

Образование токсичных газов при горении мягких игрушек в многофункциональных торгово-развлекательных комплексах

Сергей Викторович Пузач¹✉, Дмитрий Валерьевич Бачурин², Руслан Гянджавиевич Акперов¹, Очир Баатрович Болдрушкиев¹, Александр Александрович Балаев³

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

² НПО «Инженерные решения», г. Москва, Россия

³ 6-я Пожарно-спасательная часть 1-го Пожарно-спасательного отряда Федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы Главного управления МЧС России по Калужской области, г. Калуга, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Мягкие детские игрушки, находящиеся в детских развлекательных зонах многофункциональных торгово-развлекательных комплексов, являются одними из наиболее опасных горючих материалов. Однако пожароопасные свойства мягких игрушек, в особенности качественный и количественный состав образующихся токсичных газов, не исследованы.

Цели и задачи. Целью работы является определение удельных коэффициентов образования и парциальной плотности токсичных газов, образующихся при сгорании мягких игрушек.

Для достижения цели была выполнена модернизация малогабаритной экспериментальной установки и проведены экспериментальные исследования вышеуказанных параметров наиболее опасных токсичных газов, выделяющихся при горении образцов мягких игрушек производства Китая.

Методы. Используется экспериментальный метод исследования процесса образования токсичных веществ при терморазложении образцов мягких игрушек в маломасштабной экспериментальной установке. Проведен анализ полученных результатов.

Результаты и их обсуждение. Проведена модернизация малогабаритной экспериментальной установки, позволяющая дополнительно измерять концентрации диоксида азота и фосгена.

Получены зависимости от времени с начала опытов удельной массовой скорости выгорания, среднеобъемной парциальной плотности и удельных коэффициентов образования монооксида углерода, циановодорода, фосгена и двуокиси азота.

Обнаружено, что только парциальные плотности циановодорода и фосгена достигают своих критических значений. При этом парциальная плотность циановодорода превышает ее критическую величину в 2,5 раза, а фосгена — в 17 раз. Поэтому необходимо при определении пожарных рисков в детских игровых зонах проводить расчет времени блокирования путей эвакуации по циановодороду и фосгену.

Выводы. При горении мягких детских игрушек выделяются в опасных для жизни и здоровья человека концентрациях такие высокотоксичные газы, как монооксид углерода, циановодород и фосген. Это необходимо учитывать при расчете пожарных рисков в детских игровых зонах и торговых помещениях, где находятся мягкие игрушки.

Ключевые слова: пожар; циановодород; монооксид углерода; фосген; парциальная плотность; токсичность; критическая концентрация

Для цитирования: Пузач С.В., Бачурин Д.В., Акперов Р.Г., Болдрушкиев О.Б., Балаев А.А. Образование токсичных газов при горении мягких игрушек в многофункциональных торгово-развлекательных комплексах // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32. № 1. С. 41–50. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.41-50.

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

Generation of toxic gases during combustion of stuffed toys in multifunction shopping malls

Sergey V. Puzach¹✉, Dmitriy V. Bachurin², Ruslan G. Akperov¹, Ochir B. Boldrushkiev¹, Alexander A. Balaev³

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 NPO Engineering Solutions, Moscow, Russian Federation

³ 6th Fire and Rescue Unit of the 1st Fire and Rescue Squad of the Federal Fire Service of the State Fire Service of the Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Kaluga Region, Kaluga, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Stuffed children's toys in children's entertainment areas at multifunction shopping malls are among the most dangerous combustible materials. However, flammable properties of stuffed toys, especially the qualitative and quantitative composition of resulting toxic gases, have not been studied.

Goals and objectives. The aim of the work is to identify specific coefficients of generation and partial density of toxic gases released during the combustion of stuffed toys.

To achieve the goal, a small experimental unit was upgraded and experimental studies of the above parameters were carried out to learn more about the most dangerous toxic gases released during the combustion of specimens of stuffed toys made in China.

Methods. An experimental method was used to study the generation of toxic substances during the thermal decomposition of specimens of stuffed toys in a small experimental unit. The results of the experiment were analyzed.

Results and discussion. The small experimental unit was upgraded so that it could measure concentrations of nitrogen dioxide and phosgene.

Dependences between time and the specific mass burn up rate, the average volumetric partial density, as well as carbon monoxide, hydrogen cyanide, phosgene, and nitrogen dioxide generation coefficients were obtained for the period starting from the launch of the experiment.

It was found that only partial densities of hydrogen cyanide and phosgene reached their critical values. In this case, the partial density of hydrogen cyanide exceeded its critical value by 2.5 times, and that of phosgene by 17 times. Therefore, it is necessary to calculate the time for blocking evacuation routes for hydrogen cyanide and phosgene to determine fire risks in children's play areas.

Conclusions. When stuffed children's toys are in combustion, highly toxic gases as carbon monoxide, hydrogen cyanide and phosgene are released in concentrations dangerous to human life and health. This fact must be taken into account when fire risks in children's play areas are analyzed.

