

Анализ влияния фактора огнестойкости строительных конструкций на обеспечение безопасности людей при пожаре

Андрей Владимирович Пехотиков¹, Роман Анатольевич Ивашук²,
Александр Васильевич Гомозов¹✉, Сергей Алексеевич Лучкин¹

¹ 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

² ООО «Железнодорожный проект», г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Для формирования современных нормативных требований по обеспечению огнестойкости строительных конструкций в условиях пожара, разработки научно-обоснованных решений по противопожарной защите зданий и сооружений в случае вынужденных отступлений от требований нормативных документов в части огнестойкости, обоснования возможности строительства зданий и сооружений с ненормируемыми пределами огнестойкости на основе современных конструктивных систем и т.д. необходима разработка методологических положений, позволяющих оценить влияние фактора огнестойкости строительных конструкций на безопасность людей при их эвакуации и спасении с учетом состава и функциональных характеристик иных систем противопожарной защиты.

Целью статьи является разработка общих методологических положений и математических соотношений, позволяющих оценить влияние пределов огнестойкости строительных конструкций как на возможность безопасной эвакуации из зданий, так и на возможность их безопасного спасения.

Методы. Используются аналитический и математический методы, позволяющие оценить совместное влияние динамики изменения опасных факторов пожара на путях эвакуации, в помещении с нахождением человека, ожидающего спасения пожарными подразделениями, а также на путях перемещения этого человека пожарными подразделениями, в сочетании с оценкой времени потери огнестойкости конструкций, которые определяют возможность безопасной эвакуации и спасения людей.

Результаты. Разработаны теоретические положения, позволяющие учесть влияние фактора огнестойкости строительных конструкций зданий на безопасность находящихся в здании людей при пожаре.

Выводы. На основе исследований проведена разработка общих методологических положений и математических соотношений, позволяющих определить количественные соотношения между степенью огнестойкости здания, пределами огнестойкости его строительных конструкций, временем прибытия пожарных подразделений, типом системы оповещения и управления эвакуации и возможностью безопасной эвакуации и безопасного спасения находящихся в этом здании людей.

Ключевые слова: пожарная безопасность; предел огнестойкости; удельное сопротивление дымопроницанию; эквивалентная продолжительность пожара; эвакуация; спасение людей при пожаре; предельные значения опасных факторов пожара

Для цитирования: Пехотиков А.В., Ивашук Р.А., Гомозов А.В., Лучкин С.А. Анализ влияния фактора огнестойкости строительных конструкций на обеспечение безопасности людей при пожаре // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 3. С. 84–95. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.84-95

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

Analyzing the influence of the fire resistance of building structures on human safety in case of a fire

Andrey V. Pekhotikov¹, Roman A. Ivashchuk², Alexander V. Gomozov¹✉,
Sergey Alekseevich Luchkin¹

¹ 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

² Zheldorproekt LLC, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Methodological provisions must be developed to evaluate the impact of the fire resistance factor of building structures on human safety during evacuation and rescue with account taken of the composition and

functional characteristics of other fire safety systems to formulate modern regulatory requirements for the fire resistance of building structures under fire conditions, develop science-based solutions for the fire safety of buildings and structures in case of forced deviations from the fire resistance requirements set in regulatory documents, and justify the construction of buildings and structures, based on modern structural systems, having non-standard fire resistance limits, etc.

The purpose of the article is to develop general methodological provisions and mathematical relationships that allow evaluating the impact of the fire resistance limits of building structures both on safe evacuation and safe rescue from buildings.

Methods. Analytical and mathematical methods are used to evaluate the combined effect of changes in the fire hazard arising along the evacuation routes, in a room with a person waiting to be rescued by fire departments, as well as along the routes taken by fire departments carrying this person out, in combination with the evaluated time span needed for the structure to lose its fire resistance. The value of this time span is used to identify the time available for the safe evacuation and rescue of people.

Results. Theoretical provisions have been developed to take into account the influence of the fire resistance factor of building constructions on the safety of people in a building in case of a fire.

Conclusions. The research findings were contributed to the general methodological provisions and mathematical relationships needed to determine the quantitative relationships between the extent of fire resistance of a building, fire resistance limits of building structures, the time of arrival of fire departments, types of fire alarm and evacuation control systems, and the possibility of safe evacuation and rescue of people from a building.

Keywords: fire safety; fire resistance limit; specific resistance to smoke penetration; equivalent fire duration; evacuation; rescue of people in case of a fire; limit values of fire hazards

For citation: Pekhotikov A.V., Ivashchuk R.A., Gomofov A.V., Luchkin S.A. Analyzing the influence of the fire resistance of building structures on human safety in case of a fire. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(3):84-95. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.84-95 (rus).

