

Анализ теплового воздействия на окна лестничной клетки пожара, возникшего на балконе жилого здания

Сергей Викторович Пузач¹, Сергей Алексеевич Лучкин²,
Александр Васильевич Гомозов²✉

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. Положения нормативных документов в области пожарной безопасности содержат требования по ограничению распространения пожара по плоскому фасаду здания в оконные и дверные проемы лестничных клеток в виде требований к ширине глухих простенков, но не содержат соответствующих требований к расстояниям между балконами и окнами лестничных клеток. Для обоснования этих требований в настоящей статье проведен анализ теплового воздействия на окна лестничных клеток пожара, возникшего на балконе жилого здания.

Цели и задачи. Целью настоящей статьи является расчетная оценка полей температур и тепловых потоков в зоне светопрозрачного заполнения проемов лестничных клеток в зависимости от конструктивного исполнения балконов, размеров простенков, а также возможной скорости ветра в районе застройки.

Методы. Для решения поставленных задач применены аналитические и математические методы исследования, в том числе математические методы моделирования распространения ОФП — полевое (CFD) моделирование динамики пожара.

Результаты. Получены расчетные данные, позволяющие оценить тепловое воздействие на окна лестничных клеток пожара, возникшего на балконе жилого здания в зависимости от конструктивного исполнения балконов, размеров простенков, а также возможной скорости ветра в районе застройки.

Заключение. На основе исследований получены расчетные данные для оценки теплового воздействия пожара, возникшего на балконе жилого здания и распространяющегося по фасаду, на оконные проемы лестничной клетки. Полученные данные позволяют оценить влияние конструктивного исполнения балконов, скорости ветра в районе размещения объекта, а также размера простенка на температурные поля и тепловые потоки в зоне оконного остекления лестничной клетки, а на этой основе внести необходимые дополнения и уточнения в требования нормативных документов по анализируемому вопросу.

Ключевые слова: конструктивное исполнение балконов; размер простенка; предельные значения температур; предельные значения тепловых потоков; математическая модель

Для цитирования: Пузач С.В., Лучкин С.А., Гомозов А.В. Анализ теплового воздействия на окна лестничной клетки пожара, возникшего на балконе жилого здания // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 5. С. 16–25. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.05.16-25

✉ Гомозов Александр Васильевич, e-mail: gomozovav@yandex.ru

Analysis of the thermal impact on the stairwell windows of a fire that occurred on the balcony of a residential building

Sergey V. Puzach¹, Sergey A. Luchkin², Alexander V. Gomozov²✉

¹ Academy of State fire service of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergency situations and disaster relief Vty, Moscow, Russian Federation

² All-Russian Order of the Badge of Honor, Research Institute of Fire Defense of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, Moscow Region, Balashikha, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The provisions of regulatory documents in the field of fire safety contain requirements for limiting the spread of fire along the flat facade of a building into window and door openings of staircases in the form of

requirements for the width of blind partitions, but do not contain corresponding requirements for the distances between balconies and windows of staircases. To substantiate these requirements, this paper analyzes the thermal impact on the stairwell windows of a fire that occurred on the balcony of a residential building.

Aims and objectives. The aim of this paper is to calculate the temperature fields and heat flows in the zone of translucent filling of staircase openings, depending on the design of the balconies, the size of the partitions, as well as the possible wind speed in the building area.

Methods. To solve the assigned problems, analytical and mathematical research methods were used, including mathematical methods for modelling the propagation of general physical properties – field (CFD) modelling of fire dynamics.

Results. Calculation data are obtained to evaluate the thermal impact on the stairwell windows of a fire that occurred on the balcony of a residential building, depending on the design of the balconies, the size of the partitions, as well as the possible wind speed in the building area.

Conclusion. Based on the research, calculated data were obtained to assess the thermal impact of a fire that broke out on the balcony of a residential building and spread along the facade to the window openings of the staircase. The data obtained make it possible to evaluate the influence of the design of balconies, wind speed in the area where the facility is located, as well as the size of the partition on the temperature fields and heat flows in the window glazing area of the staircase, and on this basis – to make the necessary additions and clarifications to the requirements of regulatory documents on the issue being analyzed.

Keywords: structural design of balconies; partition size; limit values of temperatures; limit values of heat fluxes; mathematical model

For citation: Puzach S.V., Luchkin S.A., Gomozov A.V. Analysis of the thermal impact on the stairwell windows of a fire that occurred on the balcony of a residential building. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(5):16-25. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.05.16-25 (rus).

✉ Alexander Vasilievich Gomozov, e-mail: gomozovav@yandex.ru

Введение

Положениями нормативных документов в области пожарной безопасности предусмотрен комплекс требований, направленных на ограничение распространения опасных факторов пожара (ОФП) по плоскому фасаду здания из окон горящих помещений в оконные проемы лестничных клеток.

Применительно к лестничным клеткам типа Л1, Н2 и Н3 перечисленные требования изложены в СП 2.13130.2020¹ в виде требований к ширине простенков — глухих участков плоской наружной стены с нормируемым пределом огнестойкости, расположенных между смежными по горизонтали проемами (оконными или иными проемами) или участками светопрозрачной конструкции с ненормируемым пределом огнестойкости.

Данные требования учитывают такие особенности помещений, примыкающих к лестничной клетке, как класс их функциональной пожарной опасности, категорию по пожарной и взрывопожарной опасности, а также факт защиты помещений автоматическими системами пожаротушения.

Однако нормативные документы не содержат требований к размеру простенков между балконами (лоджиями) и окнами лестничных клеток с учетом конструктивных особенностей балконов, а также возможной скорости ветра в районе застройки.

Для обоснования технических решений по защите лестничных клеток от распространения пожара

по фасаду в случае горения балкона необходимо проанализировать возможные конструкции балконов.

