

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2024. Т. 33. № 1. С. 51–59
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2024; 33(1):51-59

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.841

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2024.33.01.51-59>

Исследование параметров токсичности продуктов горения мягких элементов мебели

Сергей Викторович Пузач¹✉, Наталия Ивановна Константинова²,
Руслан Гянджавиевич Акперов³, Александр Олегович Овчинников³

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

² Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Московская обл., г. Балашиха, Россия

³ Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Мягкая мебель занимает достаточно значительное по площади пространство помещений многих общественных зданий. При ее горении могут образовываться смеси токсичных газов, количественный и качественный состав которых неизвестен. Поэтому получение экспериментальных данных по токсичности мягкой мебели является актуальной задачей.

Цель. Экспериментальное определение воспламеняемости и параметров токсичности продуктов горения мягких элементов мебели, необходимых для расчета времени блокирования путей эвакуации в зданиях. Для ее достижения были проведены экспериментальные исследования образцов мягких элементов мебели на стандартных установках, а также на установке по определению пожарной опасности конденсированных веществ и материалов.

Методы исследования. Использовались стандартные методы определения воспламеняемости декоративных тканей (ГОСТ Р 50810–95), воспламеняемости элементов мягкой мебели (ГОСТ Р 53294–2009), показателя токсичности продуктов горения (ГОСТ 12.1.044.89, п. 4.20) и метод оценки концентраций токсичных газов на маломасштабной экспериментальной установке для определения пожарной опасности конденсированных веществ и материалов.

Результаты исследований и их обсуждение. Выполнено определение воспламеняемости материалов и композиций мягкой мебельной продукции, а также оценка токсичности газовой среды при их термическом разложении в маломасштабной экспериментальной установке, позволяющей измерять концентрации токсичных газов. Проведены экспериментальные исследования по изучению параметров токсичности наиболее опасных газов, образующихся при горении ряда образцов мягких элементов мебели. Выявлено, что при горении мягких элементов мебели выделяются в опасных для жизни и здоровья человека концентрациях такие высокотоксичные газы, как циановодород и монооксид углерода.

Выводы. Получены новые экспериментальные данные по удельной массовой скорости выгорания, а также численным значениям удельных коэффициентов образования монооксида углерода и циановодорода мягких элементов мебели, что позволит расширить существующую базу данных типовой пожарной нагрузки в помещениях зданий.

Ключевые слова: мягкая мебель; пожар; циановодород; монооксид углерода; парциальная плотность; критическая концентрация

Для цитирования: Пузач С.В., Константинова Н.И., Акперов Р.Г., Овчинников А.О. Исследование параметров токсичности продуктов горения мягких элементов мебели // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 1. С. 51–59. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.01.51-59

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

Investigation of toxicity parameters of combustion products of upholstered furniture elements

Sergey V. Puzach¹✉, Nataliya I. Konstantinova², Ruslan G. Akperov³, Alexsandr O. Ovchinnikov³

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

² All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation

³ The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Upholstered furniture occupies quite a significant area of the premises of many public buildings. During its combustion, mixtures of toxic gases can be formed, the quantitative and qualitative composition of which is unknown. Therefore, obtaining experimental data on the toxicity of upholstered furniture is an urgent task.

Goals and objectives. Experimental determination of flammability and toxicity parameters of combustion products of upholstered furniture elements necessary for calculation of the time of blocking of evacuation routes in buildings.

To achieve this, experimental studies of specimens of upholstered furniture elements were carried out on standard installations, as well as on the installation for determining the fire hazard of condensed substances and materials.

Research methods. Standard methods for determining the flammability of decorative fabrics (GOST R 50810–95), the flammability of upholstered furniture elements (GOST R 53294–2009), the toxicity index of combustion products (GOST 12.1.044.89, paragraph 4.20) and the method for assessing toxic gas concentrations at a small-scale experimental installation to determine the fire hazard of condensed substances and materials were used.

Research results and their discussion. The determination of flammability of materials and compositions of upholstered furniture products, as well as the assessment of the toxicity of the gaseous atmosphere during their thermal decomposition in a small-scale experimental installation allowing the measurement of concentrations of toxic gases, were performed. Experimental studies were carried out to study the toxicity parameters of the most dangerous gases formed during the combustion of a number of specimens of upholstered furniture elements. It was revealed that during the combustion of upholstered furniture elements, such highly toxic gases as hydrogen cyanide and carbon monoxide are emitted in concentrations dangerous to human life and health.

Conclusions. New experimental data on specific mass rate of burnout velocity, as well as numerical values of specific coefficients of carbon monoxide and hydrogen cyanide formation of upholstered furniture elements have been obtained, which will allow to expand the existing database of typical fire load in building premises.

