

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025. Т. 34. № 4. С. 73–82
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025; 34(4):73-82

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.841

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2025.34.04.73-82>

Оценка пожарной опасности гостиниц с учетом параметров терморазложения мягких элементов мебели

Сергей Викторович Пузач¹, Наталия Ивановна Константинова²✉,
Руслан Гянджавиевич Акперов¹, Александр Олегович Овчинников¹

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Пожарная опасность мягкой мебели в гостиничных номерах обусловлена наличием в ее составе легковоспламеняемых компонентов, таких как обивочные ткани, внутренние наполнители и элементы каркаса. Однако при проведении расчетов динамики опасных факторов пожара в гостиничных комплексах не учитываются пожароопасные свойства мягкой мебели, что может привести к недооценке токсикологической опасности для людей в процессе эвакуации.

Целью данной работы является оценка пожарной опасности гостиничных комплексов с массовым пребыванием людей на основе математического моделирования пожара с учетом использования экспериментальных данных по терморазложению мягких мебельных элементов.

Методы исследований. Проведено математическое моделирование распространения опасных факторов пожара в типовой секции гостиничных комплексов с использованием горючих нагрузок, приведенных в базе данных и полученных авторами.

Результаты исследований и их обсуждение. Обнаружено, что параметры горючей нагрузки, приведенные в существующей базе данных, приводят к недооценке воздействия токсичных газов на людей во время их эвакуации.

Учет терморазложения мягких элементов мебели в отличие от стандартной горючей нагрузки показал образование смеси высокотоксичных газов — оксида углерода, хлористого водорода и циановодорода. При этом парциальная плотность циановодорода может достигнуть критического значения до начала выхода людей из помещений без очага пожара.

Показано, что безопасная эвакуация людей не обеспечивается, так как практически во всех рассматриваемых сценариях пожара опасные факторы пожара блокируют эвакуационный выход с рассматриваемой типовой гостиничной секции до начала эвакуации людей, находящихся в помещениях без очага пожара.

Выводы. Необходимо получение актуальных данных о пожароопасных свойствах современных полимерных материалов, используемых при изготовлении и эксплуатации мягкой мебели и представляющих серьезную опасность с точки зрения создания токсикологической среды при их термическом разложении.

Ключевые слова: токсичность; циановодород; математическое моделирование пожара; пожарная нагрузка; эвакуация; монооксид углерода; парциальная плотность; критическая концентрация

Для цитирования: Пузач С.В., Константинова Н.И., Акперов Р.Г., Овчинников А.О. Оценка пожарной опасности гостиниц с учетом параметров терморазложения мягких элементов мебели // Пожаровзрывобезопасность/ Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 4. С. 73–82. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.04.73-82

✉ Константинова Наталия Ивановна, e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

Assessing hotel fire hazards with regard for parameters of thermal decomposition of upholstered furniture elements

Sergey V. Puzach¹, Natalia I. Konstantinova²✉, Ruslan G. Akperov¹, Aleksandr O. Ovchinnikov¹

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

ABSTRACT

Introduction. Upholstered furniture in hotel rooms has a fire hazard due to flammable components, such as upholstery fabrics, fillers, and frame elements. However, analysis of fire hazards and their development patterns in hotel buildings disregards flammability properties of upholstered furniture. This can involve an underestimation of toxicological hazards for people in the course of evacuation.

The mission of this work is to assess fire hazards in crowded hotels buildings using mathematical modeling of fire and experimentally obtained information about the thermal decomposition of upholstered furniture.

Research methods. Mathematical modeling was employed to simulate the development of fire hazards in a standard hotel section; fire load values were taken from the database and contributed to the simulation.

Research results and their discussion. Parameters of fire loads, extracted from the database, can cause an underestimation of the effect of toxic gases on humans during evacuation.

Unlike standard combustible loads, emission of a mixture of highly toxic gases, such as carbon monoxide, hydrogen cyanide and hydrogen chloride, accompanies the thermal decomposition of upholstered furniture elements. Hence, partial density of hydrogen cyanide can reach a critical value before humans can start leaving hotel premises that have no fire sources.

The authors demonstrate that safe evacuation of people is unfeasible, because almost each of the five scenarios involves fire hazards that block evacuation exits from a standard hotel section before humans can evacuate from rooms without fire sources.

Conclusion. It is necessary to obtain relevant data on flammability properties of advanced polymers used to make and take care of upholstered furniture, since the thermal decomposition of such polymers can create a toxicological environment.

Keywords: toxicity; hydrogen cyanide; mathematical modeling of fire; fire load; evacuation; carbon monoxide; partial density; critical concentration

For citation: Puzach S.V., Konstantinova N.I., Akperov R.G., Ovchinnikov A.O. Assessing hotel fire hazards with regard for parameters of thermal decomposition of upholstered furniture elements. *Pozharovzryvobezopasnost/ Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(4):73-82. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.04.73-82 (rus).

