vegetable oil; 5 — chocolate; 6 — critical value of \bar{M}_{HbCO}

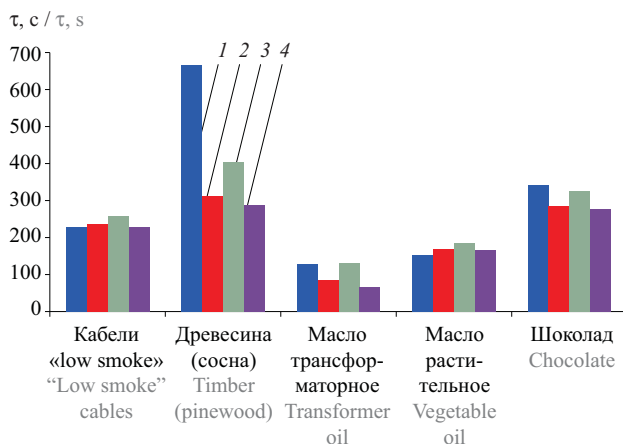


Рис. 5. Времена блокирования путей эвакуации монооксидом углерода, полученные для испытываемых горючих материалов с использованием различных параметров: 1 — парциальная плотность CO; 2 — токсодоза CO; 3 — массовая доля карбоксигемоглобина (средний взрослый человек); 4 — массовая доля карбоксигемоглобина (ребенок 6 лет)

Fig. 5. Values of the time to the blocking of escape routes due to the presence of carbon monoxide obtained for the tested combustible materials using various parameters: 1 — partial density of CO; 2 — toxic doses of CO; 3 — mass content of carboxyhemoglobin (average adult); 4 — mass content of carboxyhemoglobin (6 year old child)

Времена (с) блокирования путей эвакуации монооксидом углерода
Times (s) of blocking of escape routes with carbon monoxide

Параметр, по которому определяется время блокирования The parameter through which time to the blocking of the escape route is determined	Парциальная плотность СО (эксперименты) CO partial density (experiments)	Токсодоза СО (уравнение (1)) CO toxic dose (equation (1))	Массовая доля карбоксигемоглобина в крови (уравнение (2)) Mass content of carboxyhemoglobin in blood (equation (2))	
			взрослый adult	ребенок child
Кабели «low smoke» “Low smoke” cables	228	234	258	227
Древесина (сосна) Timber (pinewood)	666	312	402	288
Масло трансформаторное Transformer oil	126	84	132	65
Масло растительное Vegetable oil	152	168	184	164
Шоколад Chocolate	342	284	324	275

оценивать окружающую обстановку, уверенно принимать и выполнять соответствующие решения. Поэтому в случае горения древесины величину парциальной плотности СО нельзя использовать в качестве критерия наступления времени блокирования путей эвакуации по СО.

Выводы

В нормативных методах расчета времени блокирования путей эвакуации монооксидом углерода (Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных

классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382. – М. : МЧС России, 2009. 45 с. и др.) использование величины критической парциальной плотности СО может привести к существенному завышению вышеуказанного времени, что приведет к недооценке токсического воздействия на человека во время его эвакуации. Поэтому необходимо применять все рассмотренные в статье методы, основанные на расчетах парциальной плотности СО, токсодозы СО и массовой доли карбоксигемоглобина в крови человека.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белешников 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. Kuligowski E.D., Levin B.C. Toxicology of fire and smoke // Inhalation Toxicology. 2005. Vol. 2. Pp. 205–228. DOI: 10.1201/9781420037302.ch10
3. Иличкин В.С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов: Принципы и методы определения. СПб. : Химия, 1993. 136 с.
4. Wilbur S., Williams M., Williams R., Scinicariello F., Klotzbach J.M., Diamond G.L. et al. Toxicological profile for carbon monoxide. Atlanta: Agency for toxic substances and disease registry, division of toxicology and human health sciences, 2012.
5. Purser D. Fire toxicity and toxic hazard analysis // Proceedings of the Sixth International Seminar on Fire and Explosion Hazards. 2011. Pp. 721–734. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_11-01
6. McKenna S.T., Hull T.R. The fire toxicity of polyurethane foams // Fire Science Reviews. 2016. Vol. 5. Issue 1. DOI: 10.1186/s40038-016-0012-3
7. Dhabbah A.M. Ways of analysis of fire effluents and assessment of toxic hazard // Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation. 2015. Vol. 05. Issue 01. Pp. 1–12. DOI: 10.4236/jasmi.2015.51001
8. Purser D. Validation of additive models for lethal toxicity of fire effluent mixtures // Polymer Degradation and Stability Journal. 2012. Vol. 97. Issue 12. Pp. 2552–2561. DOI: 10.1016/j.polyimdegadstab.2012.07.009
9. Stec A.A., Hull T.R. Assessment of the fire toxicity of building insulation materials // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. Issues 2–3. Pp. 498–506. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.10.015