Keywords: fire; hydrogen cyanide; carbon monoxide; phosgene; partial density; toxicity; critical concentration

For citation: Puzach S.V., Bachurin D.V., Akperov R.G., Boldrushkiev O.B., Balaev A.A. Generation of toxic gases during combustion of stuffed toys in multifunction shopping malls. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2023; 32(1):41-50. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.41-50 (rus).

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

Введение

Многофункциональные торгово-развлекательные комплексы представляют собой сложные объекты, пожарная безопасность которых должна соответствовать существующим нормам и правилам. Работа вышеуказанных объектов общественного назначения связана с постоянным потоком посетителей разных возрастов и социальных групп, наличием торговых и развлекательных зон [1–3].

С учетом тенденции развития социальной доступности торгово-развлекательных комплексов размещение развлекательных зон в общем объеме здания, например детских развлекательных зон, в которых предусматривается большое количество облицовочных декоративных покрытий из пластика, наполнение бассейнов различными пластикатами и мягкими игрушками, а также батутные центры, имеющие значительную пожарную нагрузку в виде поролонового или синтетического наполнителя батутных матов, представляет большую пожарную опасность с точки зрения токсикологического воздействия на эвакуирующихся потенциально образующихся токсичных продуктов горения при сгорании вышеуказанных материалов [4, 5].

Мягкие детские игрушки (рис. 1), находящиеся в детских развлекательных зонах, являются одним из наиболее опасных горючих материалов. В соответствии с положениями технического регламента Таможенного союза ТР ТС 008/2011 «О безопасно-

сти игрушек» с Изменениями на 17 марта 2017 года мягконабивные игрушки, а также игрушки, в которых может разместиться ребенок, должны быть пожаробезопасными. Помимо этого, при использовании игрушки необходимо свести к минимуму риск ущерба здоровью вследствие попадания химических веществ в дыхательные пути, на кожу, слизистые оболочки, глаза или желудок.

Данные о пожароопасных свойствах и термодинамических параметрах различной пожарной нагрузки представлены в базе данных типовой пожарной нагрузки [6], которая не включает в себя свойства и параметры мягких игрушек. Это свя-



Рис. 1. Мягкие детские игрушки

Fig. 1. Stuffed toys

зано с отсутствием обширной экспериментально-теоретической базы, описывающей их поведение в условиях пожара, а также качественный и количественный состав образующихся токсичных газов. Помимо этого, база данных представляет параметры по образованию лишь двух токсичных газов (CO , HCl), что не в полной мере описывает реальную токсикологическую картину пожара при сгорании полимерных материалов. В результате анализа литературных источников, описывающих поведение отдельных компонентов мягких игрушек (поролон и наполнитель) [5, 7–11], были выявлены основные потенциально образующиеся токсичные газы: монооксид углерода, циановодород, фосген и акролеин. Токсикологическое воздействие данных токсикантов, как правило, происходит при малых концентрациях, образование которых характерно для начальной стадии развития пожара и проведения эвакуации¹ [12–14]. Так, отсутствие экспериментально-теоретических данных о поведении мягких игрушек в условиях пожара может привести к серьезной недооценке пожарной опасности объектов, включающих в себя торговоразвлекательные зоны. Помимо этого, отсутствие экспериментально-теоретических данных не позволяет провести расчет времени блокирования путей эвакуации при пожарах в детских игровых зонах. Поэтому задача определения экспериментальных данных, описывающих поведение мягких игрушек в условиях пожара, является актуальной.

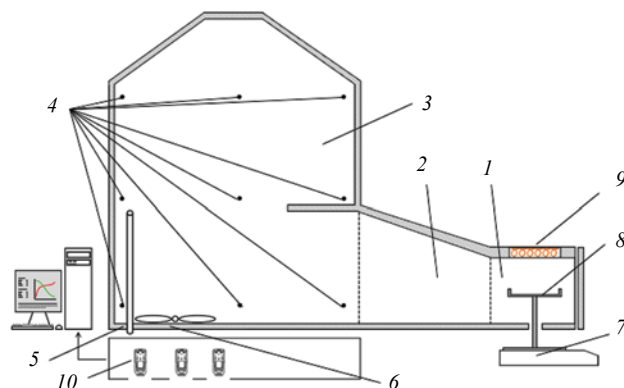


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — переходной рукав; 3 — экспозиционная камера; 4 — термопары; 5 — зонд отбора газа; 6 — вентилятор; 7 — электронные весы; 8 — держатель образца; 9 — электронагревательный элемент; 10 — газоаналитическое оборудование [15–17]

Fig. 2. Experimental unit design: 1 — combustion chamber; 2 — transition sleeve; 3 — exposure camera; 4 — thermocouples; 5 — gas sampling probe; 6 — fan; 7 — electronic scales; 8 — specimen holder; 9 — electric heating element; 10 — gas analysis equipment [15–17]

¹ 92B. Standard for smoke management systems in malls, Atria, and large spaces. Quincy, Massachusetts : NFPA, 2009. 65 p.