✉ Natalia Ivanovna Konstantinova, e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

Введение

Современное общество все больше осознает важность защиты окружающей среды и заботы о здоровье потребителей, что, в том числе, тесно связано с прогрессом в области текстильной промышленности. Материалы текстильного происхождения, особенно синтетические, заняли прочное место в повседневной жизни благодаря таким качествам, как доступность, прочность и универсальность. Пожарная опасность мягкой мебели в гостиничных номерах обусловлена наличием в ее составе легко воспламеняемых компонентов, таких как обивочные ткани, набивочные материалы и элементы каркаса. В помещении они способны легко воспламениться и быстро распространять пламя по поверхности других отделочных материалов, тем самым увеличивая интенсивность развития пожара и ограничивая видимость человека как в помещениях, так и на путях эвакуации. Кроме того, при их сгорании выделяются летучие токсичные соединения, представляющие серьезную угрозу здоровью людей [1, 2].

Вопросы, связанные с изучением пожарной опасности мягкой мебели, рассматриваются многими специалистами и включают комплексные исследования методологии оценки ее воспламеняемости [3, 4], разработку изделий пониженной горючести [5–7], выявление эффективных огнезащитных средств [8, 9].

Более сложным и малоизученным вопросом остается оценка токсикологических характеристик не-

которых продуктов горения текстильных изделий, представляющих собой сочетания различных по химической природе полимерных материалов. Работы в этом направлении связаны с изучением механизма комбинированного токсикологического действия продуктов горения полимеров, а также исследованием противопожарных мероприятий [10–13].

Эти обстоятельства свидетельствуют об актуальности продолжения научных исследований в этом направлении, поскольку позволят установить более четкое представление обеспечения пожарной безопасности в общественном и жилом секторе с учетом проведенных научных исследований.

В настоящее время получает полномасштабную реализацию обновленный национальный проект «Туризм и индустрия гостеприимства», направленный на увеличение социальной и экономической роли туризма в развитии Российской Федерации¹. Одним из приоритетных условий реализации социальной функции туризма является повышение доступности туристских услуг для населения, в том числе удобство размещения в гостиницах, отелях, апарта-отелях, разнообразных туристических комплексах и т.п.

Гостиницы могут быть размещены как в отдельном стоящем здании, в помещениях общественных и многофункциональных зданий, в отдельных сек-

¹ О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года : Указ Президента Российской Федерации № 474 от 21 июля 2020 г.

циях, смежных с секциями жилых многоквартирных зданий, так и во встроенных и встроенно-пристроенных помещениях общественного назначения².

Поскольку гостиницы являются объектами массового пребывания людей, включая ночное пребывание, обеспечение безопасности для проживающих там лиц становится первоочередной задачей. Гостиницы относятся к объектам класса функциональной пожарной опасности Ф 1.2³, что подразумевает повышенные требования к мерам пожарной безопасности. Однако требований к ограничению применения легковоспламеняемых текстильных изделий, таких как мягкая мебель, шторы и прочее, существующими нормами не предусмотрено.

Важно учесть, что проживающие в гостинице люди находятся в незнакомой им обстановке, что усложняет ориентацию в пространстве и поиск эвакуационных выходов. Также стоит отметить, что сон, усталость, вызванная сменой часовых поясов, и возможное непонимание русского языка могут затруднить быструю реакцию на сигнал эвакуации при пожаре.

Известно немало трагедий, связанных с крупными пожарами в гостиницах, среди которых наиболее известны случаи в гостиницах «Россия» и «Ленинград», а к недавним крупным пожарам в гостиницах можно отнести:

- 17 декабря 2023 года — пожар в гостиничном комплексе «Европа» в городе Астрахани. Причина пожара еще устанавливается;
- 24 января 2024 года — пожар в гостиничной развлекательной зоне комплекса «Роял» в Хабаровске;
- 17 февраля 2024 года — пожар в гостинице «Дружба» в городе Абакане;
- 21 января 2025 года — пожар в отеле GRANT Kartal на горнолыжном курорте (Турция).

Анализ причин пожаров в гостиницах показывает, что основными причинами возгорания легковоспламеняемых материалов являются неисправности электрооборудования, неправильное использование электроприборов и электропроводки, курение в запрещенных зонах, небрежное обращение с огнем и умышленные поджоги.

Специалистами изучаются условия безопасной эвакуации из гостиниц за счет объемно-планировочных решений [14, 15], разрабатываются современные требования к проектированию систем противопожарной защиты зданий [16], однако вопросам ограничения применения легковоспламеняемых текстильных материалов в гостиничных номерах уделено еще недостаточно внимания.

² СП 257.1325800.2020. Здания гостиниц. Правила проектирования.

³ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Гарант.ру: информационно-правовой портал. URL: <http://base.garant.ru/12161584/>

Целью данной работы является оценка пожарной опасности гостиничных комплексов с массовым пребыванием людей на основе математического моделирования пожара с учетом использования экспериментальных данных по терморазложению мягких мебельных элементов.

Методы исследований

Для достижения поставленной цели проведено математическое моделирование распространения опасных факторов пожара в типовой секции гостиничных комплексов с использованием свойств горючих нагрузок, приведенных в базе данных [17] и полученных авторами статей⁴ [18, 19].

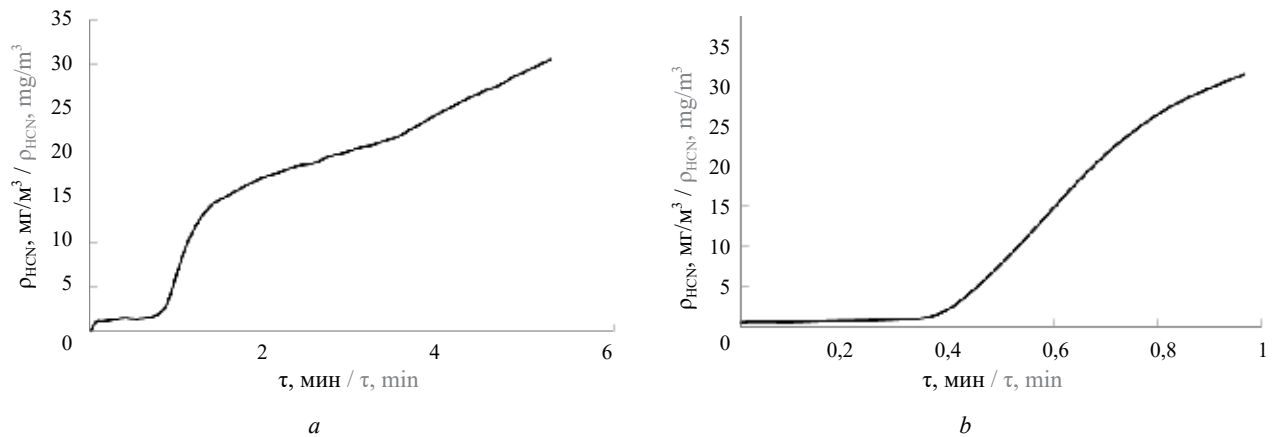
Результаты исследований и их обсуждение

В качестве исходных данных для математического моделирования распространения опасных факторов пожара в гостиничном здании помимо горючей нагрузки «здания I–II степени огнестойкости; мебель + ткани», приведенной в существующей базе данных [17], принималась горючая нагрузка «мягкие элементы мебели», определенная ранее по результатам проведенных экспериментальных исследований [19] на установке для определения пожарной опасности конденсированных материалов при их термическом разложении⁴ [19].

На рисунке представлены ранее полученные зависимости парциальной плотности выделения циановодорода (как одного из наиболее опасных газообразных токсичных компонентов) от времени проведения эксперимента образцов элементов мягкой мебели, состоящих из обивочной ткани из полиэфирных волокон (ПЭ) различной плотности (ρ , г/см²), прокладочного термостойкого материала и наполнителя — вспененного полиуретана (ППУ) [19]. При этом необходимо отметить, что в базе данных [17] горючих нагрузок отсутствуют сведения об образовании циановодорода.

Параметры рассматриваемых горючих нагрузок представлены в табл. 1, где: Q_n^p — низшая рабочая теплота сгорания, МДж/кг; $\psi_{уд}$ — удельная скорость выгорания, кг/(м²·с); $D_{уд}$ — удельное дымовыделение, Нп·м²/кг; w_d — линейная скорость распространения пламени, м/с; L_{O_2} — удельный коэффициент потребления кислорода; L_{CO} , L_{CO_2} , L_{HC} , L_{HCN} — удельные коэффициенты образования токсичных газов (монооксида углерода, диоксида углерода, хлороводорода и циановодорода).

⁴ Патент РФ на полезную модель № 174688. Установка для определения пожарной опасности конденсированных материалов при их термическом разложении / Сулейкин Е.В., Акперов Р.Г., Пузач С.В.; заявка 20.04.2017; регистрация 26.10.2017. Бюллетень № 30–2017.