Keywords: upholstered furniture; fire; hydrogen cyanide; carbon monoxide; partial density; critical concentration

For citation: Puzach S.V., Konstantinova N.I., Akperov R.G., Ovchinnikov A.O. Investigation of toxicity parameters of combustion products of upholstered furniture elements. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(1):51-59. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.01.51-59 (rus).

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

Введение

Мягкая мебель занимает значительное место в жизни человека из достаточно обширного спектра различных предметов и вещей, которые он использует в повседневной жизни. Поэтому сложно представить, как современный человек может обойтись без данного элемента комфорта, ведь почти во всех зданиях и сооружениях различных классов функциональной пожарной опасности присутствует мягкая мебель.

Именно здесь кроется самая большая опасность мягкой мебельной продукции, так как горение легковоспламеняемых обивочных и набивочных материалов при возникновении пожара распространяется стремительно на соседние, рядом стоящие предметы, и в совокупности выделяются токсичные газообразные вещества, которые могут оказаться смертельными для человека.

Очевидно, что развитие различных методов математического моделирования образования токсичных газов продукцией данной области необходимо для разработки обоснованных рекомендаций по обеспечению безопасной эвакуации людей при пожаре из различного типа зданий.

Целью настоящей работы является экспериментальное определение воспламеняемости и параметров токсичности продуктов горения мягких элементов мебели, необходимых для расчета времени блокирования путей эвакуации в зданиях.

Для ее достижения были проведены экспериментальные исследования образцов мягких элементов мебели на стандартных установках, а также на установке по определению пожарной опасности конденсированных веществ и материалов [1, 2].

Методы исследования

Для определения показателей пожарной опасности мягких элементов мебели использовалось следующее экспериментальное оборудование:

- стандартный прибор для определения воспламеняемости тканей по ГОСТ Р 50810–95¹;
- стандартная установка для определения воспламеняемости мягких элементов мебели по ГОСТ Р 53294–2009 (п. 5)²;
- стандартная установка для экспериментального определения показателя токсичности продуктов горения твердых веществ и материалов по ГОСТ 12.1.044–89 п. 4.20³;
- установка для определения пожарной опасности конденсированных веществ и материалов [1, 2].

¹ ГОСТ Р 50810–95. Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация.

² ГОСТ Р 53294–2009. Материалы текстильные. Постельные принадлежности. Мягкие элементы мебели. Шторы. Занавеси. Методы испытаний на воспламеняемость.

³ ГОСТ 12.1.044–89 (ИСО 4589–84). Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

Результаты исследований на стандартной установке и их обсуждение

Текстиль в интерьере занимает одно из самых доступных и эффектных способов оформления помещений, благодаря которому создается гармоничное пространство, уютная атмосфера, и, наряду с этим, присутствует практическое его использование.

Мягкая мебель является наиболее функциональным компонентом пространства помещений многих общественных зданий: гостиниц, зрелищных заведений, лечебных учреждений и т.д., к которым предъявляются обязательные требования пожарной безопасности, поэтому вопросам исследования эффективной огнезащиты материалов элементов мягкой мебели, разработки методологии испытаний по оценке параметров пожарной опасности уделяется внимание многими учеными и специалистами⁴ [3–7].

Согласно статье 1 Федерального закона № 69-ФЗ от 21.12.1994⁵, пожар является неконтролируемым горением, причиняющим материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Основные причины возгорания мягкой мебели определены. В 90–96 % случаев причиной возникновения пожаров является субъективный фактор — поведение и действия человека, что обуславливает возникновение загорания различной природы в виде очага горения (непотушенная сигарета, спичка) или высокотемпературных нагретых поверхностей (аварийный режим электроприборов).

Пожарная безопасность мягкой мебели в отечественной нормативной практике регламентируется ТР ТС 025/2012⁶. И необходимый уровень пожарной безопасности текстильных и кожевенных материалов, применяемых в качестве обивочных элементов при изготовлении изделий мягкой мебели для сидения и лежания, достигается требованиями ограничения применения легковоспламеняемых и относящихся к чрезвычайно опасным по показателю токсичности продуктов горения материалов³ (п. 4.20).

Аналогичные требования к пожарной безопасности сидений зальных помещений, зрелищных объектов закрытого типа существуют и изложены в СП 4.13130.2013⁷ (п. 5.4.13).

Следует отметить, что требования пожаробезопасного использования текстильных материалов, в том числе сидений и диванов, на различных видах транспорта также регламентируются показателем токсичности продуктов горения.

За рубежом в ряде стран при установлении возможности использования мягкой мебели в общественных местах предусмотрены стендовые и крупномасштабные исследования для моделирования возможных сценариев пожара по причине возгорания от мало-мощных источников загорания обивочных материалов, наполнителей, фурнитуры, входящих в различные конструкции и размеры изделий для выявления, наряду с другими параметрами (воспламеняемость, дымообразующая способность, скорость тепловыделения), опасных концентраций выделения целого ряда токсичных летучих продуктов горения⁸ [8, 9].