✉ Alexander Vasilievich Gomofov, e-mail: Gomofovav@yandex.ru

Введение

Безопасность людей в условиях пожара обеспечивается возможностью их эвакуации и спасения. Положениями ст. 53 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее — № 123-ФЗ) [1] предусматривается, что каждое здание или сооружение должно иметь объемно-планировочное решение и конструктивное исполнение эвакуационных путей, обеспечивающие безопасную эвакуацию людей при пожаре. При этом требование о необходимости учета конструктивного исполнения эвакуационных путей предполагает, что при оценке безопасности эвакуации необходимо учитывать фактор поведения конструкций при пожаре, т.е. их огнестойкость (сопутствующее проявление опасных факторов пожара).

Эффективность систем противопожарной защиты по обеспечению безопасной эвакуации людей в настоящее время оценивается на основе расчетов пожарного риска, выполняемых по Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности [2]. При этом данная методика не учитывает влияние фактора огнестойкости строительных конструкций на безопасность эвакуации людей, который играет существенную роль в зданиях IV и V степеней огнестойкости, тентовых сооружениях, навесах, сооружениях без систем оповещения при пожаре и т.д.

В ряде случаев безопасность людей в условиях пожара обеспечивается на основе их спасения [3], а также на основе комплекса действий по эвакуации

и спасению (например, самостоятельное движение людей в безопасную зону, которое является эвакуацией, а их дальнейшее перемещение наружу пожарными подразделениями — спасением). С учетом этого в ст. 80 № 123-ФЗ указывается, что конструктивные, объемно-планировочные и инженерно-технические решения зданий и сооружений должны обеспечивать в случае пожара возможность не только эвакуации людей в безопасную зону до нанесения вреда их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара (ОФП), но и проведения мероприятий по спасению людей [1].

Следует учитывать, что спасение людей должно быть обеспечено для немобильных групп населения [3] в жилых зданиях и больницах, детей в родильных домах и дошкольных образовательных организациях, жильцов многоквартирных жилых зданий, не оборудованных системами оповещения о пожаре (СОУЭ), а также при отказах этих систем в любых зданиях.

С учетом вышесказанного целью настоящей статьи является разработка научных положений, позволяющих оценить влияние фактора огнестойкости строительных конструкций как на возможность безопасной эвакуации людей из зданий, так и на возможность их безопасного спасения.

Для достижения указанной цели в рамках статьи предусмотрена разработка общих методологических положений и математических соотношений, позволяющих оценить влияние пределов огнестойкости строительных конструкций на безопасность людей в случае их эвакуации и спасения при пожаре в соче-

тании с анализом временных интервалов развития опасных факторов пожара, эвакуации людей, перемещения пожарных подразделений к спасаемому человеку и его спасению.

Кроме того, для оценки эффективности практического применения разработанных методологических положений в статье предусмотрен анализ влияния фактора огнестойкости строительных конструкций на безопасность людей в жилых зданиях IV и V степеней огнестойкости.

Общие методологические положения

Для оценки влияния фактора огнестойкости строительных конструкций на безопасность людей при пожаре необходимо учитывать как необходимость обеспечения безопасности людей при эвакуации, так и необходимость обеспечения безопасности людей при спасении. Безопасность людей при эвакуации считается обеспеченной при выполнении следующих основных условий:

- опасные факторы пожара на всем пути эвакуации людей до выхода наружу или в безопасную зону не превышают предельно допустимых значений, а интервал времени от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации людей при пожаре;
- в течение всего времени эвакуации не происходит потеря огнестойкости (т.е. достижения предельных состояний по огнестойкости) тех конструкций, которые влияют на безопасность эвакуации людей.

Перечисленные выше положения применительно к безопасности людей при эвакуации описываются соотношениями:

$$0,8 t_6 \geq t_{н.з} + t_p, \quad (1)$$

где t_6 — время блокирования путей эвакуации, определяемое на основе математических моделей распространения пожара между помещениями внутри здания с использованием соответствующих программных средств согласно [2, 4–9] путем расчета минимального критического времени от начала пожара до момента достижения в помещении или на путях эвакуации ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения [2, 10–12], а также времени достижения предельных состояний по огнестойкости строительных конструкций при свободном развитии пожара $t_{огн}$ (время потери огнестойкости):

$$t_{6,кор} = \min\{t_{кр}^{п.в}, t_{кр}^T, t_{кр}^{т.г}, t_{кр}^{O_2}, t_{кр}^{т.п}, t_{огн}\}, \quad (2)$$

$t_{н.з}$ и t_p — время начала эвакуации и расчетное время эвакуации, определяемые согласно [2].