Зависимости парциальной плотности циановодорода от времени при испытании образца ПЭ ($\rho = 260 \text{ г/см}^2$) + ППУ (a) и образца ПЭ ($\rho = 550 \text{ г/см}^2$) + ППУ (b)

Dependencies between partial density of hydrogen cyanide and time in the course of testing a PE (polyester) specimen ($\rho = 260 \text{ g/cm}^2$) + PPU (a) and a PE specimen ($\rho = 550 \text{ g/cm}^2$) + PPU (foamed polyurethane) (b)

Таблица 1. Параметры рассматриваемых горючих нагрузок
Table 1. Parameters of combustible loads

Параметры Parameters	Мягкие элементы мебели: ПЭ ($\rho = 260 \text{ г/см}^2$) + ППУ [10] Upholstered furniture elements: PE ($\rho = 260 \text{ g/cm}^2$) + PPU [10]	Мягкие элементы мебели: ПЭ ($\rho = 550 \text{ г/см}^2$) + ППУ Upholstered furniture elements: PE ($\rho = 550 \text{ g/cm}^2$) + PPU	Здания I–II степени огне- стойкости; мебель + ткани [17] Buildings of the 1st–2nd fire resistance classes; furniture + fabrics [17]
Q_n^p , МДж/кг $Q_{\text{lowest}}^{\text{heat value}}$, MJ/kg	31,33	24,67	14,7
$\Psi_{\text{уд}}$, кг/(м ² ·с) $\Psi_{\text{normalized burnout velocity}}$, kg/(m ² ·s)	0,015	0,004	0,0145
$D_{\text{уд}}$, Нп·м ² /кг $D_{\text{normalized smoke emission}}$, Np·m ² /kg	889	753	82
$w_{\text{л}}$, м/с $w_{\text{linear flame velocity}}$, m/s	0,0021	0,0021	0,0108
L_{O_2}	–1	–1	–1,437
L_{CO}	0,131	0,131	0,0022
L_{CO_2}	1,26	2,73	1,285
L_{HCl}	0,006	0,006	0,006
L_{HCN}	0,0141	0,0317	–

Моделирование динамики развития пожара проводилось с использованием аналитического решения интегральной модели⁵ [17] при следующих исходных данных: коэффициент теплопотерь $\phi = 0,3$; коэффициент отражения предметов на путях эвакуации $\alpha = 0,3$; начальная освещенность $E = 50 \text{ лк}$.

Использовалась программа для ЭВМ, имеющая свидетельство об официальной регистрации программы в Федеральной службе РФ по интел-

лектуальной собственности, патентам и товарным знакам⁶.

Моделирование проводилось для одной типовой гостиничной секции с различной площадью коридора при устройстве одного эвакуационного выхода на лестничную клетку.

Рассматривались три сценария развития пожара, отличающиеся видом горючей нагрузки.

⁵ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности : Приказ МЧС России № 1140 от 14.11.2022.

⁶ Лузач С.В. Интегральные, зонные и полевые методы расчета динамики опасных факторов пожара. Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614238 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 08.12.2006 г.

При сценарии № 1 принималась нагрузка «здания I–II степени огнестойкости; мебель + ткани, таблица».

В случае сценария № 2 рассматривалась модель типового среднегабаритного дивана (ПЭ ($\rho = 260 \text{ г/см}^2$) + ППУ, таблица), расположенного в помещении гостиничного номера напротив оконного проема. Горючая нагрузка «ПЭ ($\rho = 550 \text{ г/см}^2$) + ППУ» принималась в качестве исходных данных для сценария № 3.

В отличие от сценария № 1 в сценариях № 2 и 3 учитывается образование высокотоксичного газа — циановодорода (табл. 1).

В табл. 2–4 представлены величины времен блокирования путей эвакуации наиболее опасными факторами пожара для всех сценариев развития пожара [20].

Обозначения в табл. 2–4: F — площадь пола помещения, м^2 ; H — высота помещения, м; V — сво-

Таблица 2. Времена блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара в случае сценария № 1
Table 2. The time for evacuation routes to be blocked by fire hazards according to Scenario 1

Номер Number	$F, \text{ м}^2$ $F, \text{ м}^2$	$H, \text{ м}$ $H, \text{ м}$	$V, \text{ м}^3$ $V, \text{ м}^3$	$\tau_{\text{г}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{г}}, \text{ с}$	$\tau_{\text{Т}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{Т}}, \text{ с}$	$\tau_{\text{O}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{O}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{HCN}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{HCN}}, \text{ с}$	$\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{HC}_1}, \text{ с}$ $\tau_{\text{HC}_1}, \text{ с}$	$\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$
1	30	3,0	72	95,0	89,2	98,8	–	–	–	80,4	64,3	110	
2	60	3,0	144	105,8	112,4	124,5	–	–	–	101,3	81,0		
3	120	3,0	288	118,1	141,6	156,8	–	–	–	127,6	94,5		
4	180	3,0	432	126,1	162,1	179,5	–	–	–	146,1	100,9		
5	300	3,0	720	137,0	192,2	212,8	–	–	–	173,2	109,6		

Таблица 3. Времена блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара в случае сценария № 2
Table 3. The time for evacuation routes to be blocked by fire hazards according to Scenario 2