Например, в США применяется крупномасштабный метод тестирования текстильных материалов и изделий⁹, по результатам испытаний (в том числе оценки выхода основных газообразных токсикантов) регламентируется пожаробезопасное применение мягкой мебели в общественных местах (лечебных учреждениях, гостиничных комплексах и др.).

В зарубежных исследованиях пожарной опасности изделий мягкой мебели, как правило, применяют ее реальные размеры и используют специальное помещение с измерительным оборудованием, которое фиксирует комплекс параметров, таких как выделение оксида углерода, общую задымленность, потерю массы, повышение температуры окружающей среды. На основе проведенных исследований разрабатываются подходы по созданию мебельных композиций пониженной пожарной опасности, учитывающие возможный уровень выделения токсично опасных продуктов горения¹⁰ [10, 11].

Для оценки токсичности продуктов термического разложения в международной нормативной документации, регламентирующей пожаробезопасное применение текстильных, кожевенных материалов и изделий в различных областях применения — транспорте, общественных зданиях и сооружениях, используется метод ISO 5659-2¹¹, основанный на исследовании результатов количественного анализа достаточно широкого спектра газов и характеризующий общее

⁴ Shivani Mehta. Upholstered furniture full scale chair tests — Open flame ignition results and analysis. Memorandum to Dale R. Ray, CPSC, May 9, 2012. URL: 3fs-public/openflame.pdf

⁵ О пожарной безопасности : Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ.

⁶ Технический регламент таможенного союза. ТР ТС 025/2012. О безопасности мебельной продукции.

⁷ СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.

⁸ Andrew Lock. Memoranda on Full-Scale Upholstered Furniture Testing, 2014–2015, 2016. 133 p. URL: https://www.cpsc.gov/s3fs-public/FY14_Chair_Study_Memos.pdf.

⁹ TB 133 “Flammability test for seating furniture used in public occupancies repealed”.

¹⁰ Kim Y.S., Li Y-C., Pitts W.M., Werrel M., Davis R.D. Rapid growing clay coatings to reduce the fire threat of furniture. ACS Applied Materials & Interfaces. 2014. No. 6. Pp. 2416–2152. DOI: 10.1021/am405259n

¹¹ ISO 5659-2:2017. Пластмассы. Образование дыма. Часть 2. Определение оптической плотности при испытании в одной камере.

интегральное токсикологическое действие продуктов термического разложения и процесса горения.

Применяемая национальная методология определения токсичности материалов согласно ГОСТ 12.1.044 (п. 4.20)³ предусматривает в качестве критерия оценки только показатель токсичности продуктов горения. Режим пламенного горения в методе обеспечивается при температуре испытания 750 °С и плотности падающего теплового потока 65 (кВт/м²), а при анализе продуктов горения определяют количественный выход оксида углерода (СО) диоксида углерода (СО₂).

Максимальный выход СО как основного токсиканта, минимальное время разложения материала и тепловой поток, при котором происходит термическое разложение, являются решающими факторами для отнесения материала к наиболее опасным.

Однако метод не дает возможности получения данных для моделирования динамики развития пожара с учетом концентраций наиболее опасных токсичных летучих продуктов горения материалов для жизни и здоровья человека.

В данной работе проводились комплексные экспериментальные исследования воспламеняемости и токсичности продуктов горения материалов и их

композиционных сочетаний, применяемых для изготовления мягких элементов мебели, с целью сравнительной оценки выхода и концентрации наиболее токсичных продуктов горения.

В работе представлены исследования воспламеняемости и токсичности продуктов термического разложения образцов композиционных сочетаний мягких элементов мебели, различных видов применяемых на практике обивочных текстильных материалов, наполнителя и прокладочного материала. В качестве обивочных материалов были выбраны наиболее широко используемые ткани из полиэфира (ПЭ), в том числе огнезащищенные (ПЭ Тревира CS), различной плотности и текстильного плетения (шенилл, жаккард, рогожка), вспененный пенополиуретановый (ППУ) наполнитель и огнезащищенный нетканый прокладочный материал на основе термостойких волокон.

Параметры токсичности, данные по количеству выделившихся оксида и диоксида углерода при термоокислительном разложении и горении по ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.20)³, а также классификация по воспламеняемости по ГОСТ Р 50810–95¹ материалов различного состава приведены в таблице.