Наиболее часто балконы проектируются в жилых многоквартирных зданиях. При этом под балконом в жилом многоквартирном здании понимается выступающая из плоскости наружной стены огражденная площадка, имеющая ограниченную глубину, взаимоувязанную с освещением примыкающего помещения, которая может выполняться с покрытием и остеклением.

Для оценки пожарной опасности конструкции балконов следует разделять на следующие основные типы:

- открытые балконы, не имеющие сплошных вертикальных ограждений (в том числе не имеющие сплошных нижних экранов-ограждений), у которых внутреннее металлическое ограждение не препятствует притоку внешнего воздуха и распространению продуктов горения с балкона на фасад здания;
- частично-открытые балконы, у которых вертикальное ограждение включает в себя только сплошной не светопрозрачный нижний экран из негорючих материалов (кирпич, бетон и т.д.) или светопрозрачный нижний экран, а горизонтальным ограждением является перекрытие балкона вышележащего этажа или покрытие;
- балконы с балконным остеклением (ленточное остекление), выполненным от сплошного не светопрозрачного нижнего экрана из негорючих материалов (кирпич, бетон и т.д.) до перекрытия балкона вышележащего этажа;

¹ СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.

- балконы с панорамным остеклением (с нижним экраном из безопасного остекления и балконным остеклением).

Светопрозрачное заполнение ленточного и панорамного остекления может быть выполнено одинарным листовым флоат-стеклом, а также всеми видами специальных стекол (например, закаленным стеклом), а при заполнении нижнего экрана панорамного остекления в качестве светопрозрачного заполнения нижнего экрана применяют только безопасное закаленное стекло или многослойное. При этом высота нижнего экрана от уровня перекрытия принимается равной 1,2 м.

Очевидно, что распространение опасных факторов пожара с фасада здания в объем лестничной клетки возможно как в случае, когда тепловое воздействие пожара приведет к разрушению оконного остекления при закрытых створках окон, так и в случае, когда створки окон лестничной клетки в момент пожара открыты полностью или частично. При этом сочетание частично-открытых створок лестничной клетки с разрушением оконного остекления под воздействием пожара значительно ускоряет блокирование лестничной клетки опасными факторами пожара.

Таким образом, анализ возможности разрушения оконного остекления в лестничной клетке при тепловом воздействии пожара при пожаре на балконе является необходимым элементом для оценки безопасности лестничной клетки при пожаре как в случае закрытых створок, так и в случае частично-открытых створок.

С учетом этого целью настоящей статьи является расчетная оценка полей температур и тепловых потоков в зоне оконных проемов лестничных клеток при пожаре на балконе жилого здания в зависимости от конструктивного исполнения балконов, размеров простенков на плоском фасаде, а также возможной скорости ветра в районе застройки применительно к задаче оценки возможности разрушения оконного остекления.

Кроме того, целью статьи является апробация полученных результатов для обоснования минимально необходимых размеров простенков, позволяющих исключить разрушение оконного остекления вследствие теплового воздействия пожара на балконе.

Используемые математические соотношения и исходные данные

Современные научные подходы предполагают не только возможность, но и целесообразность обоснования противопожарных требований по защите оконных проемов лестничных клеток от теплового воздействия пожара, возникшего на балконе жилого

здания на основе использования разнообразных математических моделей, описывающих термогазодинамические параметры пожара отечественных [1–4] и зарубежных^{2, 3, 4} [5] авторов.

Данные математические модели в сочетании с программными комплексами [6] и другим позволяют обеспечить возможность анализа различных факторов на динамику распространения опасных факторов пожара как в жилом помещении, так и за его пределами.

Вместе с тем, как показано в [7–9], результаты расчетов в значительной степени зависят от пожарной опасности находящейся в помещении горючей нагрузки и ее количества. Кроме того, на результаты расчетов влияют условия размещения пожарной нагрузки в жилом помещении [10, 11].

Исходя из вышеизложенного, при выборе математической модели и исходных данных учитывались следующие обстоятельства.

Необходимость расчета параметров пожара за пределами горящей квартиры и балкона с учетом влияния скорости ветра обуславливает необходимость использования полевого метода моделирования динамики развития и распространения пожара.

Кроме того, поскольку целью защиты оконных проемов лестничных клеток от теплового воздействия пожара является обеспечение возможности безопасной эвакуации людей по лестничной клетке, то указанное обоснование должно базироваться на тех же методологических положениях, что и обоснование возможности безопасной эвакуации людей по лестничной клетке при распространении в нее ОФП из помещений, коридоров и т.д.

Данные обстоятельства обуславливают необходимость проведения обоснования противопожарных требований по защите оконных проемов лестничных клеток от теплового воздействия пожара, возникшего на балконе жилого здания, на основе базовых положений используемой в отечественной практике методики расчета пожарного риска⁵.

² Nuclear Safety NEA/CSNI/R. 2017. 14 January 2018. *Investigating Heat and Smoke Propagation Mechanisms in Multi-Compartment Fire Scenarios Final Report of the PRISME Project*. URL: www.oecd-nea.org

³ McGrattan K., Hostikka S., McDermott S. et al. *Fire dynamics simulator user's guide*. National Institute of Standards and Technology, 2019. 288 p. URL: <https://www.thunderheadeng.com/wpcontent/uploads/2013/08/FDS User Guide>.

⁴ Gilbert S. *Human Behavior in Home Fires, Technical Note (NIST TN)*. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. DOI: 10.6028/NIST.TN.2191 URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=933448

⁵ Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности (в ред. приказа МЧС от 14.11.2022 № 1140). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406477165/>

Этот подход также позволяет обеспечить возможность дальнейшего интегрирования полученных результатов в указанную методику определения пожарного риска⁵.

Для достижения поставленной цели использовано полевое моделирование динамики пожара, основанное на решении системы дифференциальных уравнений, изложенных в методике определения пожарного риска⁵.

Модель турбулентности с поправкой на влияние естественной конвекции принята согласно [12, 13].