Целью работы является определение удельных коэффициентов образования и парциальной плотности токсичных газов, образующихся при сгорании мягких игрушек.

Для достижения цели:

- была проведена модернизация малогабаритной экспериментальной установки, позволяющей дополнительно измерять концентрацию диоксида азота и фосгена;
- проведены экспериментальные исследования по определению качественного и количественного состава токсичных продуктов горения при сгорании образцов мягких игрушек в опытной установке.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Экспериментальные исследования были проведены на модифицированной экспериментальной установке «Установка для определения пожарной опасности конденсированных веществ и материалов» [14–16]. Модификации подверглась система контроля газовоздушной среды, которая позволяет оценивать количественный состав диоксида азота и фосгена в экспозиционной камере установки. Эксперименты заключались в исследовании термического разложения подготовленных образцов мягких игрушек в камере сгорания с последующей оценкой массовой скорости выгорания и образующихся концентраций продуктов горения.

Схема экспериментальной установки, представленной в работах [14–16], отображена на рис. 2. На рис. 3 дан внешний вид экспериментальной установки.

Процесс термического разложения исследуемых образцов инициировался посредством реализации падающего теплового потока на поверхность образцов в камере сгорания 1. Падающий тепловой поток реализовывался посредством работы экранированной термостатируемой радиационной панели с датчиком непрерывного контроля температуры 9. Схема камеры сгорания представлена на рис. 4. Контроль над плотностью падающего теплового потока осуществлялся с помощью водоохлаждаемого датчика Гордона и регистрирующего прибора с диапазоном измерений от 0 до 100 мВ.

В ходе термического разложения материала образующиеся продукты горения поступали через теплоизолированный переходной рукав 2 в камеру экспозиции 3, где осуществлялся отбор проб газовой смеси газоаналитическим оборудованием 10 через зонд отбора проб газа 5.

Регистрация концентрации токсичных продуктов горения осуществлялась посредством работы



Рис. 3. Общий вид установки для определения пожарной опасности веществ и материалов при их термическом разложении
Fig. 3. General view of the experimental unit used to determine the fire hazard of substances and materials in the process of thermal decomposition

многоканальных газоанализаторов, определяющих концентрации следующих газов:

- диоксид углерода (CO_2) с диапазоном измерений от 0 до 5 % об.;
- монооксид углерода (CO) с диапазоном измерений от 0 до 1 % об.;
- циановодород (HCN) с диапазоном измерений от 0 до 0,01 % об.;
- двуокись азота (NO_2) с диапазоном измерений от 0 до 0,01 % об.;
- фосген (COCl_2) с диапазоном измерений от 0 до 0,01 % об.

Изменения массы исследуемых образцов определялись с помощью электронных весов 7 марки AND GF-6100, имеющих погрешность измерений, не превышающую ± 1 мг.

Экспериментальные исследования начинались с запуска электронагревательного элемента до реализации плотности падающего теплового потока 60 кВт/м². При установлении статичной величины плотности падающего теплового потока производится запуск регистрирующих программ с последующей проверкой отклика датчиков.

После установления заданной плотности падающего теплового потока и запуска регистрирующих программ подготовленный и предварительно взвешенный образец материала помещают в держатель для образцов δ , размещенный в камере сгорания.

С использованием полученных экспериментальных данных удельные коэффициенты образования

HCN (L_{HCN}), COCl_2 (L_{COCl_2}), CO (L_{CO}), NO_2 (L_{NO_2}), а также поглощения кислорода (L_{O_2}) рассчитываются по следующим выражениям [14, 16, 17]:

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

$$L_{\text{COCl}_2} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{COCl}_2}}{d\tau}, \quad (2)$$

$$L_{\text{CO}} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{CO}}}{d\tau}, \quad (3)$$

$$L_{\text{NO}_2} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{NO}_2}}{d\tau}, \quad (4)$$

$$L_{\text{O}_2} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{O}_2}}{d\tau}, \quad (5)$$

где V — объем экспозиционной камеры, м³;

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

ρ_{HCN} , ρ_{COCl_2} , ρ_{CO} , ρ_{NO_2} и ρ_{O_2} — соответственно среднееобъемная плотность HCN , COCl_2 , CO , NO_2 и O_2 в экспозиционной камере, кг/м³.

Исходные данные

В качестве исследуемых мягких игрушек взяты наиболее распространенные игрушки производства Китая (рис. 4), которые состоят из наполнителя и внешней оболочки (ткани).

Образцы для проведения экспериментов изготавливались трех вариантов: фрагменты игрушки (наполнитель + внешняя оболочка), отдельно наполнитель, отдельно внешняя оболочка.

При испытании отдельно внешней оболочки исследовалось два образца с первоначальной массой 10,6 и 10,9 г.

Критические значения парциальной плотности токсичных газов принимались равными: монооксид углерода $\rho_{\text{CO кр}} = 1,16 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ и диоксид углерода $\rho_{\text{CO}_2 кр} = 0,11$ кг/м³ в соответствии с нормативным документом² (далее СП 11.13130), циановодород $\rho_{\text{HCN кр}} = 1,1 \cdot 10^{-5}$ кг/м³ [15] и диоксид азота $\rho_{\text{NO}_2 кр} = 3,76 \cdot 10^{-4}$ кг/м³ [18].