Безопасность людей при спасении считается обеспеченной при выполнении следующих основных условий:

- опасные факторы пожара в помещении с людьми, ожидающими спасения пожарными подразделениями, не превышают предельно допустимых значений до момента начала спасения (в том числе с учетом средств защиты, находящихся на объекте и используемых этими людьми), а также не происходит потеря огнестойкости тех конструкций, которые влияют на безопасность людей в этой зоне;
- опасные факторы пожара в зоне перемещения людей, спасаемых пожарными подразделениями, не превышают предельно допустимых значений до момента окончания их перемещения наружу (в том числе с учетом средств защиты, используемых этими людьми или переданных им пожарными), а также не происходит потеря огнестойкости тех конструкций, которые влияют на безопасность перемещения людей наружу.

Перечисленные выше положения применительно к безопасности спасаемых людей описываются соотношениями:

$$0,8 t_{6,пом} \geq T_{н.сп}, \quad (3)$$

$$0,8 t_{6,пер} \geq T_{о.сп}, \quad (4)$$

где $t_{6,пом}$, $t_{6,пер}$ — время блокирования помещения, в котором расположен спасаемый человек, и путей его перемещения при спасении;
 $T_{н.сп}$ — время начала спасения, соответствующее интервалу времени от начала пожара до момента прибытия к спасаемому человеку подразделений пожарной охраны;
 $T_{о.сп}$ — время окончания спасения человека из здания, осуществляемого подразделениями пожарной охраны, соответствующее интервалу времени от начала пожара до момента перемещения спасаемого на безопасное расстояние от горящего здания.

Время блокирования помещения $t_{6,пом}$ и путей перемещения $t_{6,пер}$ определяется на основе математических моделей распространения пожара внутри и снаружи здания, в том числе через щели закрытых дверей помещений, в которых находится человек, согласно [13–17] путем расчета минимального критического времени от начала пожара до момента достижения в помещении или на путях перемещения ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения, а также времени достижения предельных состояний по огнестойкости строительных

конструкций при свободном развитии пожара $t_{огн}$ (время потери огнестойкости):

$$t_{б.пом/пер} = \min\{t_{кр}^{п.в}, t_{кр}^T, t_{кр}^{т.г}, t_{кр}^{O_2}, t_{кр}^{т.п}, t_{огн}\}. \quad (5)$$

В случае, если перемещение спасаемого человека осуществляется по путям эвакуации, а дополнительная защита человека от ОФП не предусмотрена, то $t_{б.пер} = t_{бл}$.

Время начала спасения определяется по формуле:

$$T_{н.сп} = t_c + t_{пр} + t_{пер}, \quad (6)$$

где t_c — время от момента начала пожара до сообщения о нем в подразделение пожарной охраны;

$t_{пр}$ — время от момента сообщения о пожаре до момента прибытия подразделения пожарной охраны к зданию, определяемое в соответствии с положениями ч. 1 ст. 76 [1];

$t_{пер}$ — время от момента прибытия подразделения пожарной охраны к зданию до момента окончания перемещения к спасаемому человеку.

Время окончания спасения определяется по формуле:

$$T_{о.сп} = T_{н.сп} + t_{спл} + t_{пер}^*, \quad (7)$$

где $t_{спл}$ — время подготовки к спасению;

$t_{пер}^*$ — время перемещения спасаемого наружу, на безопасное расстояние от горящего здания.

Для обеспечения безопасности спасаемого человека должна быть обеспечена безопасность пожарных подразделений, осуществляющих действия по спасению людей, т.е. выполнены следующие основные условия:

- опасные факторы пожара на всех путях перемещения пожарных подразделений не превышают предельно допустимых для пожарных значений, в том числе с учетом использования ими средств защиты от ОФП;
- на путях перемещения пожарных подразделений (к спасаемому человеку и при его перемещении наружу) не происходит потеря огнестойкости тех конструкций, которые влияют на безопасность этого перемещения. При этом необходимо учитывать, что маршруты перемещения пожарных к спасаемому человеку и перемещения с ним наружу могут не совпадать.