Теплоперенос излучением учитывался на основе метода дискретного радиационного переноса [14], а радиационные свойства продуктов горения были определены согласно модели взвешенной суммы серых газов [15] с коэффициентами аппроксимации [16].

Пожарная нагрузка принималась равномерно рассредоточенной по квартире и балкону, распространение пожара — круговым, а показатели пожарной опасности горючей нагрузки — в соответствии с методикой определения пожарного риска⁵, что позволяет получить результаты расчетов с необходимым запасом по надежности.

При расчетах принималось, что фасад плоский (не имеет выступов), а наружные стены зданий, вдоль которых распространяются продукты горения, выполнены из негорючих материалов.

Скорость ветра варьировалась в наиболее характерном диапазоне, установленном для различных регионов РФ в СП 131.13330.2020⁶.

Согласно положениям методики⁵, при расчетах должны рассматриваться сценарии пожара и исходные данные, при которых реализуются наихудшие условия для обеспечения безопасности людей. С учетом этого направление ветра принималось вдоль фасада здания от окна горящего балкона к лестничной клетке, что соответствует наиболее критическим условиям. Скорость ветра W и температура воздуха $T_{\text{вх}}$ принимались как максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь согласно положениям табл. 3.1 и как температура воздуха с обеспеченностью 0,98 согласно положениям табл. 4.1 СП⁶ соответственно. Расчеты проведены для условий Москвы, где значения скорости и температуры воздуха составляют $W = 2$ м/с и $T_{\text{вх}} = 26$ °С, а также Каширы и Симферополя, где значения скорости и температуры составляют $W = 4$ м/с, $T_{\text{вх}} = 25$ °С и $W = 6$ м/с, $T_{\text{вх}} = 30$ °С соответственно.

Оценка теплового воздействия пожара, развивающегося на балконе, на оконные конструкции лестничной клетки проведена для балкона жилого дома,

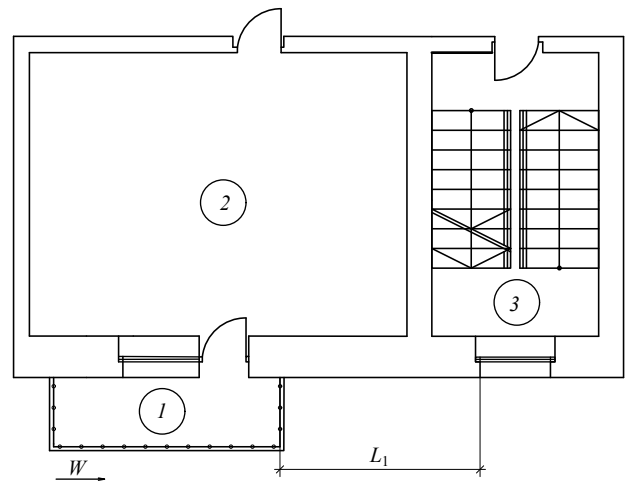


Рис. 1. Анализируемая схема очага пожара на балконе в зоне оконного проема лестничной клетки: 1 — балкон; 2 — примыкающее помещение квартиры; 3 — лестничная клетка; L_1 — простенок; W — скорость ветра

Fig. 1. Analyzed scheme of fire origin on the balcony in the area of the stairwell window opening: 1 — balcony; 2 — adjoining apartment room; 3 — stairwell; L_1 — partition; W — wind speed

имеющего длину 3 м и ширину 1 м (рис. 1). Принималось, что горючая нагрузка на балконе идентична горючей нагрузке в помещениях квартиры.

При расчетах принималось, что примыкающее к балкону жилое помещение имеет площадь 18 м², а проем балконной двери имеет размер 0,8 × 1,9 м. Выход на балкон не рассматривался как аварийный, предусмотренный положениями СП 1.13130.2020⁷.

Основные результаты расчетов и их обсуждение

В рамках анализа теплового воздействия пожара на балконе на окна лестничных клеток проведены расчеты полей температур газовой среды пожара на расстоянии 0,1 м от светопрозрачной части окна, а также тепловых потоков, которые падают на плоскость светопрозрачной части окна.

На основе анализа результатов этих расчетов для интервала времени от момента начала пожара до момента выхода на постоянное значение расчетных параметров определены максимальные значения температур t и тепловых потоков q в пределах каждого вертикального сечения, расположенного перпендикулярно плоскости окна на расстоянии L_1 от границы балкона и на этой основе построены графические зависимости, приведенные на рис. 2–7. На этих графиках значению скорости ветра $W = 2$ м/с соответствует температура воздуха $T_{\text{вх}} = 26$ °С, а скоростям ветра $W = 4$ м/с и $W = 6$ м/с — температура воздуха $T_{\text{вх}} = 25$ °С и $T_{\text{вх}} = 30$ °С соответственно.

⁶ СП 131.13330.2020. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология.

⁷ СП 1.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы.

В рамках первой серии расчетов анализировался пожар на балконе, который не распространяется в квартиру (дверь на балкон находится в закрытом положении). При этом рассмотрен как случай пожара на открытом балконе, так и случай пожара на частично открытом балконе с нижним негорючим ограждением (экраном), у которого зазор между ограждением и плитой перекрытия балкона составляет 100 мм. Результаты этих расчетов показаны на рис. 2, 3.

В рамках второй серии расчетов анализировался пожар, который происходит одновременно в квартире и на балконе (дверь на балкон находится в полностью открытом положении).

При этом рассмотрен как случай пожара на открытом балконе, так и случай пожара на частично открытом

балконе с нижним негорючим ограждением (экраном), у которого зазор между ограждением и плитой перекрытия балкона составляет 100 мм. Результаты этих расчетов показаны на рис. 4–7.