Номер Number	$F, \text{ м}^2$ $F, \text{ м}^2$	$H, \text{ м}$ $H, \text{ м}$	$V, \text{ м}^3$ $V, \text{ м}^3$	$\tau_{\text{г}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{г}}, \text{ с}$	$\tau_{\text{Т}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{Т}}, \text{ с}$	$\tau_{\text{O}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{O}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{HCN}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{HCN}}, \text{ с}$	$\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{HC}_1}, \text{ с}$ $\tau_{\text{HC}_1}, \text{ с}$	$\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$
1	30	3,0	72	78,0	128,7	135,4	212,9	87,0	–	152,1	62,4	110	
2	60	3,0	144	87,5	162,1	170,6	268,2	109,6	–	191,6	70,0		
3	120	3,0	288	98,1	204,3	215,0	337,9	138,1	–	241,4	78,5		
4	180	3,0	432	104,9	233,8	246,1	386,8	158,1	–	276,4	83,9		
5	300	3,0	720	114,2	277,2	291,8	458,7	187,4	–	327,7	91,3		

Таблица 4. Времена блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара в случае сценария № 3
Table 4. The time for evacuation routes to be blocked by fire hazards according to Scenario 3

Номер Number	$F, \text{ м}^2$ $F, \text{ м}^2$	$H, \text{ м}$ $H, \text{ м}$	$V, \text{ м}^3$ $V, \text{ м}^3$	$\tau_{\text{г}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{г}}, \text{ с}$	$\tau_{\text{Т}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{Т}}, \text{ с}$	$\tau_{\text{O}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{O}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{HCN}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{HCN}}, \text{ с}$	$\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{CO}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{HC}_1}, \text{ с}$ $\tau_{\text{HC}_1}, \text{ с}$	$\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$	$\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$ $\tau_{\text{H}_2}, \text{ с}$
1	30	3,0	72	128,1	216,5	229,3	323,1	102,7	–	234,4	82,2	110	
2	60	3,0	144	143,6	272,8	288,9	407,0	129,4	–	295,4	103,5		
3	120	3,0	288	161,0	343,7	364,0	512,8	163,1	–	372,1	128,8		
4	180	3,0	432	172,2	393,4	416,6	587,0	186,7	–	426,0	137,8		
5	300	3,0	720	187,4	466,4	494,0	696,0	221,3	–	505,1	150,0		

бодный объем помещения, равный 80 % от объема помещения, ограниченного ограждающими конструкциями, m^3 ; τ_v , τ_T , τ_{O_2} , τ_{CO} , τ_{HCN} , τ_{CO_2} , τ_{HC_1} — времена блокирования путей эвакуации по снижению видимости, температуре, кислороду, оксиду углерода, циановодороду, диоксиду углерода и хлористому водороду, с; τ_n — необходимое время эвакуации, с; $\tau_{нз}$ — время начала эвакуации, с; «—» — данный опасный фактор пожара не достиг своего критического значения.

Анализ результатов расчета показал, что использование в качестве исходных данных горючей нагрузки «здания I–II степени огнестойкости; мебель + ткани» (сценарий № 1) приводит к недооценке воздействия токсичных газов на людей во время их эвакуации из гостиничной секции по сравнению со сценариями № 2 и 3 по следующим причинам:

- не учитывается образование такого высокотоксичного газа, как циановодород (во всех горючих нагрузках базы данных) [17];
- образование монооксида углерода по его массе занижено приблизительно в 50 раз, поэтому блокирования путей эвакуации по этому газу при сценарии № 1 не происходит.

Таким образом, сценарий № 1 не учитывает образование высокотоксичной смеси газов — оксида углерода, циановодорода и хлористого водорода.

Оценка выполнения условия безопасной эвакуации людей

Проведем оценку выполнения условия безопасной эвакуации людей без учета движения людских потоков.

Здания гостиниц в соответствии с нормативным документом⁷ относятся к классу функциональной пожарной опасности Ф1.2.

В соответствии с вышеуказанным нормативным документом, для зданий, оборудованных системой пожарной сигнализации (или автоматическими установками пожаротушения, выполняющими функцию системы пожарной сигнализации) и системой оповещения и управления эвакуацией:

- время начала эвакуации при пожаре для зданий класса функциональной пожарной опасности Ф1 составляет 60 с;
- время достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя принимаем равным минимальному значению 30 с;
- время задержки, связанное с инерционностью системы обнаружения пожара, допускается принимать равным 20 с;

- время задержки, связанное с задержкой оповещения людей при пожаре, принимаем равным нулю. Тогда суммарное время начала эвакуации составляет $\tau_{нз} = 110$ с.

Из анализа табл. 2–4 видно, что блокирование людей, находящихся в помещениях без очага пожара, происходит:

- в случае сценариев № 1 и 2 — при всех рассматриваемых площадях (табл. 2 и 3);
- при сценарии № 3 при площади, меньшей 60 m^2 (табл. 4).