Перечисленные выше положения применительно к безопасности пожарных подразделений описываются соотношением:

$$0,8t_{б.пер}^{пож} \geq T_{о.сп}. \quad (8)$$

Значение времени блокирования путей перемещения пожарных подразделений $t_{б.пер}^{пож}$ определяется аналогично $t_{б.пер}$ на основе определения мини-

мального времени от начала пожара до момента наступления на путях их перемещения предельных для пожарных подразделений значений ОФП, а также времени достижения предельных состояний по огнестойкости строительных конструкций при свободном развитии пожара $t_{огн}$ для всех участков перемещения пожарных (сначала к спасаемому человеку и далее — до перемещения его наружу в момент $T_{о.сп}$):

$$t_{б.пер}^{пож} = \min\{t_{пож}^{п.в}, t_{пож}^T, t_{пож}^{т.г}, t_{пож}^{O_2}, t_{пож}^{т.п}, t_{огн}\}, \quad (9)$$

где $t_{пож}^{п.в}$, $t_{пож}^T$, $t_{пож}^{т.г}$, $t_{пож}^{O_2}$, $t_{пож}^{т.п}$ — время достижения предельно-допустимого значения по каждому из опасных факторов пожара (потере видимости, температуре, концентрации токсичных продуктов горения, концентрации кислорода, тепловому потоку) для пожарных, определяемое на основе предельно допустимых значений ОФП для пожарных. При этом принимается, что использование пожарными защитной одежды и средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения позволяет не учитывать воздействие на них токсичных продуктов горения и пониженной концентрации кислорода, однако температура в зоне действий пожарных не должна быть выше 90 °С.

Время достижения предельных состояний по огнестойкости строительных конструкций при свободном развитии пожара $t_{огн}$ (время от начала пожара до момента потери огнестойкости) определяется на основе расчета теплового воздействия пожара на строительные конструкции с учетом нагрузок, приложенных к этим конструкциям, или на основе данных об эквивалентной продолжительности пожара, изложенных в [18–20].

При этом в обязательном порядке определяется время от начала пожара до момента потери огнестойкости несущих элементов здания, а также конструкций, отделяющих горящее помещение от путей эвакуации (коридоров, лестничных клеток и т.д.), конструкций, отделяющих помещение с очагом пожара от помещения, в котором находится спасаемый человек, а также конструкций, отделяющих горящее помещение от путей перемещения пожарных от горящего помещения.

Анализ влияния фактора огнестойкости строительных конструкций на безопасность людей в жилом здании IV степени огнестойкости

В качестве примера практического применения разработанных методологических положений проанализирован пожар в двухэтажном секционном жилом здании, схема этажа которого показана

на рис. 1. Здание имеет IV степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности С0 и защищено системой пожарной сигнализации (СПС) и СОУЭ. Очаг пожара находится на 2-м этаже в помещении 1 площадью 16 м^2 с проемностью $\Pi = 0,15 \text{ м}^{0,5}$. Анализируется возможность безопасной эвакуации и спасения людей (в том числе неомобильного человека) из квартиры 3.

При пожаре жильцы в квартире 1 эвакуировались через коридор 2 в лестничную клетку за время не более $t_{31} = t_{p1} + t_{н.э1} \leq 1,5 \text{ мин}$.

Если квартирная дверь не является противопожарной, то она должна приниматься открытой и коридор будет заполняться продуктами горения. Далее продукты горения будут распространяться в квартиру 3 через щели закрытой квартирной двери. Для расчета динамики распространения пожара между помещениями через открытые проемы использованы положения [2], а для расчета распространения пожара через дверные щели закрытой двери квартиры 3 — положения [13–15]. При этом величина удельного сопротивления дымопроницанию принималась равной $S = 5500 \text{ м}^3/\text{кг}$ согласно [21].

Проведенные расчеты показывают, что уже через 200 с от начала пожара в коридоре (помещение 2) граница задымленной зоны достигает уровня 1,7 м относительно пола (рис. 2), при этом значения оптической плотности дыма и концентрация HCL в задымленной зоне уже существенно превышают предельно допустимые значения (рис. 4, 6).

Для расчета времени блокирования коридора 2 проведем оценку времени достижения предельного состояния по огнестойкости $t_{огн}$ для несущих элементов здания (перекрытие помещения 1), а также для всех строительных конструкций, которые отделяют помещение очага пожара от путей эвакуации — межквартирной стены, которая отделяет помещение с очагом пожара от квартиры, в которой исходно расположен эвакуирующийся, стены между горящей квартирой и коридором, а также для внутренней стены лестничной клетки. Согласно требованиям [22, 23] данные конструкции имеют предел огнестойкости REI 30, REI 15 и REI 45 соответственно. Используя представленные в [20] графические зависимости между эквивалентной продолжительностью пожара и реальной продолжительностью пожара для перекрытий и стен, получим, что при проемности $\Pi = 0,15 \text{ м}^{0,5}$ продолжительность пожара, которая сопровождается потерей огнестойкости перекрытия, равна 29 мин, продолжительность пожара, которая сопровождается потерей огнестойкости межквартирной стены, а также стены между квартирой и коридором, равна 14 мин, а продолжительность пожара, которая сопровождается потерей огнестойкости стены лестничной клетки,