При определении предельных значений t и тепловых потоков q , при которых не произойдет разрушения стеклопакета оконного остекления лестничных клеток, использованы данные натурных испытаний [17], согласно которым разрушение стеклопакета происходит через 5 мин воздействия на него со стороны фасада пламени с температурой 650 °С. С учетом данных о размере пламени, приведенных в [17], можно предположить, что его степень черноты составляла не менее $\varepsilon = 0,6$, а величина падающего

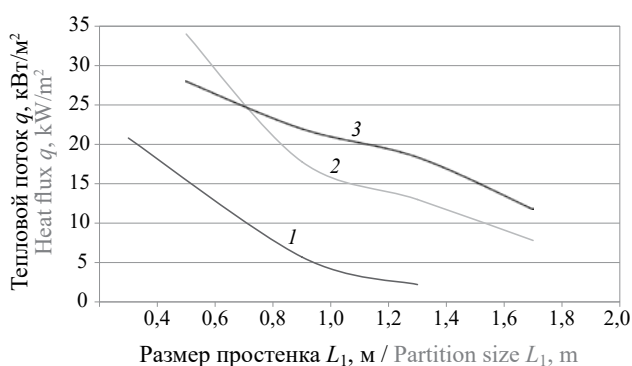


Рис. 2. Зависимость максимального теплового потока в зоне оконного проема от размера простенка при пожаре на открытом балконе жилого дома: 1 — при скорости ветра $W = 2$ м/с и его температуре; 2 — при скорости ветра $W = 4$ м/с; 3 — при скорости ветра $W = 6$ м/с

Fig. 2. Dependence of maximum heat flux in the zone of window opening on the size of partition in case of fire on the open balcony of a residential building: 1 — at wind speed $W = 2$ m/s; 2 — at wind speed $W = 4$ m/s; 3 — at wind speed $W = 6$ m/s

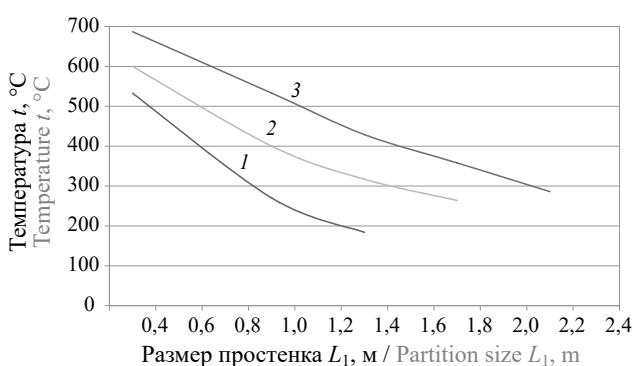


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры в зоне оконного проема от размера простенка при пожаре на открытом балконе жилого дома: 1 — при скорости ветра $W = 2$ м/с; 2 — при скорости ветра $W = 4$ м/с; 3 — при скорости ветра $W = 6$ м/с

Fig. 3. Dependence of maximum temperature in the zone of window opening on the size of partition in case of fire on the open balcony of a residential building: 1 — at wind speed $W = 2$ m/s; 2 — at wind speed $W = 4$ m/s; 3 — at wind speed $W = 6$ m/s

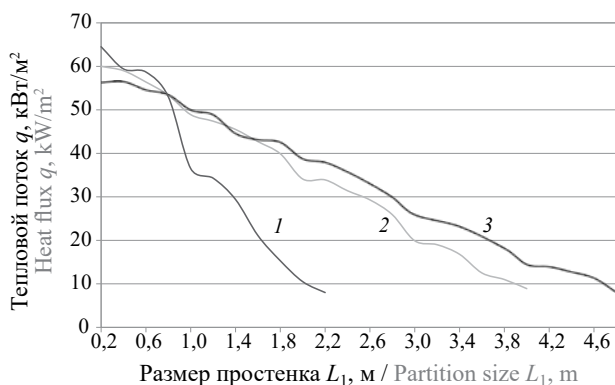


Рис. 4. Зависимость максимального теплового потока в зоне оконного проема от размера простенка при пожаре в квартире и на открытом балконе жилого дома: 1 — при скорости ветра $W = 2$ м/с; 2 — при скорости ветра $W = 4$ м/с; 3 — при скорости ветра $W = 6$ м/с

Fig. 4. Dependence of maximum heat flux in the zone of window opening on the size of partition in case of fire in an apartment and on an open balcony of a residential building: 1 — at wind speed $W = 2$ m/s; 2 — at wind speed $W = 4$ m/s; 3 — at wind speed $W = 6$ m/s

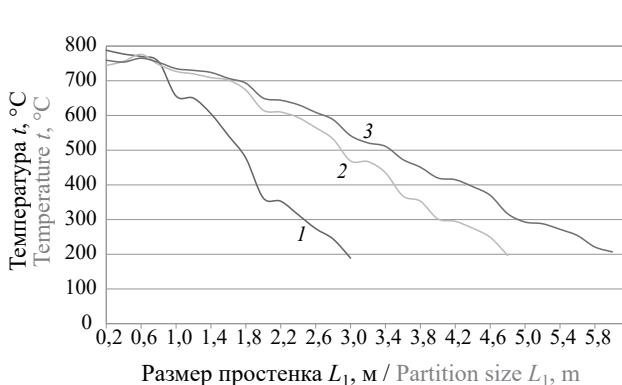


Рис. 5. Зависимость максимальной температуры в зоне оконного проема от размера простенка при пожаре в квартире и на открытом балконе жилого дома: 1 — при скорости ветра $W = 2$ м/с; 2 — при скорости ветра $W = 4$ м/с; 3 — при скорости ветра $W = 6$ м/с

Fig. 5. Dependence of maximum temperature in the zone of window opening on the size of partition in case of fire in an apartment and on an open balcony of a residential building: 1 — at wind speed $W = 2$ m/s; 2 — at wind speed $W = 4$ m/s; 3 — at wind speed $W = 6$ m/s