Критические значения парциальной плотности фосгена представлены СП 11.13130 и составляют $\rho_{\text{COCl}_2 кр} = 2 \cdot 10^{-4}$ кг/м³. Однако при этой плотности фосгена при времени экспозиции 5 мин (в случае ингаляционного воздействия на человека в состоянии покоя) полученная доза является наименьшей опубликованной смертельной дозой³.

² СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения. М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. 18 с.

³ URL: <http://www.rhtop.ru/diagnoseassistant/Substance.aspx?id=94>



Рис. 4. Мягкие игрушки производства Китая, используемые в экспериментах

Fig. 4. China-made stuffed toys used in the experiments

В соответствии с положениями вышеуказанной работы при концентрации фосгена $\rho_{\text{COCl}_2 \text{ кр}} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ и времени экспозиции 10 мин наблюдаются нарушения способности человека к передвижению. Нарушения способности человека к передвижению при небольших концентрациях фосгена могут значительно повлиять на процесс эвакуации людей.

Исходя из представленных положений, принимаем величину критической концентрации фосгена равной $\rho_{\text{COCl}_2 \text{ кр}} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$, при которой наблюдается характерный токсикологический эффект, приводящий к нарушению способности передвижения человека.

Результаты экспериментов и их анализ

Фотографии образцов до и после проведения экспериментов представлены на рис. 5 и 6.

Зависимости массовой скорости выгорания от времени проведения экспериментов представлены на рис. 7.

Из рис. 7, *b* видно, что наполнитель теряет массу медленно в течение 12 мин. Это объясняется тем, что происходит термодеструкция наполнителя без пламенного горения. При этом выделения токсичных газов нет.

Зависимости среднеобъемной парциальной плотности монооксида углерода, циановодорода, фосгена и двуоксида азота от времени проведения эксперимента представлены на рис. 8.

Из рис. 8 видно, что только парциальные плотности циановодорода и фосгена достигают своих критических значений. При этом парциальная плотность HCN превышает ее критическую величину в 2,5 раза, а фосгена — в 17 раз.

Зависимости удельных массовых коэффициентов образования вышеуказанных газов от времени проведения эксперимента приведены на рис. 9.

Средние значения удельных массовых коэффициентов образования токсичных газов равны: $L_{\text{CO}} = 0,034$; $L_{\text{HCN}} = 0,00135$; $L_{\text{COCl}_2 \text{ кр}} = 0,002$; $L_{\text{NO}_2} = 0,0125$.

Полученные экспериментальные данные подтверждают теоретический анализ о потенциально образующихся токсичных веществах при горении мягких игрушек. Исходя из полученных количественных данных по образованию концентрации токсичных веществ, в частности циановодорода и фосгена, стоит отметить необходимость учета вышеуказанных токсичных веществ в рамках определения времени блокирования путей эва-



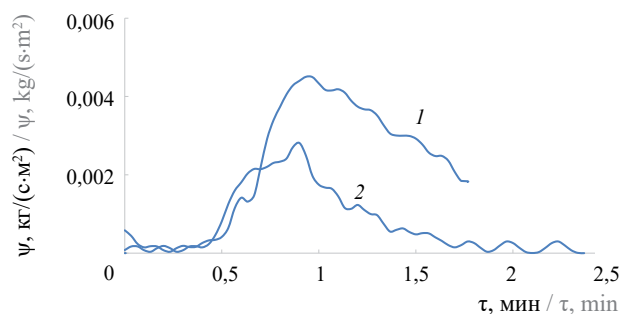
Рис. 5. Образец внешней оболочки до и после испытаний