10. Kaczorek-Chrobak K., Fangrat J. PVC-based copper electric wires under various fire conditions: toxicity of fire effluents // *Materials*. 2020. Vol. 13. Issue 5. Pp. 1111. DOI: 10.3390/ma13051111
11. Кошмаров Ю.А., Пузач С.В., Лебедченко О.С., Нгуен Тхань Хай. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М. : Академия ГПС МВД России, 2021. 148 с.
12. Alexeeff G.V., Puckham S.C. Evaluation of smoke toxicity using concentration-time products // *Journal of Fire Sciences*. 1984. Vol. 2. Issue 5. Pp. 362–379. DOI: 10.1177/073490418400200504
13. Hartzell G.E., Emmons H.W. The fractional effective dose model for assessment of toxic hazards in fires // *Journal of Fire Sciences*. 1988. Vol. 6. Issue 5. Pp. 356–362. DOI: 10.1177/073490418800600504
14. Пузач С.В., Нгуен Там Дат. Критические времена воздействия монооксида углерода на человека при пожаре в помещении // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2016. Т. 25. № 11. С. 27–34. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.27-34
15. Пузач С.В., Нгуен Там Дат. Новый подход к расчету критических времен воздействия монооксида углерода на человека при пожаре в помещении // *Безопасность жизнедеятельности*. 2017. № 1 (193). С. 48–56.
16. Пузач С.В., Доан В.М., Нгуен Т.Д., Сулейкин Е.В., Акперов Р.Г. Образование, распространение и воздействие на человека токсичных продуктов горения при пожаре в помещении: монография / под ред. С.В. Пузача. М. : Академия ГПС МЧС России, 2017. 130 с.
17. Пузач С.В., Болдрушкиев О.Б. Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода и монооксида углерода при пожаре в помещении // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2019. Т. 25. № 5. С. 19–26. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.19-26
18. Внутренние болезни. В 10 кн. Кн. 6. Болезни дыхательных путей. Болезни почек и мочевых путей / пер. с англ. ; под ред. Е. Браунвальда, К.Дж. Иссельбахера, Р.Г. Петерсдорфа и др. М. : Медицина, 1995. 416 с.
19. Физиология человека : учебник / под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротко. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Медицина, 2003. 656 с.
20. Фаткуллин К.В., Гильманов А.Ж., Костюков Д.В. Клиническое значение и современные методологические аспекты определения уровня карбокси- и метгемоглобина в крови // *Практическая медицина*. 2014. № 3 (79). С. 17–21. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21844992>

REFERENCES

1. Beleshnikov I.L. *Forensic medical assessment of the content of cyanide in the organs and tissues of people who died in a fire : abstract dissertations of a candidate of medical sciences*. Saint Petersburg, 1990; 24. (rus).
2. Kuligowski E.D., Levin B.C. Toxicology of fire and smoke. *Inhalation Toxicology*. 2005; 2:205-228. DOI: 10.1201/9781420037302.ch10
3. Ilichkin V.C. *Toxicity of combustion products of polymeric materials. Principles and methods of determination*. Moscow, Chemistry Publ., 1993; 136. (rus).
4. Wilbur S., Williams M., Williams R., Scinicariello F., Klotzbach J.M., Diamond G.L. et al. *Toxicological profile for carbon monoxide*. Atlanta : Agency for toxic substances and disease registry, division of toxicology and human health sciences, 2012.
5. Purser D. Fire toxicity and toxic hazard analysis. *Proceedings of the Sixth International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. 2011; 721-734. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_11-01
6. McKenna S.T., Hull T.R. The fire toxicity of polyurethane foams. *Fire Science Reviews*. 2016; 5(1). DOI: 10.1186/s40038-016-0012-3
7. Dhabbah A.M. Ways of analysis of fire effluents and assessment of toxic hazard. *Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation*. 2015; 05(01):1-12. DOI: 10.4236/jasmi.2015.51001
8. Purser D. Validation of additive models for lethal toxicity of fire effluent mixtures. *Polymer Degradation and Stability Journal*. 2012; 97(12):2552-2561. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.07.009
9. Stec A.A., Hull T.R. Assessment of the fire toxicity of building insulation materials. *Energy and Buildings*. 2011; 43(2-3):498-506. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.10.015
10. Kaczorek-Chrobak K., Fangrat J. PVC-based copper electric wires under various fire conditions: toxicity of fire effluents. *Materials*. 2020; 13(5):1111. DOI: 10.3390/ma13051111
11. Koshmarov Yu.A., Puzach S.V., Lebedchenko O.S., Nguyen Thanh Hai. *Prediction of fire dynamics factors in the room*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2021; 148. (rus).
12. Alexeeff G.V., Puckham S.C. Evaluation of smoke toxicity using concentration-time products. *Journal of Fire Sciences*. 1984; 2(5):362-379. DOI: 10.1177/073490418400200504