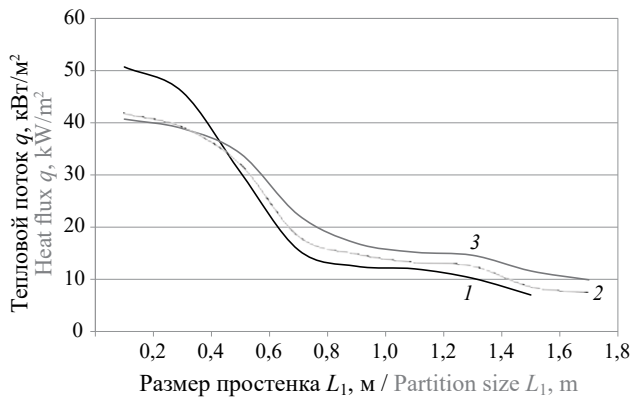


Рис. 6. Зависимость максимального теплового потока в зоне оконного проема от размера простенка при пожаре в квартире и на частично открытом балконе с нижним ограждением (экраном) жилого дома: 1 — при скорости ветра $W = 2$ м/с; 2 — при скорости ветра $W = 4$ м/с; 3 — при скорости ветра $W = 6$ м/с

Fig. 6. Dependence of maximum heat flux in the zone of window opening on the size of partition in case of fire in an apartment and on a partially-open balcony with a lower enclosure (screen) of a residential building: 1 — at wind speed $W = 2$ m/s; 2 — at wind speed $W = 4$ m/s; 3 — at wind speed $W = 6$ m/s

от пламени на поверхность окна теплового потока излучения была не менее $q = 25$ кВт/м².

Исходя из этого, а также с учетом результатов работ [18–20] и других исследований этих авторов, принято, что с необходимым для практики запасом по надежности в качестве предельно допустимых значений температуры и тепловых потоков, при которых не произойдет разрушение оконного остекления в виде стеклопакета при воздействии на него со стороны фасада пламени, следует принимать значения температуры $t_{пр} = 300$ °С и падающего теплового потока $q_{пр} = 12,5$ кВт/м².

Расчеты показали, что в случае открытого балкона фактор скорости ветра оказывает существенное влияние на размер простенка L_1 , при котором значения температур и тепловых потоков не превышают предельно допустимых значений.

Так, при пожаре на открытом балконе значение теплового потока не будет превышать предельно допустимого значения $q_{пр} = 12,5$ кВт/м² при величине простенка $L_1 = 0,7$ м, если скорость ветра равна $W = 2$ м/с, при величине простенка $L_1 = 1,5$ м, если скорость ветра равна $W = 4$ м/с и при величине простенка $L_1 = 1,8$ м, если скорость ветра равна $W = 6$ м/с (рис. 2).

А из рис. 3 видно, что при пожаре на открытом балконе значение температуры не будет превышать предельно допустимого значения $t_{пр} = 300$ °С при величине простенка $L_1 = 0,9$ м, если скорость ветра равна $W = 2$ м/с, при величине простенка $L_1 = 1,5$ м, если скорость ветра равна $W = 4$ м/с и при величине простенка $L_1 = 2,2$ м, если скорость ветра равна $W = 6$ м/с.

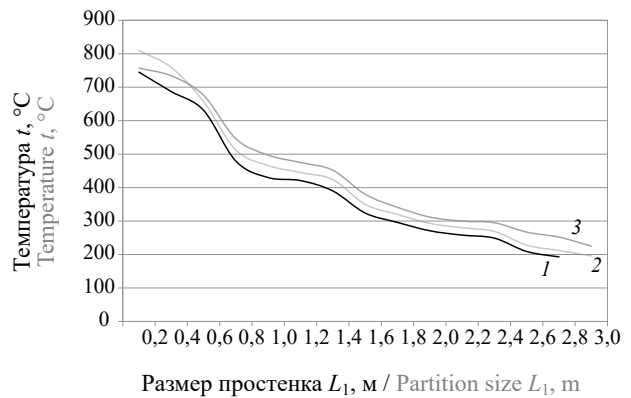


Рис. 7. Зависимость максимальной температуры в зоне оконного проема от размера простенка при пожаре в квартире и на частично открытом балконе с нижним ограждением (экраном) жилого дома: 1 — при скорости ветра $W = 2$ м/с; 2 — при скорости ветра $W = 4$ м/с; 3 — при скорости ветра $W = 6$ м/с

Fig. 7. Dependence of maximum temperature in the zone of window opening on the size of partition in case of fire in an apartment and on a partially-open balcony with a lower fence (screen) of a residential building: 1 — at wind speed $W = 2$ m/s; 2 — at wind speed $W = 4$ m/s; 3 — at wind speed $W = 6$ m/s

Аналогичным образом при пожаре в квартире и на открытом балконе значение теплового потока не будет превышать предельно допустимого значения $q_{пр} = 12,5$ кВт/м² при величине простенка $L_1 = 1,9$ м, если скорость ветра равна $W = 2$ м/с, при величине простенка $L_1 = 3,6$ м, если скорость ветра равна $W = 4$ м/с, при величине простенка $L_1 = 4,5$ м, если скорость ветра равна $W = 6$ м/с (рис. 4).

Одновременно из рис. 5 видно, что при пожаре в квартире и на открытом балконе значение температуры не будет превышать предельно допустимого значения $t_{пр} = 300$ °С при величине простенка $L_1 = 2,5$ м, если скорость ветра равна $W = 2$ м/с, при величине простенка $L_1 = 4,0$ м, если скорость ветра равна $W = 4$ м/с, при величине простенка $L_1 = 4,9$ м, если скорость ветра равна $W = 6$ м/с.

Сравнение рис. 2 и 4, а также рис. 3 и 5 показывает, что при пожаре в квартире и на открытом балконе распространение опасных факторов пожара на фасаде здания имеет более интенсивный характер, чем при пожаре только в пределах балкона. Поскольку балконная дверь не нормируется по огнестойкости и не оборудуется устройством для самозакрывания, то при обосновании минимально необходимых размеров простенков необходимо анализировать пожар, который развивается как на балконе, так и в квартире. С учетом этого в данной статье сценарии пожара только в пределах балкона больше не анализировались.