равна 25 мин. С учетом этого принимается $t_{огн} = 14 \text{ мин} = 840 \text{ с}$, а время блокирования коридора будет равно:

$$t_6 = \min\{t_{кр}^{п.в}, t_{кр}^T, t_{кр}^{т.г}, t_{кр}^{O_2}, t_{кр}^{т.п}, t_{огн}\} = 200 \text{ с}.$$

Для соседней квартиры 3 расчетное время эвакуации до лестничной клетки $t_{p3} = 0,5 \text{ мин}$, до выхода наружу через лестничную клетку $t_{p3}^* = 1 \text{ мин} = 70 \text{ с}$. Поэтому время эвакуации из соседней квартиры по коридору до лестничной клетки при системе оповещения и управления эвакуацией IV типа, т.е. при времени начала эвакуации, равном 4 мин, будет составлять:

$$t_{н.э} + t_{p3} = 4 + 0,5 = 4,5 \text{ мин} = 270 \text{ с}.$$

Поскольку $0,8t_6 = 0,8 \cdot 200 = 160 \text{ с}$, то условие $t_{6л} \geq t_p + t_{н.э}$ не выполняется и возможность безопасной эвакуации из квартиры 3 не обеспечена.

Для оценки возможности безопасного спасения человека, который не смог эвакуироваться из квартиры 3, или человека, относящегося к неомобильной группе населения (НМ) и находящегося в квартире 3, проверим выполнение соотношения (3) и (4). Как видно из рис. 2–6, в помещении 3, где находится спасаемый человек, в момент времени 1100 с от начала пожара, когда граница задымленной зоны достигает уровня 1,7 м относительно пола, значения концентрации HCL, температуры и оптической плотности дыма в этой зоне превышают допустимые значения (концентрации СО и СО₂ достигают предельных значений позднее), а концентрация О₂ также имеет недопустимые значения.

Для межквартирной перегородки $t_{огн} = 14 \text{ мин} = 840 \text{ с}$, с учетом чего время блокирования помещения 3 будет равно:

$$t_{б.пом} = \min\{1100, 840\} = 840 \text{ с}.$$

С учетом защиты здания СПС принимаем время от момента начала пожара до сообщения о нем в подразделение пожарной охраны $t_c = 1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$. Для здания, расположенного в пределах городского поселения, согласно ч. 1 ст. 76 [1], время прибытия составляет $t_{пр} = 10 \text{ мин} = 600 \text{ с}$. К данному времени температура в коридоре 2, как видно на рис. 3, будет составлять более 150°C , с учетом чего пожарные подразделения не смогут проникнуть в квартиру 3 через коридор и вынуждены будут перемещаться к находящемуся в этой квартире человеку через окно по раздвижной пожарной лестнице. Принимая алогично [15] время перемещения $t_{пер} = 4 \text{ мин}$, получим время начала спасения:

$$T_{н.сп} = t_c + t_{пр} + t_{пер} = 1 + 10 + 4 = 15 \text{ мин} = 900 \text{ с}.$$

Так как $0,8t_{б.пом} = 672$, то соотношение (3), т.е. $0,8t_{б.пом} \geq T_{н.сп}$ не выполняется, и условия безопасного спасения не обеспечены.

Таким образом, при анализируемых конструктивных решениях (соответствующих нормативным требованиям) условия безопасной эвакуации и спасения людей не выполняются даже при применении СОУЭ 4 типа.

В случае, если квартирные двери являются противопожарными EI 15, то в расчетах дверь квартиры 1 принимается полностью открытой до момента окончания эвакуации из этой квартиры $t_{з1} \leq 1,5 \text{ мин} = 90 \text{ с}$, а далее — закрытой посредством устройства для самозакрывания, которым укомплектована противопожарная дверь. При этом коридор будет заполняться продуктами горения, изменение концентрации которых также показано на рис. 2–6. Анализ расчетов показывает, что через 90 с от начала пожара, т.е. к моменту закрытия противопожарной двери, в коридоре (помещение 2) опасные факторы пожара не превышают предельно допустимые значения. При этом их дальнейшее возрастание возможно только после потери огнестойкости перегородки, отделяющей коридор от квартиры 1 и смонтированной в ней противопожарной двери.