Из данных таблицы следует, что в процессе термического разложения огнезащищенных ТВ ПЭ тканей

Количество выделившихся оксида и диоксида углерода при горении обивочных тканей и наполнителей различного состава
Amount of carbon monoxide and dioxide released during combustion of upholstery fabrics and fillers of different compositions

Состав ткани (материала) Fabric composition (material)	Поверхностная плотность ткани, г/м ² Fabric surface density, g/m ²	$T_{разл}, ^\circ\text{C}$ $T_d, ^\circ\text{C}$	$\tau_{разл}, \text{мин}$ τ_d, min	Потеря массы, % Weight loss, %	Выход СО, мг/с CO output, mg/s	Выход СО ₂ , мг/с CO ₂ output, mg/s	Показатель токсичности HCl ₅₀ Toxicity index HCl ₅₀	Классификация по воспламеняемости Flammability classification
Ткань (жаккард) ПЭ — 100 % Fabric (jacquard) PE — 100 %	400	650	14	> 99	132	1341	36	ЛВ* HF*
Ткань (шенилл) ПЭ — 100 % (Trevira CS) Fabric (chenille) PE — 100 % (Trevira CS)	550	650	14	96	152	1313	38	ТВ** FR**
Ткань (рогожка) ПЭ — 100 % (Trevira CS) Fabric (gunny) PE — 100 % (Trevira CS)	260	650	12	97	143	1438	35	ТВ FR
ППУ PPU	50 г/м ³ 50 g/m ³	650	12	98	174	1054	30	ЛВ HF
Нетканый материал на основе термостойких волокон Non-woven fabric based on heat-resistant fibres	150	600	7	93	105	1280	47	ТВ FR

* ЛВ — легковоспламеняемые, согласно ГОСТ Р 50810¹.

** ТВ — трудновоспламеняемые, согласно ГОСТ Р 50810¹.

* HF — highly flammable according to GOST R 50810¹.

** FR — flame-resistant according to GOST R 50810¹.

различной плотности и структуры (шенилл, рогожка, жаккард) практически не происходит изменения количества выделяющихся монооксида и диоксида углерода по сравнению с исходной ЛВ ПЭ тканью, о чем также свидетельствуют близкие по численному значению показатели токсичности ($HC1_{50}$), находящиеся в диапазоне (35–38) г/м³. У образцов нетканого материала из термостойких волокон количество выделившихся оксида и диоксида углерода несколько ниже по сравнению с образцами обивочных тканей и показатель токсичности ($HC1_{50}$) составляет 47 г/м³. Самый высокий уровень выделившихся оксида и диоксида углерода из исследуемых образцов материалов относится к вспененному эластичному полиуретану (ППУ).

Следует отметить, что используемый стандартный метод не предусматривает оценку токсичности продуктов горения многокомпонентных композиций (например, мягкие элементы мебели), а дает возможность провести лишь сравнительное определение значений показателя токсичности отдельных материалов. Кроме того, количественная оценка выхода только газообразных оксида и диоксида углерода при термическом разложении образца материала не может объективно оценить опасность общего токсикологического воздействия, так как не учитывает выделение ряда присутствующих опасных летучих химических соединений.

При горении многокомпонентных композиций материалов выделяется широкий спектр токсичных газов [12–15], токсическое действие которых на организм человека изучено достаточно полно [16–18]. Поэтому для исследования параметров токсичности мягких элементов мебели необходимо провести испытания в экспериментальной установке, позволяющей определить качественный и количественный состав продуктов горения.

Результаты исследований на установке для определения пожарной опасности конденсированных веществ и их обсуждение

С целью сравнительной оценки параметров токсичности продуктов термического разложения образцов, представляющих собой различные по устойчивости к воспламенению композиции элементов мягкой мебели, были проведены исследования на экспериментальной установке для определения пожарной опасности конденсированных веществ [1, 2].

Исследовались образцы мягких элементов мебели различной воспламеняемости с огнезащитными обивочными материалами следующего композиционного сочетания:

- образец № 1 (ТВ по ГОСТ Р 53294)²: ткань (шенилл) ПЭ — 100 % (Trevira CS), термовойлок, ППУ;

- образец № 2 (ЛВ по ГОСТ Р 53294)²: ткань (рогожка) ПЭ — 100 % (Trevira CS), ППУ.

Испытания проводились в режиме пламенного горения при плотности теплового потока, падающего на поверхность образца от нагревательного излучательного элемента установки 35 кВт/м².

Оценивалась динамика изменения массовой скорости выгорания, как одной из важнейших характеристик, значительно влияющей на процесс и исход математического моделирования пожара.

Зависимости удельной массовой скорости выгорания от времени проведения экспериментов исследованных образцов мягких элементов мебели представлены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что вышеуказанная зависимость носит нелинейный характер и имеет некоторые изменения в ходе проведения эксперимента, происходящие под влиянием ряда внутренних и внешних факторов.

При этом удельная массовая скорость выгорания образца № 1 мягкого элемента мебели существенно больше соответствующей величины для образца № 2 (пиковое значение вышеуказанного параметра больше в 4,3 раза).

Измерения концентраций токсичных газов показали, что при горении испытываемых образцов выделяются высокотоксичные газы — монооксид углерода и циановодород.