Fig. 5. The specimen of the outer shell before and after the testing procedure

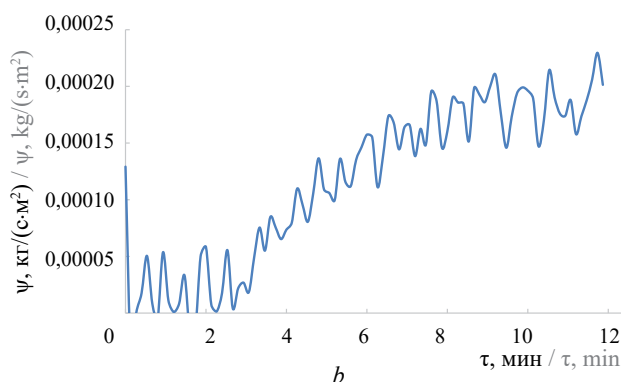


Рис. 6. Образец наполнителя до и после испытаний

Fig. 6. Stuffed toy filling before and after the testing procedure



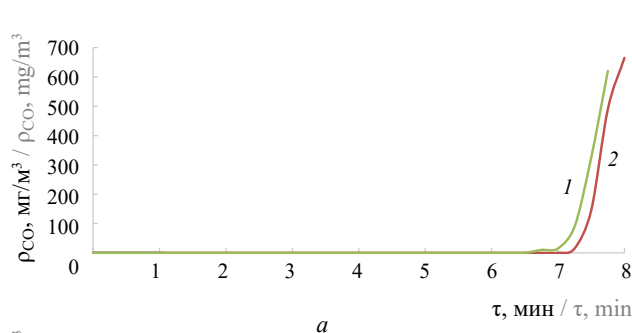
a



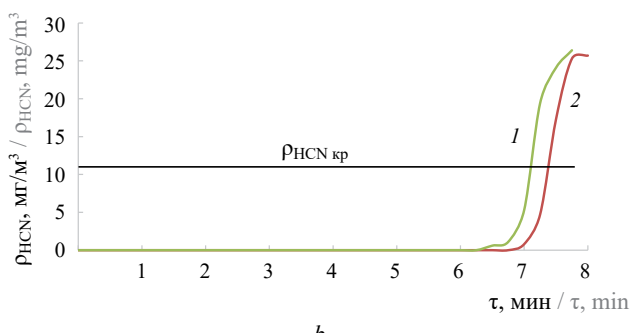
b

Рис. 7. Зависимости удельной массовой скорости выгорания отдельно внешней оболочки (a) и отдельно наполнителя (b) от времени горения; отдельно внешняя оболочка: 1 — эксперимент № 1; 2 — № 2

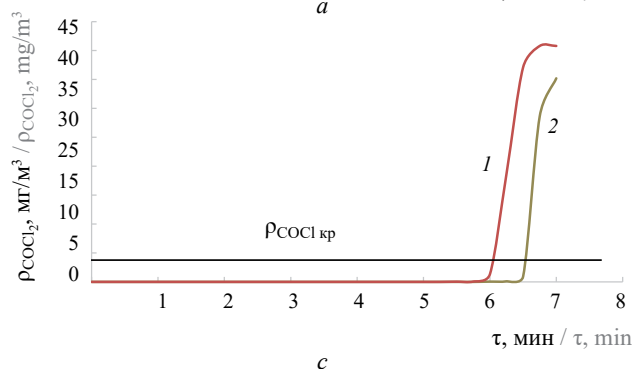
Fig. 7. Dependences between the specific mass burn-up rate of (a) the outer shell, (b) the filling and the combustion time. For the outer shell: 1 — Experiment 1; 2 — Experiment 2



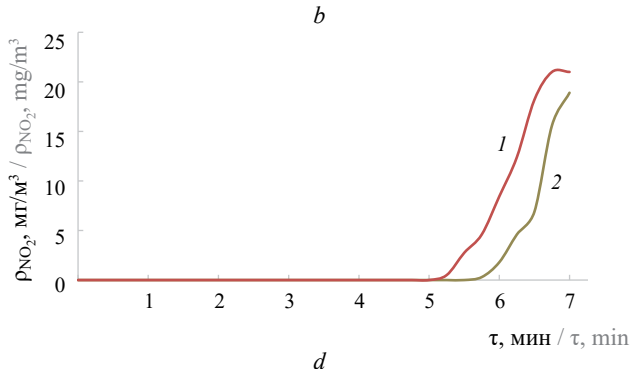
a



b



c



d

Рис. 8. Зависимости от времени с начала опытов среднееобъемной парциальной плотности монооксида углерода (a), циановодорода (b), фосгена (c) и двуоксида азота (d) при горении отдельно внешней оболочки: 1 — эксперимент № 1; 2 — № 2

Fig. 8. Dependences between the time from the beginning of the experiments and (a) the average volumetric partial density of carbon monoxide, (b) hydrogen cyanide, (c) phosgene, and (d) nitrogen dioxide during the combustion of the outer shell: 1 — Experiment 1; 2 — Experiment 2