Таким образом, при наличии противопожарных дверей опасные факторы пожара в коридоре не превышают предельно допустимые значения и блокирование коридора будет определяться огнестойкостью перегородки, отделяющей его от горячей квартиры, т.е. $t_6 = t_{огн} = 14 \text{ мин} = 840 \text{ с}$ и условие безопасной эвакуации выполняются даже при системе оповещения и управления эвакуацией I типа (время начала эвакуации равно 9 мин), поскольку при расчетном времени эвакуации из квартиры 3 до лестничной клетки $t_{р3} = 0,5 \text{ мин}$:

$$t_{н.э} + t_{р3} = 9 + 0,5 = 9,5 \text{ мин} = 570 \text{ с},$$

$$0,8t_{б.кор} = 0,8 \cdot 840 = 672 \text{ с}.$$

При этом условие (1), т.е. $0,8t_6 \geq t_p + t_{н.э}$ выполняется и безопасность эвакуации обеспечена.

Для оценки возможности безопасного спасения человека, относящегося к немобильной группе населения (НМ) и находящегося в квартире 3, проверим выполнение соотношения (3) и (4).

Если двери квартир противопожарные, то не только коридор 2, но и помещение 3, где находится спасаемый человек, не блокируется опасными факторами пожара.

С учетом этого, время блокирования данного помещения будет определяться огнестойкостью межквартирной перегородки, с учетом чего $t_{б.пом} = t_{огн} = 840 \text{ с}$.

Поскольку коридор не заблокирован опасными факторами пожара, то пожарные подразделения могут достигнуть находящегося в квартире 3 немобильного человека путем подъема по лестничной клетке и дальнейшего перемещения по коридору.

Достаточно корректно можно принять, что время от момента прибытия подразделения пожарной охраны к зданию до момента окончания перемещения к спасаемому человеку будет равно $t_{пер} = 3,5 \text{ мин}$ (в это время входит проведение разведки и непосредственное перемещение к спасаемому).

Таким образом, время начала спасения будет равно:

$$T_{н.сп} = t_c + t_{пр} + t_{пер} = 1 + 10 + 3,5 = 14,5 \text{ мин} = 810 \text{ с}.$$

Поскольку $0,8t_{б.пом} = 0,8 \cdot 840 = 672$, то соотношение (3), т.е. $0,8t_{б.пом} \geq T_{н.сп}$ не выполняется.

Таким образом, при применении противопожарных дверей квартир EI 15 выполняются только условия безопасной эвакуации, а условия безопасного спасения людей не выполняются.

Оценим возможность безопасного спасения людей для случая, когда межквартирная стена и стена, отделяющая коридор от квартиры 1, имеют предел огнестойкости REI 30, а проем в этой стене заполнен противопожарной дверью EI 30 (данные конструктивные решения могут быть реализованы, поскольку предусмотренный [22] предел огнестойкости несущих элементов составляет R 30).

Согласно [20], при проемности $\Pi = 0,15 \text{ м}^{0,5}$ продолжительность пожара, которая сопровождается потерей огнестойкости данных стен, равна 28 мин, с учетом чего $t_{огн} = 28 \text{ мин} = 1680 \text{ с}$.

Если двери квартир противопожарные, то коридор 2 и помещение 3, где находится спасаемый человек, не блокируется опасными факторами пожара.

С учетом этого время блокирования коридора и данного помещения будет определяться величиной $t_{огн}$, т.е. $t_{б.пом} = t_{б.пер} = t_{б.пж} = t_{огн} = 1680 \text{ с}$.

Поскольку коридор не заблокирован опасными факторами пожара, то пожарные подразделения могут достигнуть находящегося в квартире 3 немобильного человека путем подъема по лестничной клетке и дальнейшего перемещения по коридору в эту квартиру. Как было показано выше, в этом случае время начала спасения будет равно $T_{н.сп} = 810 \text{ с}$.

Поскольку $0,8t_{б.пом} = 0,8 \cdot 1680 = 1344$, то соотношение (3), т.е. условие $0,8t_{б.пом} \geq T_{н.сп}$ выполняется.

Для оценки выполнения условий (4) и (8) на основе данных [24] принимаем период подготовки человека к спасению (продолжительность переключения на носилки и др.) $t_{сн1} = 0,5 \text{ мин} = 30 \text{ с}$, а время перемещения спасаемого наружу, на безопасное рас-

стояние от горящего здания $t_{\text{пер}}^* = 3,5 \text{ мин} = 210 \text{ с}$. Тогда время окончания спасения будет равно:

$$T_{\text{о.сп}} = T_{\text{н.сп}} + t_{\text{сп}} + t_{\text{пер}}^* = 810 + 30 + 210 = 1050 \text{ с}.$$

Поскольку $0,8t_{\text{б.пер}} = 0,8t_{\text{б.пер}}^{\text{пож}} = 0,8 \cdot 1680 = 1344$, то соотношения (4) и (8), т.е. условия $0,8t_{\text{б.пер}} \geq T_{\text{о.сп}}$ и $0,8t_{\text{б.пер}}^{\text{пож}} \geq T_{\text{о.сп}}$ выполняются.