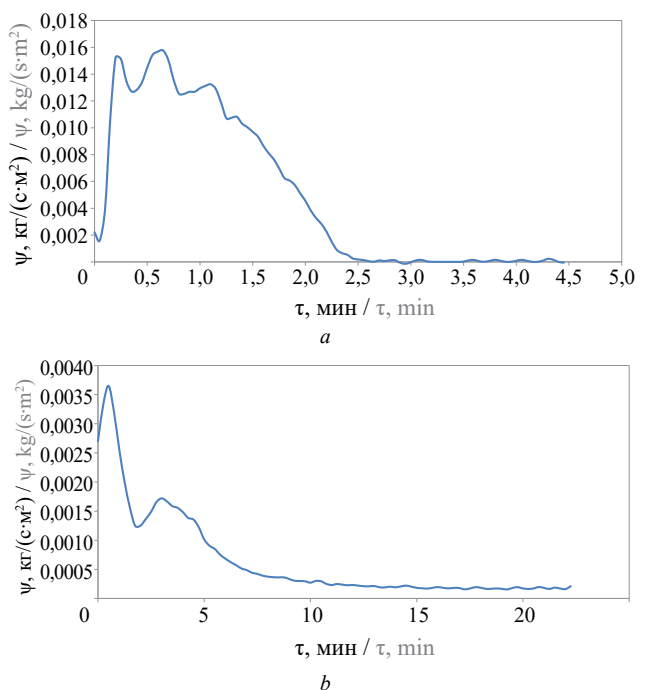


Рис. 1. Динамика изменения массовой скорости выгорания в ходе проведения эксперимента: а — образец № 1; б — образец № 2

Fig. 1. Dynamics of mass burnout velocity change during the experiment: a — Specimen No. 1; b — Specimen No. 2

Зависимости парциальных плотностей вышеуказанных газов от времени испытаний представлены на рис. 2 в случае горения образца № 1 и на рис. 3 — для образца № 2, где $\rho_{CO,кр}$ и $\rho_{HCN,кр}$ — критические значения газов¹⁰.

Зависимости удельных коэффициентов образования токсичных газов от времени испытаний представлены на рис. 4 в случае горения образца № 1 и на рис. 5 — для образца № 2.

Из рис. 2 и 3 следует, что парциальные плотности монооксида углерода и циановодорода достигают своих критических значений за время испытаний.

Из рис. 4 и 5 видно:

- удельный коэффициент образования монооксида углерода в случае образца № 2 существенно больше соответствующей величины для образца № 1 (пиковое значение вышеуказанного параметра больше в 2 раза);
- удельный коэффициент образования циановодорода в случае образца № 2 существенно больше соответствующей величины для образца № 1 (пиковое значение вышеуказанного параметра больше в 2,6 раза).

Таким образом, в результате проведенных исследований удалось установить параметры образования наиболее опасных токсичных продуктов термического разложения (монооксида углерода и циановодорода) образцов композиций мягкой мебели различного уровня воспламеняемости. Наличие

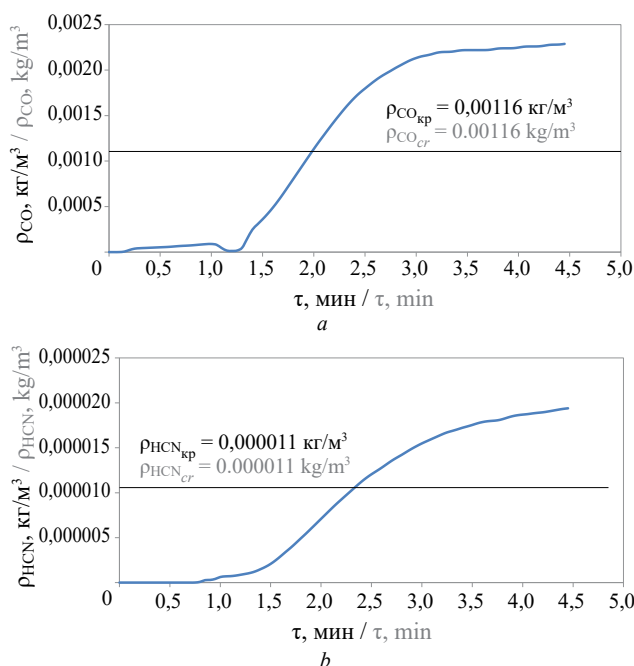


Рис. 2. Зависимости парциальной плотности монооксида углерода (a) и циановодорода (b) от времени проведения эксперимента в случае горения образца № 1

Fig. 2. Dependence of partial density of carbon monoxide (a) and hydrogen cyanide (b) on the experiment time in case of combustion of specimen No. 1