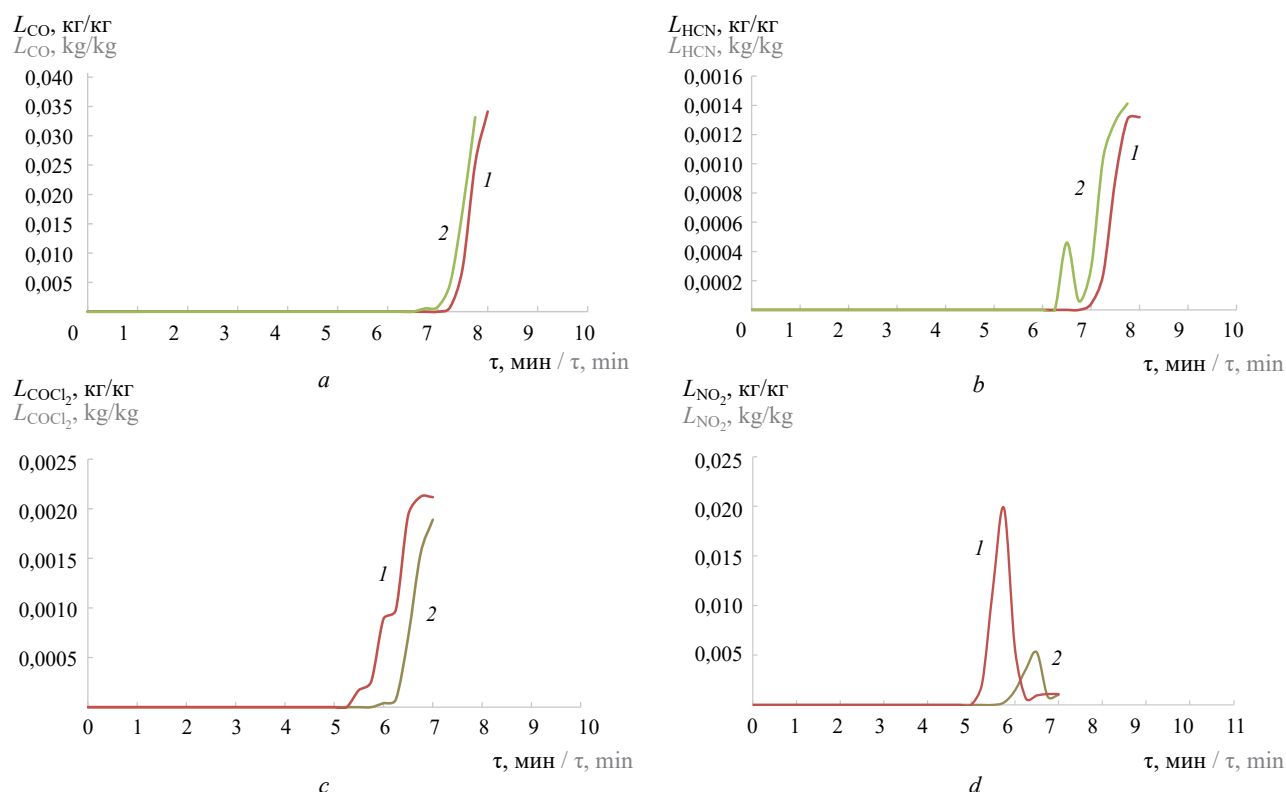


Рис. 9. Зависимости от времени с начала опытов удельных коэффициентов образования монооксида углерода (а), циановодорода (б), фосгена (с) и двуокиси азота (д) при горении отдельно внешней оболочки: 1 — эксперимент № 1; 2 — № 2

Fig. 9. Dependences between the time from the beginning of the experiments and specific coefficients of generation of (a) carbon monoxide, (b) hydrogen cyanide, (c) phosgene and (d) nitrogen dioxide during the combustion of the outer shell: 1 — Experiment 1; 2 — Experiment 2

куации при расчете величин пожарных рисков в развлекательно-торговых зонах и детских игровых зонах.

При исследовании образования и распространения фосгена также необходимо учесть, что фосген при температуре выше 300 °С при контакте с водой разлагается, образуя также токсичные газы (монооксид углерода и хлористый водород).

Выводы

При горении мягких детских игрушек выделяются в опасных для жизни и здоровья человека кон-

центрациях такие высокотоксичные газы, как монооксид углерода, циановодород и фосген. Образование данных высокотоксичных газов может привести к значительной недооценке пожарной опасности пожарной нагрузки торгово-развлекательных и детских игровых зон, в частности имеющих там мягких игрушек.

Полученные данные указывают на необходимость учета пожароопасных свойств мягких игрушек и газов, образующихся при их термическом разложении (циановодород, двуокись азота и фосген), при расчете пожарных рисков в детских игровых зонах и торговых помещениях, в которых размещаются мягкие игрушки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Присадков В.И., Мусликова С.В., Фадеев В.Е. К вопросу обеспечения пожарной безопасности торгово-развлекательных центров // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. Т. 1. № 34. С. 49–54. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42583541>
2. Hansen G.O., Morgan H.P. Design approaches for smoke control in atrium buildings. Building research establishraten report. CI/Sfb 981, 1994. 64 p.
3. Варнаков Д.В., Кузьминов А.В., Калинин В.Ю. Особенности обеспечения пожарной безопасности в торговых центрах // Modern Science. 2020. № 3. С. 212–215. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42622012>
4. Иличкин В.С., Фукалова А.А. Токсичность продуктов горения полимерных материалов : обзорная информация. М. : ГИЦ, 1987. 68 с.
5. Kaplan H.L., Hartzell G.E. Modeling of toxicological effects of fire gases: I. Incapacitation effects of narcotic fire gases // Journal of Fire Sciences. 1984. Vol. 2. Pp. 286–305.