Таким образом, если межквартирная стена и стена, отделяющая коридор от квартиры I, имеют предел огнестойкости REI 30, а проем в этой стене заполнен противопожарной дверью EI 30, выполняются условия безопасной эвакуации, а также условия безопасного спасения людей в случае, когда здание расположено в пределах городского поселения.

Если здание расположено в пределах сельского поселения, то время прибытия принимается равным $t_{\text{пр}} = 20 \text{ мин} = 1200 \text{ с}$ согласно ч. 1 ст. 76 [1], а время начала спасения будет равно:

$$T_{\text{н.сп}} = t_{\text{с}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{пер}} = 1 + 20 + 3,5 = 24,5 \text{ мин} = 1470 \text{ с}.$$

Поскольку $0,8t_{\text{б.пом}} = 0,8 \cdot 1680 = 1344$, то соотношение (3), т.е. условие $0,8t_{\text{б.пом}} \geq T_{\text{н.сп}}$ не выполняется и возможность безопасного спасения для здания, расположенного в пределах сельского поселения, не обеспечивается.

Таким образом, анализ влияния фактора огнестойкости строительных конструкций на безопасность людей в жилом здании IV степени огнестойкости показал, что предусмотренные нормами конструктивные решения путей эвакуации позволяют обеспечить безопасность эвакуации только в случае, если двери квартир будут иметь предел огнестойкости EI 15, однако при этом не будет обеспечена безопасность спасения. Предусмотренный нормами предел огнестойкости несущих элементов R 30 позволяет обеспечить возможность безопасного спасения при условии, что межквартирная стена и стена, отделяющая коридор от квартиры I, имеют предел огнестойкости REI 30, а проем в этой стене заполнен противопожарной дверью EI 30, а также обеспечить время прибытия пожарных подразделений не более 10 минут (для зданий, расположенных в пределах городского поселения). Однако данного предела огнестойкости несущих элементов недостаточно для безопасного спасения при времени прибытия пожарных подразделений до 20 минут (для зданий, расположенных в пределах сельских поселений).

Анализ влияния фактора огнестойкости на безопасность людей в жилом здании V степени огнестойкости

В зданиях V степени огнестойкости требования к пределам огнестойкости строительных конструк-

ций не предъявляются. Вместе с тем для практических целей необходимо оценить минимально необходимые пределы огнестойкости строительных конструкций, при которых будет обеспечен необходимый уровень безопасности людей.

Проведенные выше обоснования применительно к анализируемому зданию (рис. 1) показывают, что для обеспечения возможности безопасного спасения людей необходимо, чтобы здание имело не ниже IV степени огнестойкости и располагалось в пределах городского поселения, а для зданий V степени огнестойкости корректно анализировать только возможность безопасной эвакуации.

Соотношение (1) может быть выполнено только при условии, что двери квартир будут противопожарными. С учетом этого, из (1) и (2) следует, что:

$$t_{\text{огн}} \geq 1,25(t_{\text{н.э}} + t_{\text{р}}). \quad (10)$$

При расчетном времени эвакуации из квартиры 3 наружу $t_{\text{рз}}^* = 1,2 \text{ мин} = 72 \text{ с}$, а также при системе оповещения и управления эвакуацией I типа (т.е. при времени начала эвакуации $t_{\text{н.э}} = 6 \text{ мин}$):

$$t_{\text{огн}} \geq 1,25(6 + 1,2) = 9 \text{ мин}.$$

Согласно [20], при проемности $\Pi = 0,20 \text{ м}^{0,5}$ данное значение времени достижения предельного состояния по огнестойкости будет обеспечено при пределе огнестойкости перекрытия (несущий элемент) REI 11, внутренних стен лестничной клетки, межквартирной стены и стены, отделяющей коридор от квартир REI 10 (при заполнении проема в данной стене противопожарной дверью EI 15 предел огнестойкости системы «стена — противопожарная дверь» принимается равным минимальному пределу огнестойкости, т.е. REI 10).

Полученные значения требуемых пределов огнестойкости исключают возможность применения в анализируемом здании в качестве несущих строительных конструкций незащищенных алюминиевых конструкций.