Расчеты показывают, что наличие у балкона сплошного не светопрозрачного нижнего экрана из негорючих материалов (кирпич, бетон и т.д.) позволяет существенно уменьшить размер про-

стенка L_1 , при котором значения температур и тепловых потоков не превышают предельно допустимых значений относительно соответствующих значений, полученных без ограждения.

Из сравнения рис. 4 и 6 видно, что размеры простенка L_1 , при котором значения тепловых потоков не превышают предельно допустимых значений, в случае отсутствия ограждений при скорости ветра 2 м/с почти в 2 раза больше соответствующих значений, полученных при наличии ограждений, а при скорости ветра 6 м/с — более чем в 2,5 раза.

Аналогичным образом, сравнение рис. 5 и 7 показывает, что размеры простенка L_1 , при котором значения температур не превышают предельно допустимые значения, в случае отсутствия ограждений при скорости ветра 2 м/с почти в 1,5 раза больше соответствующих значений, полученных при наличии ограждений, а при скорости ветра 6 м/с — более чем в 2 раза.

Апробация полученных результатов для обоснования требований к размерам простенков

Проведенные расчеты позволяют спрогнозировать тепловое воздействие пожара на светопрозрачное заполнение и не учитывают распространение ОФП внутрь объема лестничной клетки (как в случае разрушения остекления, так и в случае, когда створки окон при эксплуатации открыты). Эти данные получены для жилых зданий.

Поэтому данные результаты корректно можно распространять только на незадымляемые лестничные клетки типа Н2 жилых зданий, у которых остекленные проемы должны быть не с открывающимися окнами согласно¹.

Исходя из выбранных предельно допустимых значений температуры $t_{пр} = 300$ °С и теплового потока $q_{пр} = 12,5$ кВт/м² полученные результаты корректно можно распространять только на светопрозрачное заполнение окон из стеклопакетов.

Проведенные расчеты позволили установить, что минимально необходимые размеры простенка L_1 , при котором значения температур и тепловых потоков не превышают предельно допустимых значений при пожаре в квартире и на открытом балконе, составляют:

- $L_{1min} = 2,5$ м, если скорость ветра равна $W = 2$ м/с (при температуре воздуха $T_{вх} = 26$ °С);
- $L_{1min} = 4,0$ м, если скорость ветра равна $W = 4$ м/с (при температуре воздуха $T_{вх} = 25$ °С);
- $L_{1min} = 4,9$ м, если скорость ветра равна $W = 6$ м/с (при температуре воздуха $T_{вх} = 30$ °С).

А минимально необходимые размеры простенка L_1 , при котором значения температур и тепловых потоков не превышают предельно допустимых зна-

чений при пожаре в квартире и на балконе с нижним ограждением, составляют:

- $L_{1min} = 1,8$ м, если скорость ветра равна $W = 2$ м/с (при температуре воздуха $T_{вх} = 26$ °С);
- $L_{1min} = 1,9$ м, если скорость ветра равна $W = 4$ м/с (при температуре воздуха $T_{вх} = 25$ °С);
- $L_{1min} = 2,2$ м, если скорость ветра равна $W = 6$ м/с (при температуре воздуха $T_{вх} = 30$ °С).

В рамках апробации полученных результатов проанализирована корректность принятого в проекте размера простенка $L_1 = 2,3$ м между балконом жилого здания и окном незадымляемой лестничной клетки типа Н2 для г. Кашира ($W = 4$ м/с, $T_{вх} = 25$ °С).

Балкон имеет нижнее ограждение в виде сплошного не светопрозрачного экрана из негорючих материалов и ленточное остекление, которое выполнено одинарным листовым флоат-стеклом. Светопрозрачная часть окна незадымляемой лестничной клетки типа Н2 предусмотрена из стеклопакета.

Балконное ленточное остекление с использованием одинарного листового флоат-стекла не обладает огнестойкостью и разрушится в начальной стадии пожара.

С учетом этого при данном конструктивном исполнении балкона минимально необходимый размер простенка L_{1min} следует принимать согласно расчетам, проведенным для случая пожара в квартире и на балконе с нижним ограждением. Поскольку данная величина составляет $L_{1min} = 1,9$ м, что меньше предусмотренной проектом величины $L_1 = 2,3$ м, то принятое проектное решение можно считать корректным.

В качестве второго примера проанализирована корректность принятого в проекте размера простенка $L_1 = 3,5$ м между балконом жилого здания и окном незадымляемой лестничной клетки типа Н2 для г. Симферополя ($W = 6$ м/с, $T_{вх} = 30$ °С).

Балкон имеет панорамное остекление из закаленного стекла. Светопрозрачная часть окна незадымляемой лестничной клетки типа Н2 предусмотрена из стеклопакета.

Панорамное остекление из закаленного стекла не обладает огнестойкостью и разрушится в начальной стадии пожара.

При данном конструктивном исполнении балкона минимально необходимый размер простенка L_{1min} следует принимать согласно расчетам, проведенным для случая пожара в квартире и на открытом балконе. Поскольку данная величина составляет $L_{1min} = 4,9$ м, что больше предусмотренной проектом величины $L_1 = 3,5$ м, то принятое проектное решение нельзя считать корректным. В качестве дополнительного мероприятия в этом случае следует предусмотреть защиту оконного проема незадымляемой лестничной клетки типа Н2 противопожарным окном с пределом огнестойкости не менее Е30.

Заключение

Нормативные документы по пожарной безопасности регламентируют требования к размерам простенков между оконными проемами помещений и смежными оконными проемами лестничных клеток, позволяющие ограничить распространение опасных факторов пожара по плоскому фасаду здания из окон горящих помещений в оконные проемы лестничных клеток.

Однако нормативные документы не содержат требований к размеру простенков между балконами и окнами лестничных клеток с учетом конструктивных особенностей балконов, а также возможной скорости ветра в районе застройки.