6. 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.
7. Исаева Л.К. Экологические последствия пожаров. М. : ВПИТШ МВД СССР, 1990. 107 с.
8. Babrauskas V. A comparative examination of the fire performance of pipe insulation // *Process Safety Progress*. 1996. Vol. 15. Issue 2. Pp. 114–120. DOI: 10.1002/prs.680150213
9. Jakobsen J., Babigumira R., Danielsen M., Grimsrud T.K., Olsen R., Rosting C. et al. Work conditions and practices in Norwegian fire departments from 1950 until today: a survey on factors potentially influencing carcinogen exposure // *Safety and Health at Work*. 2020. Vol. 11. Issue 4. Pp. 509–516. DOI: 10.1016/j.shaw.2020.07.004
10. Wang S., Huang D., Guo C., Yuan Q., Chen Y., Lin P., Duan P. Bottom fire behaviour of thermally thick natural rubber latex foam // *E-Polymers*. 2019. Vol. 19. Issue 1. Pp. 9–14. DOI: 10.1515/epoly-2019-0002
11. Пузач С.В., Болдрушкиев О.Б., Акперов Р.Г. О необходимости учета совместного воздействия токсичных продуктов горения при определении времени блокирования путей эвакуации // Ройтманские чтения : сб. мат. 10 науч.-практ. конф. (г. Москва, 26 мая 2022 года). М., 2022. С. 96–99. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48646583>
12. Giebutowicz J., Rużycka M., Wroczyński P., Purser D.A., Stec A. Analysis of fire deaths in Poland and influence of smoke toxicity // *Forensic Science International*. 2017. Vol. 277. Pp. 77–87. DOI: 10.1016/j.forsciint.2017.05.018
13. Pauluhn J. Phosgene inhalation toxicity: Update on mechanisms and mechanism-based treatment strategies // *Toxicology*. 2021. Vol. 450. P. 152682. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152682
14. Болдрушкиев О.Б., Пузач С.В., Сулейкин Е.В. Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода при пожаре в помещении // *Безопасность жизнедеятельности*. 2019. № 10. С. 31–36.
15. Мустафин В.М., Пузач С.В., Акперов Р.Г. Влияние плотности падающего теплового потока на дымообразующую способность образца современной кабельной продукции // *Пожары и ЧС: предотвращение и ликвидация*. 2021. № 1. С. 24–33. DOI: 10.25257/FE.2021.1.24-33
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. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. 336 с.
18. Кузьмин В.В., Пузач С.В., Акперов Р.Г., Болдрушкиев О.Б., Ващенко Я.Ю. Экспериментальное определение удельного коэффициента образования диоксида азота при горении нитроцеллюлозной киноплёнки // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2022. № 3. С. 5–9.

REFERENCES

1. Prasadkov V.I., Muslakova S.V., Fadeev V.E. With regard to shopping malls fire safety. *The Journal Modern Problems of Civil Protection*. 2020; 1(34):49-54. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42583541> (rus).
2. Hansenand G.O., Morgan H.P. *Design approaches for smoke control in atrium buildings. Building research establishraten report*. CI/Sfb 981, 1994; 64.
3. Varnakov D.V., Kuz'minov A.V., Kalinin V.Yu. Features of fire safety in shopping centers. *Modern Science*. 2020; 3:212-215. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42622012> (rus).
4. Ilichkin V.S., Phukalova A.A. *Toxicity of combustion products of polymeric materials : Overview*. Moscow, GIC Publ., 1987; 68. (rus).
5. Kaplan H.L., Hartzell G.E. Modeling of toxicological effects of fire gases: I. Incapacitation effects of narcotic fire gases. *Journal of Fire Sciences*. 1984; 2:286-305.
6. Koshmarov Yu.A., Puzach S.V., Lebedchenko O.S., Nguen Than Hai. *Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2021; 148. (rus).
7. Isaeva L.K. *Ecological consequences of fires*. Moscow, VIPTSH MVD SSSR, 1990; 107. (rus).
8. Babrauskas V. A comparative examination of the fire performance of pipe insulation. *Process Safety Progress*. 1996; 15(2):114-120. DOI: 10.1002/prs.680150213
9. Jakobsen J., Babigumira R., Danielsen M., Grimsrud T.K., Olsen R., Rosting C. et al. Work conditions and practices in Norwegian fire departments from 1950 until today: a survey on factors potentially influencing carcinogen exposure. *Safety and Health at Work*. 2020; 11(4):509-516. DOI: 10.1016/j.shaw.2020.07.004
10. Wang S., Huang D., Guo C., Yuan Q., Chen Y., Lin P., Duan P. Bottom fire behaviour of thermally thick natural rubber latex foam. *E-Polymers*. 2019; 19(1):9-14. DOI: 10.1515/epoly-2019-0002
11. Puzach S.V., Boldrushkiev O.B., Akperov R.G. On the need to take into account the combined effects of toxic combustion products when determining the time of blocking escape routes. *Rojtmanskije chteniya : Collection of Materials of the 10th Scientific*