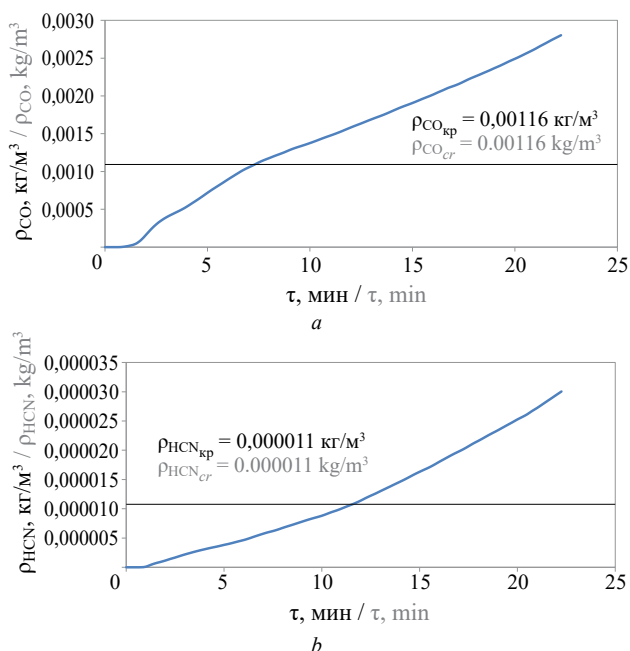


Рис. 3. Зависимости парциальной плотности монооксида углерода (a) и циановодорода (b) от времени проведения эксперимента в случае горения образца № 2

Fig. 3. Dependence of partial density of carbon monoxide (a) and hydrogen cyanide (b) on experiment time in case of combustion of specimen No. 2

прокладочного материала между обивочной тканью и горючим наполнителем не только повышает устойчивость к воспламенению (образец № 1 относится к трудновоспламеняемым по ГОСТ Р 53294–2009)², но и в значительной степени снижает удельную массовую скорость выгорания и численные значения удельных коэффициентов образования монооксида

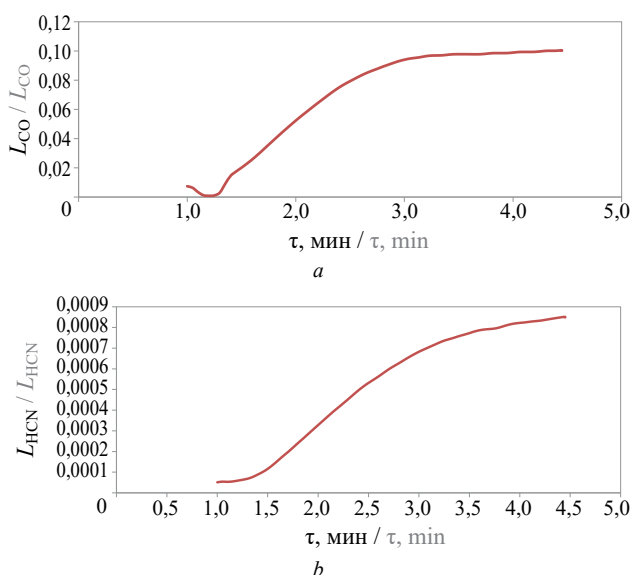


Рис. 4. Зависимости удельных коэффициентов образования монооксида углерода (a) и циановодорода (b) от времени проведения эксперимента в случае горения образца № 1

Fig. 4. Dependence of specific coefficients of carbon monoxide formation (a) and hydrogen cyanide (b) on the experiment time in case of combustion of specimen No. 1

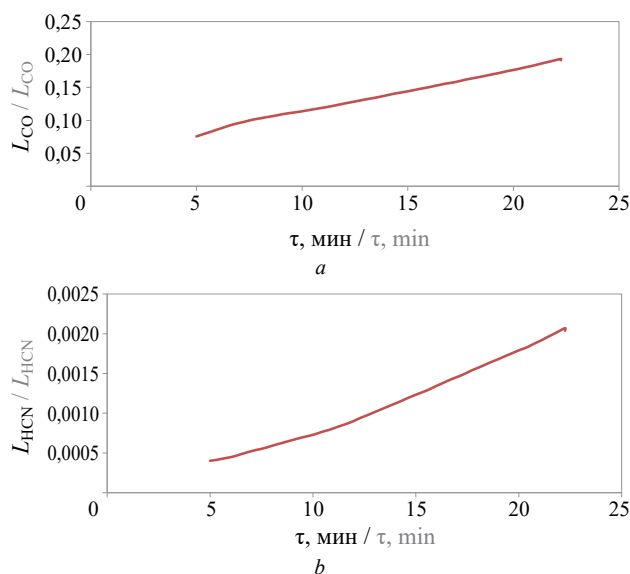


Рис. 5. Зависимости удельных коэффициентов образования монооксида углерода (а) и циановодорода (b) от времени проведения эксперимента в случае горения образца № 2
Fig. 5. Dependence of specific coefficients of carbon monoxide formation (a) and hydrogen cyanide (b) on the experiment time in case of combustion of specimen No. 2

углерода и циановодорода, как параметров наиболее опасных токсикантов. Полученные новые экспериментальные данные параметров термического разложения элементов мягкой мебели позволят повысить надежность расчета времени блокирования путей эвакуации при воздействии на человека основных

токсикантов, необходимого для обоснования объемно-планировочных решений зданий.