Поэтому во всех рассматриваемых сценариях опасные факторы пожара блокируют единственный эвакуационный выход с рассматриваемой типовой гостиничной секции на его ранних стадиях, воздействуя на людей, находящихся в помещениях (номерках) без очага пожара еще до начала процесса эвакуации: необходимые времена эвакуации меньше времени начала эвакуации (табл. 2–4). Таким образом, обеспечить безопасную эвакуацию людей не представляется возможным.

Кроме того, с учетом параметров терморазложения мягких элементов мебели блокирование путей эвакуации до начала выхода людей из помещений без очага пожара таким высокотоксичным газом, как циановодород происходит в случае сценария № 2 при площади, меньшей 60 m^2 , а при сценарии № 3 при площади, меньшей 30 m^2 .

Выводы

Проведенная оценка пожарной опасности гостиничных комплексов с массовым пребыванием людей на основе математического моделирования пожара с учетом использования экспериментальных данных по терморазложению мягких элементов мебели показала, что известные параметры горючей нагрузки, согласно существующей базе данных [17], не учитывают наиболее опасные токсичные летучие продукты горения.

С учетом большого ассортимента современных полимерных материалов, используемых при изготовлении и эксплуатации мягкой мебели [21–23] и представляющих повышенную пожарную опасность не только от легкости воспламенения, но и возможности негативного воздействия продуктов горения на организм человека, следует учитывать качественный состав и концентрации выделяющихся токсичных газов.

Определение и создание условий наиболее опасного режима термического разложения материалов, оценка его параметров позволят повысить достоверность оценки уровня воздействия на людей и имущество его опасных факторов.

⁷ ФЗ № 123. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008. 156 с.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Константинова Н.И. Огнезащита текстильных материалов : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2004. 277 с. EDN NOXTSR.
2. Константинова Н.И., Зубань А.В., Поединцев Е.А., Кривошапкина О.В. Пожарная опасность декоративных текстильных изделий в помещениях общественных зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность/Fire and explosion safety. 2024. № 34 (6). С. 14–25. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.14-25. EDN YOPFLM.
3. Zammarano M., Hoehler M.S., Shields J.R., Thompson A.L., Kim I., Leventon I.T. et al. Fullscale experiments to demonstrate flammability risk of residential upholstered furniture and mitigation using barrier fabric // Technical Note (NIST TN) National Institute of Standards and Technology. 2020. P. 66. DOI: 10.6028/NIST.TN.2129
4. Константинова Н.И., Зубань А.В., Булгакова А.А. Совершенствование методологического подхода к оценке пожарной опасности матрасов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. № 31 (2). С. 22–32. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.22-32. EDN EXCIJS.
5. Nazaré S., Davis R.D. A review of fire blocking technologies for soft Furnishings // Fire Science Reviews. 2012. No. 1 (1). Pp. 1–23. DOI: 10.1186/2193-0414-1-1. URL: <http://www.firesciencereviews.com/content/1/1/1>
6. 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. No. 31 (5). Pp. 1473–1483. DOI: 10.1111/ina.12805
7. 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. No. 11 (4). Pp. 509–516. DOI: 10.1016/j.shaw.2020.07.004. EDN DODWAC.
8. Бесшапошникова В.И., Микрюкова О.Н., Загоруйко М.В., Штейнле В.А. Исследование влияния огнезащитной модификации на структуру и свойства смесовых тканей // Материалы и технологии. 2018. № 1 (1). С. 37–42. DOI: 10.24411/2617-1503-2018-11007. EDN XUXXP.
9. Horrocks A.R. Textile flammability research since 1980 — Personal challenges and partial solutions // Polymer Degradation and Stability. 2013. No. 98 (12). Pp. 2813–2824. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.10.004
10. Толкач П.Г., Башарин В.А., Чепур С.В., Венгерович Н.Г., Юдин М.А., Никифоров А.С. и др. Токсикология продуктов горения полимерных материалов : учебное пособие. СПб. : ООО «Издательство «Левша. Санкт-Петербург», 2022. 104 с. EDN WJXUDA.
11. Чернушевич Е.В., Ширинкин П.В. Особенности определения токсичности продуктов горения строительных материалов // Сибирский пожарно-спасательный вестник : научно-аналитический журнал. 2020. № 1 (16). С. 22–28. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.16.1.004. EDN ZWQBFQ.
12. Шишинок М.Ф., Карманов Е.Ю., Уколов А.И., Земляной А.В., Ерунова Н.В., Николаев А.И. и др. Исследование токсичности продуктов горения полимерных материалов с применением хромато-масс-спектрометрии // Токсикологический вестник. 2022. № 30 (3). С. 167–176. DOI: 10.47470/0869-7922-2022-30-3-167-176. EDN ASTAIL.
13. 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. № 32 (1). С. 41–50. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.41-50. EDN JUCUFG.
14. Gravit M., Kirik E., Shabunina D., Karimova E., Khlebnikova K. Wood-Frame Hotel Building: Fire Curtains and Evacuation Analysis // Construction of Unique Buildings and Structures. 2023. No. 3 (108). P. 10804. DOI: 10.4123/CUBS.108.4
15. Gravit M., Dmitriev I., Kuzenkov K., Lunyakov M. Dependence of the Human Flow // Density from the Staircase and Exit Width. E3S Web of Conferences. 2019. No. 91. P. 05017 DOI: 10.1051/e3sconf/20199105017
16. Пехотиков А.В., Абашкин А.А., Гомозов А.В., Голкин А.В. Современные требования по противопожарной защите многоквартирных жилых зданий с применением конструкций из перекрестноклееной древесины // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. № 32 (1). С. 28–40. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.28-40. EDN MFBTNE.
17. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. М. : Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
18. Пузач С.В., Акперов Р.Г., Константинова Н.И., Овчинников А.О. Математическое моделирование распространения опасных факторов пожара на примере типового гостиничного комплекса при горении мягкой мебели // Ройтмановские чтения : сб. мат. XIII науч.-практ. конф. М. : Академия ГПС МЧС России, 2025. С. 113–115. URL: <https://roytman.online/>