13. Hartzell G.E., Emmons H.W. The fractional effective dose model for assessment of toxic hazards in fires. *Journal of Fire Sciences*. 1988; 6(5):356-362. DOI: 10.1177/073490418800600504
14. Puzach S.V., Nguyen Tat Dat. Critical values of exposure time of carbon monoxide effects on human during the fire in premises. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(11):27-34. DOI: 10.18322/PVB.2016. 25.11.27-34 (rus).
15. Puzach S.V., Nguyen Tat Dat. New approach to calculation critical times of exposure of carbon monoxide on human at a fire in a room. *Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti/ Life Safety*. 2017; 1(193):48-56. (rus).
16. Puzach S.V., Doan Viet Mahn, Nguyen Dat Tat, Suleykin E.V., Akperov R.G. *Generation, distribution and human exposure to toxic combustion products from indoor fire : monograph*. Puzach S.V. (ed). Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2017; 130. (rus).
17. Puzach S.V., Boldrushkiev O.B. Defining the specific formation coefficient and the critical partial density of hydrogen cyanide at the fire indoors. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 25(5):19-26. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.19-26 (rus).
18. *Harrison's principles of internal medicine*. 11th ed. Braunvald E., Isselbakher K. Dzh., Petersdorf R.G. et. al. (eds.). New York, McGraw – Hill Book Company, 1987. (rus).
19. *Human Physiology : Textbook. 2nd ed.* Pokrovskiy V.M., Korotko G.F. (eds.). Moscow, Meditsina Publ., 2003; 656. (rus).
20. Phatkullin K.V., Gilmanov A. Zh., Kostyukov D.V. Clinical importance and modern methodological aspects of determining the level of carboxy- and methaemoglobin in blood. *Prakticheskaya meditsina/ Practical Medicine*. 2014; 3(79):17-21. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21844992> (rus).

Поступила 13.09.2021, после доработки 11.10.2021; принята к публикации 29.10.2021
Received September 13, 2021; Received in revised form October 11, 2021; Accepted October 29, 2021

Информация об авторах

ПУЗАЧ Сергей Викторович, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 18265; Scopus Author ID: 7003537835; ResearcherID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

ЧЕРЕПАНОВ Руслан Анатольевич, заместитель начальника, начальник специального отдела № 11, Специальное управление ФПС № 20 МЧС России, Россия, 103274, г. Москва, Краснопресненская набережная, 2; ORCID 0000-0003-1043-4817; e-mail: docent-80@yandex.ru

АКПЕРОВ Руслан Гянджавиевич, канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 766879; ORCID: 0000-0002-2524-8710; e-mail: akperov01@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Sergey V. PUZACH, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 18265; Scopus Author ID: 7003537835; ResearcherID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Ruslan A. CHEREPANOV, deputy head, head of special department No. 11, Special Management FFS No. 20 Emercom of Russia, Krasnopresnenskaya Embankment, 2, Moscow, 103274, Russian Federation; ORCID 0000-0003-1043-4817; e-mail: docent-80@yandex.ru

Ruslan G. AKPEROV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Engineering Thermophysics and Hydraulics Department, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 766879; ORCID: 0000-0002-2524-8710; e-mail: akperov01@mail.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.