- Practical Conference (Moscow, May 26, 2022).* Moscow, 2022; 96-99. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48646583> (rus).
12. Giebułtowski J., Rużycka M., Wroczyński P., Purser D.A., Stec A. Analysis of fire deaths in Poland and influence of smoke toxicity. *Forensic Science International*. 2017; 277:77-87. DOI: 10.1016/j.forsciint.2017.05.018
 13. Pauluhn J. Phosgene inhalation toxicity: Update on mechanisms and mechanism-based treatment strategies. *Toxicology*. 2021; 450:152682. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152682
 14. Boldrushkiev O.B., Puzach S.V., Sulejkin E.V. Defining the specific formation coefficient and the critical partial density of hydrogen cyanide at the fire indoors. *Life safety*. 2019; 10:31-36. (rus).
 15. Mustafin V.M., Puzach S.V., Akperov R.G. The effect of the heat flow falling on the surface of the modern cable products on their smoke-forming capacity. *Fires and Emergencies: Prevention and Liquidation*. 2021; 1:24-33. DOI: 10.25257/FE.2021.1.24-33 (rus).
 16. Puzach S.V., Doan V.M., Nguen T.D., Sulejkin E.V., Akperov R.G. *Formation, distribution and human exposure to toxic combustion products during a fire in a room*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2017; 130. (rus).
 17. Puzach S.V. *Methods for calculating heat and mass transfer during a fire in a room and their application in solving practical problems of fire and explosion safety*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005; 336. (rus).
 18. Kuz'min V.V., Puzach S.V., Akperov R.G., Boldrushkiev O.B., Vashchenkova Ya.Yu. Experimental determination of the specific coefficient of nitrogen dioxide formation during the combustion of nitrocellulose film. *Fires and Emergencies: Prevention and Liquidation*. 2022; 3:5-9. (rus).

Поступила 17.11.2022, после доработки 15.12.2022;

принята к публикации 09.01.2023

Received November 17, 2022; Received in revised form December 15, 2022;

Accepted January 9, 2023

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; ResearcherID: U-2907-2019; Scopus Author ID: 7003537835; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

БАЧУРИН Дмитрий Валерьевич, главный инженер, НПО «Инженерные решения», Россия, 107113, г. Москва, Сокольническая слободка, 16, оф. 42; ORCID: 0000-0001-8461-6598; e-mail: dmi1694@ya.ru

АКПЕРОВ Руслан Гянджавиевич, канд. техн. наук, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, 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; ORCID: 0000-0002-2524-8710; e-mail: akperov01@mail.ru

БОЛДРУШКИЕВ Очир Баатрович, старший инженер-программист научно-исследовательского отдела проблем профилактики объектов защиты, 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; ORCID: 0000-0001-7127-5608; e-mail: avadanonstop@mail.ru

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; ResearcherID: U-2907-2019; Scopus Author ID: 7003537835; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Dmitriy V. BACHURIN, Chief Engineer, NPO Engineering Solutions, Sokolnicheskaya Slobodka, 16, of. 42, Moscow, 107113, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-8461-6598; e-mail: dmi1694@ya.ru

Ruslan G. AKPEROV, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor 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; ORCID: 0000-0002-2524-8710; e-mail: akperov01@mail.ru

Ochir B. BOLDRUSHKIEV, Senior Software Engineer of the Research Department of Problems of Prevention of Objects of Protection, 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; ORCID: 0000-0001-7127-5608; e-mail: avadanonstop@mail.ru

БАЛАЕВ Александр Александрович, начальник караула, 6-я Пожарно-спасательная часть 1-го Пожарно-спасательного отряда Федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы Главного управления МЧС России по Калужской области, Россия, 248021, г. Калуга, ул. Московская, 249, ORCID: 0000-0001-7399-4390; e-mail: balaev.sahka97@gmail.com

Вклад авторов:

Пузач С.В. — идея, сбор материала, разработка методики и проведение эксперимента, получение, обработка и анализ экспериментальных данных, написание статьи, научное редактирование текста.

Бачурин Д.В. — сбор материала, разработка методики и проведение эксперимента, получение, обработка и анализ экспериментальных данных, написание статьи.

Акперов Р.Г. — анализ экспериментальных данных, написание статьи, научное редактирование текста.

Болдрушкиев О.Б. — разработка методики и проведение эксперимента; получение и обработка экспериментальных данных.

Балаев А.А. — проведение эксперимента.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Alexander A. BALAEV, Head of Guard, 6th Fire and Rescue Unit of the 1st Fire and Rescue Squad of the Federal Fire Service of the State Fire Service of the Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Kaluga Region, Moskovskaya St., 249, Kaluga, 248021, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-7399-4390; e-mail: balaev.sahka97@gmail.com

Contribution of the authors:

Sergey V. Puzach — idea, collection of material, development of methodology and experiment, acquisition, processing and analysis of experimental data, writing of article, scientific editing of text.

Dmitriy V. Bachurin — collection of material, development of methodology and experiment, acquisition, processing and analysis of experimental data, writing of an article.

Ruslan G. Akperov — analyzing experimental data, writing an article, scientific editing of the text.

Ochir B. Boldrushkiev — development of the procedure and conduct of the experiment; obtaining and processing experimental data.

Alexander A. Balaev — conduct of the experiment.

The authors declare that there is no conflict of interest.