Разработка этих требований обусловила необходимость анализа теплового воздействия пожара, возникшего на балконе, на оконное остекление лестничных клеток.

Проведенные расчеты позволили установить значения температур и тепловых потоков в зоне оконных проемов лестничных клеток при пожаре на балконе жилого здания в зависимости от конструктивного исполнения балконов, размеров простенков на плоском фасаде, а также возможной скорости ветра в районе застройки.

Расчеты базировались на базовых положениях методики определения пожарного риска в части использованной математической модели, а также рассмотрения сценариев пожара, при которых реализуются наихудшие условия для обеспечения безопасности людей.

На основе анализа результатов исследований поведения светопрозрачных конструкций при пожаре других авторов, в том числе полученных ими данных натуральных испытаний, определены предельно допустимые значения температуры и тепловых потоков, при которых не произойдет разрушение оконного остекления в виде стеклопакета при воздействии на него пожара со стороны фасада.

Это позволило расчетным путем установить минимально необходимые размеры простенков, при которых значения температур и тепловых потоков не будут превышать предельно допустимых значений в зависимости от конструктивного исполнения балконов и возможной скорости ветра в районе застройки.

В рамках апробации полученных результатов проанализирована корректность ряда проектных решений по выбору размеров простенков между балконами различного конструктивного исполнения и окнами лестничных клеток жилых зданий, расположенных в отличных друг от друга климатических регионах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ярош А.С., Чалаташвили М.Н., Кроль А.Н., Попова Е.А., Романова В.В., Сачков А.В. Анализ математических моделей развития опасных факторов пожара в системе зданий и сооружений // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2019. № 1. С. 50–56. EDN TUFIDN.
2. Дроздов Д.С., Дроздова Т.И. Графическое моделирование для оценки опасных факторов пожара // Технологическая и природная безопасность : сб. науч. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 24–26 апреля 2019 г. / под ред. С.М. Рогачевой, А.С. Жутова, И.М. Учайевой. Саратов : Амирит, 2019. С. 69–73.
3. Бедрина Е.А., Рекин А.С., Храпский С.Ф., Бокарев А. И., Денисова Е.С. Прогнозирование динамики тепло-массообменных процессов при пожарах в типовых многоэтажных жилых зданиях // Динамика систем, механизмов и машин. 2019. Т. 7. № 3. С. 10–15. DOI: 10.25206/2310-9793-7-3-10-15. EDN LTPRRL.
4. Храпский С.Ф., Бедрина Е.А. Динамика развития тепло-массообменных процессов при пожарах в жилых многоквартирных зданиях и ее влияние на возможность безопасной эвакуации людей // Динамика систем, механизмов и машин. 2020. Т. 8. № 3. С. 124–131. DOI: 10.25206/2310-9793-8-3-124-131
5. McGrattan K., Miles S. Modeling fires using Computational Fluid Dynamics (CFD). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Chapter 32. Fifth Edition. Society of Fire Protection Engineers, 2016. Pp. 1034–1065. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0
6. Недрышкин О.В., Гравит М.В. Программные комплексы моделирования опасных факторов пожара // Пожарная безопасность. 2018. № 2. С. 38–46. EDN XQNGLB.
7. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учеб. пособие. М. : Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
8. Пузач С.В. Методы расчета тепло-массообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. 336 с.
9. Cortés D., Gil D., Azorín J., Vandecasteele F., Verstockt S. A review of modelling and simulation methods for flashover prediction in confined space fires. Applied Sciences (Switzerland), 2020. No. 10 (1). Pp. 1–18. DOI: 10.3390/app10165609
10. Zhang T., Wang Z., Wong H., Tam W., Huang X., Xiao F. Real-time forecast of compartment fire and flashover based on deep learning // Fire Safety Journal. 2022. No. 130. P. 103579. DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.103579 URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=933297

11. Wang J., Tam W.C., Jia Y., Peacock R., Reneke P., Fu E.Y. et al. P-Flash A machine learning-based model for flashover prediction using recovered temperature data // *Fire Safety Journal*. 2021. No. 122. P. 103341. DOI: 10.1016/j.firesaf.2021.103341
12. Launder B.E., Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flows // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1974. No. 3 (2). Pp. 269–289. DOI: 10.1016/0045-7825(74)90029-2
13. Hossain M.S., Rodi W. A turbulence model for buoyant flows and its application for vertical buoyant jets // *Turbulent Buoyant Jets and Plums* (Rodi W. ed.). HMT Series : Oxford, England, 1982. Vol. 6. Pp. 121–172.
14. Lockwood F.C., Shah N.G. A new radiation solution method for incorporation in general combustion prediction procedures // *Proceedings of the Symposium (International) on Combustion*. 1981. No. 18 (1). Pp. 1405–1414. DOI: 10.1016/S0082-0784(81)80144-0
15. Bressloff N.W., Moss J.B., Rubini P.A. Assessment of a differential total absorptivity solution to the radiative transfer equation as applied in the discrete transfer radiation model. Numerical heat transfer, Part B // *An International Journal of Computation and Methodology*. 1996. No. 29 (3). Pp. 381–397. DOI: 10.1080/10407799608914988
16. Truelove J.S. The two-flux model for radiative transfer with strongly anisotropic scattering // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1984. No. 27 (3). Pp. 464–466. DOI: 10.1016/0017-9310(84)90294-1
17. Безбородов В.И. Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий : дис. ... канд. техн. наук. М., 2019. 161 с.
18. Зубкова Е.В., Казиев М.М. Поведение при пожаре и огнезащита светопрозрачных строительных конструкций // *Вестник ВНИИИМАШ*. 2014. № 1 (16). С. 54–55.
19. Дудунов А.В. Пожароустойчивость светопрозрачного заполнения оконных строительных конструкций : дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 128 с.
20. Зубкова Е.В. Факторы разрушения листового стекла при пожаре // *Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал*. 2015. № 4 (62). URL: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2015-4/2015-4.html>