Выводы

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволили сделать следующее заключение.

По результатам измерения концентраций токсичных газов установлено, что при горении образцов, представляющих собой мягкие элементы мебели из ПЭ обивочной ткани, прокладочного материала и наполнителя ППУ, выделяются высокотоксичные газы — монооксид углерода и циановодород.

Получены новые экспериментальные данные по удельной массовой скорости выгорания и численным значениям удельных коэффициентов образования монооксида углерода и циановодорода мягких элементов мебели, что позволит расширить существующую базу данных типовой пожарной нагрузки.

Использование прокладочного материала между горючим ППУ наполнителем и обивочным материалом в элементах мягкой мебели приводит к возможности не только получения трудновоспламеняемой композиции, но и изменению параметров образования токсичных продуктов горения, что позволит разработать обоснованные рекомендации для обеспечения безопасной эвакуации людей при пожаре на объектах с массовым пребыванием людей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. 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. М. : Академия ГПС МЧС России, 2017. 130 с.
2. 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. 28. № 5. С. 19–26. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.19-26
3. Константинова Н.И., Зубань А.В., Булгакова А.А. Совершенствование методологического подхода к оценке пожарной опасности матрасов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 2. С. 22–32. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.22-32
4. Konstantinova N.I., Erofeev O.O. Development of materials for upholstered furniture elements of reduced fire hazard // Fibre Chemistry. 2022. Vol. 54. Pp. 258–262. DOI: 10.1007/s10692-023-10389-8
5. Thomas T., Babich M.A. CPSC staff exposure and risk assessment of flame retardant chemicals in residential upholstered furniture // U.S. Consumer Product Safety Commission. 2015. P. 109. DOI: 10.13140/RG.2.1.3291.6646
6. Storesund K., Steen-Hansen A., Bergstrand A. Fire safe upholstered furniture Alternative strategies to the use of chemical flame retardants // Report. 2015. No. A15 20124: 2. 48 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.15431.70564
7. Пузач С.В., Константинова Н.И., Акперов Р.Г., Овчинников А.О. Пожарная опасность элементов мягкой мебели // Ройтмановские чтения : сб. мат. XI науч.-практ. конф., под ред. Д.А. Самошина. М. : Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2023. С. 70–74.
8. Fabian T.Z., Gandhi P.D. Upholstered furniture flammability: Full-scale furniture and flashover experiments // Conference: Fire & Materials. 2013. Pp. 1–11.
9. Zammarano M., Hoehler M.S., Shields J.R., Thompson A.L., Kim I., Leventon I.T. et al. Bundy full-scale experiments to demonstrate flammability risk of residential upholstered furniture and mitigation using barrier fabric. National Institute of Standards and Technology, 2020. DOI: 10.6028/NIST.TN.2129
10. Nasare S., Pitts W., Matko S., Davis R.D. Evaluating smoldering behavior of barrier fabrics // Journal of Fire Sciences. 2014. Vol. 32. Issue 6. Pp. 539–562. DOI: 10.1177/0734904114543450

11. Davis A., Ryan P.B., Cohen J.A., Harris D., Black M. Chemical exposures from upholstered furniture with various flame retardant technologies // *Indoor air*. 2021. Vol. 31. Issue 5. Pp. 1473–1483. DOI: 10.1111/ina.12805
12. 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
13. Пузач С.В., Болдрушкиев О.Б., Акперов Р.Г. О необходимости учета совместного воздействия токсичных продуктов горения при определении времени блокирования путей эвакуации // *Ройтмановские чтения : сб. мат. 10-й науч.-практ. конф. (г. Москва, 26 мая 2022 года)*. М., 2022. С. 96–99.
14. 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
15. 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
16. 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
17. Kaczorek-Chrobak K., Fangrat J. PVC-based copper electric wires under various fire conditions: toxicity of fire effluents // *Materials*. 2020. Vol. 13. Issue 5. P. 1111. DOI: 10.3390/ma13051111
18. Pauluhn J. Acute inhalation toxicity of carbon monoxide and hydrogen cyanide revisited: Comparison of models to disentangle the concentration × time conundrum of lethality and incapacitation // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2016. Vol. 80. Pp. 173–182. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.06.017