19. 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. № 33 (1). С. 51–59. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.01.51-59. EDN AGHGSE.
20. Нгуен Туан Ань, Пузач С.В., Лебедченко О.С., Маламут О.Ю. Масштабный фактор при расчете времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара // *Безопасность труда в промышленности*. 2025. № 3. С. 29–34. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-3-29-34
21. Романов В.Ю., Бойко С.Ю., Трифонова Л.Б. Оптимизация технологического процесса выработки ткани для обивки мебели // *Технология текстильной промышленности*. 2024. № 2 (410). С. 124–128. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_2_124
22. Воронжева П.А., Осипова М.Л., Барыкин Д.И., Дамирова И., Бешапошникова В.И. Анализ ассортимента и исследование структуры и свойств мебельных тканей для интерьера и общественного транспорта // *Инновационное развитие техники и технологий в промышленности : сб. мат. Всеросс. науч. конф. молодых исследователей с междунар. участием*. М., 2023. С. 162–166.
23. Бешапошникова В.И. Научные основы проектирования и прогнозирования свойств изделий текстильной и легкой промышленности. Практикум : учебное пособие. М. : РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019. 176 с.

REFERENCES

1. Konstantinova N.I. Fire protection of textile materials : *dissertation of Doctor of Technical Sciences*. Moscow, 2004; 277. EDN NOXTSR. (rus).
2. Konstantinova N.I., Zuban A.V., Poedintsev E.A., Krivoshapkina O.V. Fire hazard of decorative textiles in the premises of public buildings and structures. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(6):14-25. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.14-25. EDN YOPFLM. (rus).
3. Zammarano M., Hoehler M.S., Shields J.R., Thompson A.L., Kim I., Leventon I.T. et al. Bundy fullscale experiments to demonstrate flammability risk of residential upholstered furniture and mitigation using barrier fabric. *Technical Note (NIST TN) National Institute of Standards and Technology*. 2020; 66. DOI: 10.6028/NIST.TN.2129.2020
4. Konstantinova N.I., Zuban A.V., Bulgakova A.A. Improvement of a methodological approach to assessing the fire hazard of mattresses. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(2):22-32. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.22-32. EDN EXCIJS. (rus).
5. Nazaré S., Davis R.D. A review of fire blocking technologies for soft Furnishings. *Fire Science Reviews*. 2012; 1(1):23. URL: <http://www.firesciencereviews.com/content/1/1/1>
6. 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
7. 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. EDN DODWAC.
8. Beshaposhnikova V.I., Mikryukova O.N., Zagoruiko M.V., Shteynle V.A. Study of the influence of fire-retardant modification on the structure and properties of blended fabrics. *Materials and technologies*. 2018; 1(1):37-42. DOI: 10.24411/2617-1503-2018-11007. EDN XUXXPN. (rus).
9. Horrocks A.R. Textile flammability research since 1980 — Personal challenges and partial solutions. *Polymer Degradation and Stability*. 2013; 98(12):2813-2824. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.10.004
10. Tolkach P.G., Basharin V.A., Chepur S.V., Vengerovich N.G., Yudin M.A., Nikiforov A.S. et al. Toxicology of combustion products of polymeric materials. *Teaching aid*. St. Petersburg, LLC “Publishing House” Levsha St. Petersburg”, 2022; 104. EDN WJXUDA. (rus).
11. Chernushevich E.V., Shirinkin P.V. Features of Determining the Toxicity of Combustion Products of Building Materials. *Siberian Fire and Rescue Bulletin : Scientific and Analytical Journal*. 2020; 1(16):22-28. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.16.1.004. EDN ZWQBFQ. (rus).
12. Shishonok M.F., Karmanov E.Y., Ukolov A.I., Zemlyanoi A.V., Yrunova N.V., Nikolaev A.I. et al. Study of the Toxicity of Combustion Products of Polymer Materials Using Chromatographic Mass Spectrometry. *Toxicological Review*. 2022; 30(3):167-176. DOI: 10.47470/0869-7922-2022-30-3-167-176. EDN ASTAIL. (rus).
13. Puzach S.V., Bachurin D.V., Akperov R.G., Boldrushkiev O.B., Balaev A.A. Generation of toxic gases during the combustion of stuffed toys in multifunctional shopping malls. *Fire and Explosion Safety*. 2023; 32(1):41-50. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.41-50. EDN JUCUFG. (rus).
14. Gravit M., Kirik E., Shabunina D., Karimova E., Khlebnikova K. Wood-Frame Hotel Building: Fire Curtains and Evacuation Analysis. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2023; 3(108):10804. DOI: 10.4123/CUBS.108.4
15. Gravit M., Dmitriev I., Kuzenkov K., Lunyakov M. Dependence of the Human Flow Density from the Staircase and Exit Width. *E3S Web of Conferences*, 2019; 91:5017. DOI: 10.1051/e3sconf/20199105017