REFERENCES

1. Yarosh A.S., Chalatahshvili M.N., Krol A.N., Popova E.A., Romanova V.V., Sachkov A.V. Analysis of mathematical models for the development of dangerous fire factors in the system of buildings and structures. *Bulletin of the scientific center for the safety of work in the coal industry*. 2019; 1:50-56. EDN TUFIDN. (rus).
2. Drozdov D.S., Drozdova T.I. Graphic modeling for assessing fire hazards. *Technogenic and natural safety : collection of scientific papers of the 5th international scientific and practical conference. Saratov, April 24–26, 2019 / ed. C.M. Rogacheva, A.S. Zhutova, I.M. Uchaeva*. Saratov, Amirit, 2019; 69-73. (rus).
3. Bedrina E.A., Rekin A.S., Khrapsky S.F., Bokarev A.I., Denisova E.S. Forecasting the dynamics of heat and mass transfer processes during fires in typical multi-storey residential buildings. *Dynamics of systems, mechanisms and machines*. 2019; 7(3):10-15. DOI: 10.25206/2310-9793-7-3-10-15. EDN LTPRRL. (rus).
4. Khrapsky S.F., Bedrina E.A. Dynamics of development of heat and mass transfer processes during fires in residential multi-apartment buildings and its influence on the possibility of safe evacuation of people. *Dynamics of systems, mechanisms and machines*. 2020; 8(3):124-131. DOI: 10.25206/2310-9793-8-3-124-131 (rus).
5. McGrattan K., Miles S. Modeling fires using Computational Fluid Dynamics (CFD). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Chapter 32. Fifth Edition*. Society of Fire Protection Engineers, 2016; 1034-1065. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0
6. Nedryshkin O.V., Gravit M.V. Software systems for modeling fire hazards. *Fire safety*. 2018; 2:38-46. EDN XQNGLB. (rus).
7. Koshmarov Yu.A. *Prediction of dangerous factors of fire in premises : textbook allowance*. Moscow, Academy of State Fire Service of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2000; 118. (rus).
8. 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, Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2005; 336. (rus).
9. Cortés D., Gil D., Azorín J., Vandecasteele F., Verstockt S. *A review of modelling and simulation methods for flashover prediction in confined space fires*. *Applied Sciences* (Switzerland), 2020; 10(1):1-18. DOI: 10.3390/app10165609
10. Zhang T., Wang Z., Wong H., Tam W., Huang X., Xiao F. Real-time forecast of compartment fire and flashover based on deep learning. *Fire Safety Journal*. 2022; 130:103579. DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.103579 URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=933297
11. Wang J., Tam W.C., Jia Y., Peacock R., Reneke P., Fu E.Y. et al. P-Flash a machine learning-based model for flashover prediction using recovered temperature data. *Fire Safety Journal*. 2021; 122:03341. DOI: 10.1016/j.firesaf.2021.103341
12. Launder B.E., Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1974; 3(2):269-289. DOI: 10.1016/0045-7825(74)90029-2
13. Hossain M.S., Rodi W.A. Turbulence model for buoyant flows and its application for vertical Buoyant jets. *Turbulent Buoyant Jets and Plums* (Rodi W. ed.). HMT Series, Oxford, England, 1982; 6:121-172.

14. Lockwood F.C., Shah N.G. A new radiation solution method for incorporation in general combustion prediction procedures. *Proceedings of the Symposium (International) on Combustion*. 1981; 18(1):1405-1414. DOI: 10.1016/S0082-0784(81)80144-0
15. Bressloff N.W., Moss J.B., Rubini P.A. Assessment of a differential total absorptivity solution to the radiative transfer equation as applied in the discrete transfer radiation model. *Numerical heat transfer, Part B. An International Journal of Computation and Methodology*. 1996; 29(3):381-397. DOI: 10.1080/10407799608914988
16. Truelove J.S. The two-flux model for radiative transfer with strongly anisotropic scattering. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1984; 27(3):464-466. DOI: 10.1016/0017-9310(84)90294-1
17. Bezborodov V.I. *Fire stability of the facade translucent structures of high-rise residential buildings : dissertation of Candidate of technical sciences*. Moscow, 2019; 161. (rus).
18. Zubkova E.V., Kaziyev M.M. Behavior in fire and fire protection of translucent building structures. *Bulletin of VNINMASH*. 2014; 1(16):54-55. (rus).
19. Dudunov A.V. *Fire resistance of translucent filling of window building structures : dissertation of Candidate of technical sciences*. Moscow, 2010; 128. (rus).
20. Zubkova E.V. Factors of destruction of glass sheets during fire. *Technologies of technosphere safety : online magazine*. 2015; 4(62). URL: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2015-4/2015-4.html> (rus).

Поступила 03.04.2024, после доработки 07.09.2024;

принята к публикации 23.09.2024

Received April 3, 2024; Received in revised form September 7, 2024;

Accepted September 23, 2024

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; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

ЛУЧКИН Сергей Алексеевич, научный сотрудник отдела огнестойкости строительных конструкций и инженерного оборудования, 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; ORCID: 0000-0003-2313-6309; e-mail: Luchkin.sergey@yandex.ru

ГОМОЗОВ Александр Васильевич, к.т.н., ведущий научный сотрудник отдела огнестойкости строительных конструкций и инженерного оборудования, 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; ORCID: 0000-0001-9660-9221; e-mail: Gomozovav@yandex.ru

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Sergey V. PUZACH, Dr. Sci. (Eng.), Professor, 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; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Sergey A. LUCHKIN, Researcher, Department of Fire Resistance of Building Structures and Engineering Equipment, 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; ORCID: 0000-0003-2313-6309; e-mail: Luchkin.sergey@yandex.ru

Alexander V. GOMOZOV, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Department of Fire Resistance of Building Structures and Engineering Equipment, 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; ORCID: 0000-0001-9660-9221; e-mail: Gomozovav@yandex.ru

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

The authors declare no conflicts of interests.