REFERENCES

1. 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).
2. Puzach S.V., Boldrushkiev O.B. Determination of the specific coefficient of formation and critical partial density of hydrogen cyanide and carbon monoxide during a fire in a room. *Pozharovzryvobezopasnost'/Fire and explosion safety*. 2019; 28(5):19-26. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.19-26 (rus).
3. Konstantinova N.I., Zuban A.V., Bulgakova A.A. Improving the methodological approach to assessing the fire hazard of mattresses. *Pozharovzryvobezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(2):22-32. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.22-32 (rus).
4. Konstantinova N.I., Erofeev O.O. Development of materials for upholstered furniture elements of reduced fire hazard. *Fibre Chemistry*. 2022; 54:258-262. DOI: 10.1007/s10692-023-10389-8
5. Thomas T., Babich M.A. CPSC staff exposure and risk assessment of flame retardant chemicals in residential upholstered furniture. *U.S. Consumer Product Safety Commission*. 2015; 109. DOI: 10.13140/RG.2.1.3291.6646
6. Storesund K., Steen-Hansen A., Bergstrand A. Fire safe upholstered furniture Alternative strategies to the use of chemical flame retardants. *REPORT*. 2015; A15 20124(2):48. DOI: 10.13140/RG.2.2.15431.70564
7. Puzach S.V., Konstantinova N.I., Akperov R.G., Ovchinnikov A.O. Fire hazard of upholstered furniture elements. *Roitman readings : collection of materials of the XI scientific and practical conference*. D.A. Samoshin (Ed.). Moscow, 2023; 70-74.
8. Fabian T.Z., Gandhi P.D. Upholstered furniture flammability: Full-scale furniture and flashover experiments. *Conference: Fire & Materials*. 2013; 1-11.
9. Zammarrano M., Hoehler M.S., Shields J.R., Thompson A.L., Kim I., Leventon I.T. et al. *Bundy Full-Scale Experiments to Demonstrate Flammability Risk of Residential Upholstered Furniture and Mitigation Using Barrier Fabric*. National Institute of Standards and Technology, 2020. DOI: 10.1177/0734904114543450
10. Nasare S., Pitts W., Matko S., Davis R.D. Evaluating smoldering behavior of barrier fabrics. *Journal of Fire Sciences*. 2014; 32(6):539-562. DOI: 10.1177/0734904114543450
11. Davis A., Ryan P.B., Cohen J.A., Harris D., Black M. Chemical exposures from upholstered furniture with various flame retardant technologies. *Indoor air*. 2021; 31(5):1473-1483. DOI: 10.1111/ina.12805
12. 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).
13. Puzach S.V., Boldrushkiev O.B., Akperov R.G. The need to take into account the combined effects of harmful combustion products when determining the time of blocking escape routes. *Roitman readings : collection of materials from the 10th scientific and practical conference (Moscow, May 26, 2022)*. 2022; 96-99. (rus).
14. 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
15. 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

16. Pauluhn J. Phosgene inhalation toxicity: Update on mechanisms and mechanism-based treatment strategies. *Toxicology*. 2021; 450:152682. DOI: 10.1016/j.tox.2021.152682
17. 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
18. Pauluhn J. Acute inhalation toxicity of carbon monoxide and hydrogen cyanide revisited: Comparison of models to disentangle the concentration $\times$ time conundrum of lethality and incapacitation. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2016; 80:173-182. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.06.017

Поступила 26.10.2023, после доработки 28.12.2023;

принята к публикации 09.01.2024

Received October 26, 2023; Received in revised form December 28, 2023;

Accepted January 9, 2024

Информация об авторах

ПУЗАЧ Сергей Викторович, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; Scopus AuthorID: 7003537835; ResearcherID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

КОНСТАНТИНОВА Наталия Ивановна, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 774306; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.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; ORCID: 0000-0002-2524-8710; e-mail: akperov01@mail.ru

ОВЧИННИКОВ Александр Олегович, магистрант, 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: 0009-0004-4570-878X; e-mail: sasha_trewq07@mail.ru

Вклад авторов:

Пузач С.В. — научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы.

Константинова Н.И. — концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы.

Акперов Р.Г. — концепция исследования; развитие методологии; доработка текста; итоговые выводы.

Овчинников А.О. — развитие методологии; доработка текста; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Sergey V. PUZACH, Dr. Sci. (Eng.), Professor, the Honoured Scientist of the Russian Federation, Professor of Department of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'shosshe, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; Scopus AuthorID: 7003537835; ResearcherID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Nataliya I. KONSTANTINOVA, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ID RSCI: 774306; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.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

Alexsandr O. OVCHINNIKOV, Undergraduate, 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: 0009-0004-4570-878X; e-mail: sasha_trewq07@mail.ru

Contribution of the authors:

Sergey V. Puzach — scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Nataliya I. Konstantinova — research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Ruslan G. Akperov — research concept; methodology development; follow-on revision of the text; final conclusions.

Alexsandr O. Ovchinnikov — methodology development; follow-on revision of the text; final conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.