16. Pekhotikov A.V., Abashkin A.A., Gomozov A.V., Golkin A.V. Modern requirements for fire protection of multi-apartment residential buildings having structures made of cross-laminated timber. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2023; 32(1):28-40. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.28-40. EDN MFBTNE. (rus).
17. Koshmarov Yu.A. Forecasting dangerous factors of fire in premises. *Study guide*. Moscow, Academy of GPS of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2000; 118. (rus).
18. Puzach S.V., Akperov R.G., Konstantinova N.I., Ovchinnikov A.O. Mathematical modeling of the spread of hazardous fire factors using the example of a typical hotel complex during combustion of upholstered furniture. *Roitman Readings : collection of materials from the 13th scientific and practical conference*. Moscow, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2025; 113-115. URL: <https://roytman.online/> (rus).
19. Puzach S.V., Konstantinova N.I., Akperov R.G., Ovchinnikov A.O. Investigation of Toxicity Parameters of the Combustion Products of Upholstered Furniture Elements. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(1):51-59. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.01.51-59. EDN AGHGSE. (rus).
20. Nguyen Tuan Anh, Puzach S.V., Lebedchenko O.S., Malamut O.Yu. Scale factor when calculating the time to block evacuation path by hazardous factors of fire. *Occupational Safety in Industry*. 2025; 3:29-34. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-3-29-34. (rus)
21. Romanov V.Yu., Boyko S.Yu., Trifonova L.B. Optimization of the technological process for manufacturing upholstery fabrics. *Textile Industry Technology*. 2024; 2(410):124-128. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_2_124 (rus).
22. Voronzheva P.A., Osipova M.L., Barykin D.I., Damirova I., Beshaposhnikova V.I. Analysis of the range and study of the structure and properties of furniture fabrics for interiors and public transport. Innovative development of equipment and technologies in industry : *collection of materials of the All-Russian Scientific Conference of young researchers with international participation*. Moscow, 2023; 162-166. (rus).
23. Besshaposhnikova V.I. Scientific bases of designing and forecasting properties of textile and light industry products. *Workshop : textbook*. Moscow, RSU named after A.N. Kosygin, 2019; 176. (rus.)

Поступила 25.06.2025, после доработки 17.07.2025;

принята к публикации 31.07.2025

Received June 25, 2025; Received in revised form July 17, 2025;

Accepted July 31, 2025

Информация об авторах

ПУЗАЧ Сергей Викторович, д.т.н., 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; AuthorID: 7003537835; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

КОНСТАНТИНОВА Наталия Ивановна, д.т.н., 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, к.т.н., доцент, доцент кафедры пожарной безопасности в строительстве в составе учебно-научного комплекса пожарной безопасности объектов защиты, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации

Information about the authors

Sergey V. PUZACH, Dr. Sci. (Eng.), Professor, the Honored 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, AuthorID: 7003537835, ORCID: 0000000172341339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Nataliya I. KONSTANTINOVA, Dr. Sci. (Eng.), Professor, principle 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: 57195464313; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

Ruslan G. AKPEROV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fire Safety in Construction as part of the educational and scientific complex of fire safety of protected facilities, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters,

последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; ORCID: 0000-0002-2524-8710; e-mail: akperov01@mail.ru

ОВЧИННИКОВ Александр Олегович, слушатель института подготовки руководящих кадров, 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; доработка текста; итоговые выводы.*

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

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2524-8710; e-mail: akperov01@mail.ru

Aleksandr O. OVCHINNIKOV, student of the Institute for Training of Management Personnel, 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:

Puzach S.V. — *scientific management; research concept; methodology development; follow-on revision of the text; final conclusions.*

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

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

Ovchinnikov A.O. — *research concept; methodology development; follow-on revision of the text; final conclusions.*

The authors declare no conflicts of interests.