Таким образом, анализ влияния фактора огнестойкости строительных конструкций на безопасность людей в жилом здании V степени огнестойкости показал, что для обеспечения возможности безопасной эвакуации людей при пожаре необходимо, чтобы требуемый предел огнестойкости несущих элементов (включая перекрытие) был не менее R 11/REI 11, а требуемый предел огнестойкости внутренних стен лестничной клетки, межквартирной стены и стены, отделяющей коридор от квартир — не менее REI 10 (при заполнении проема в данной стене противопожарной дверью).

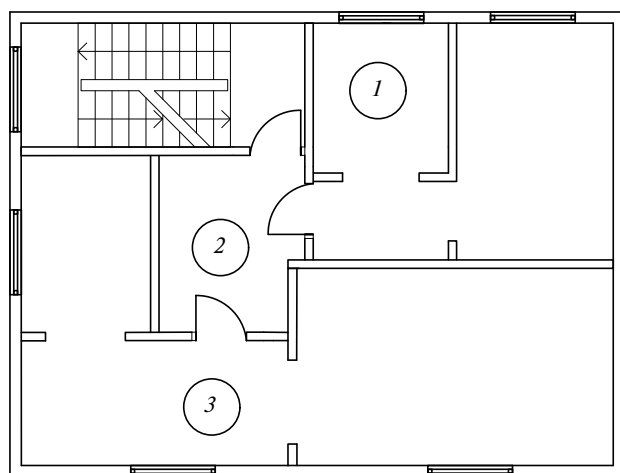


Рис. 1. Схема расположения помещений на этаже, на котором возник пожар

Fig. 1. Layout of the premises on the floor where the fire has broken out

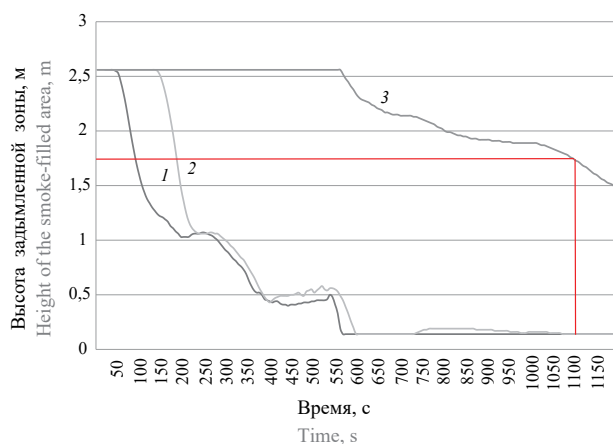


Рис. 2. Высота задымленной зоны в помещениях 1–3

Fig. 2. Height of the smoke-filled area in rooms 1–3

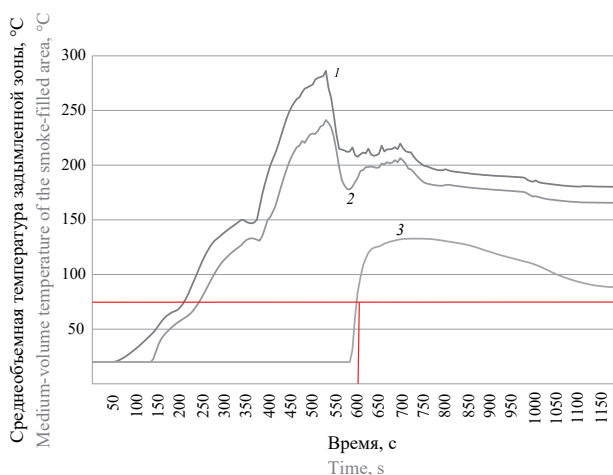


Рис. 3. Температура задымленной зоны в помещениях 1–3

Fig. 3. Temperature in the smoke-filled area of rooms 1–3

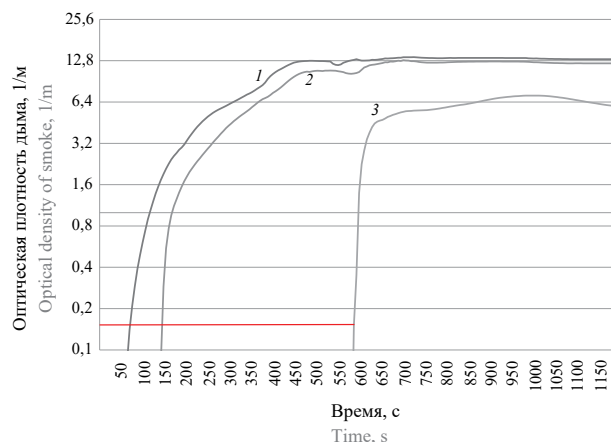


Рис. 4. Оптическая плотность дыма в задымленной зоне в помещениях 1–3

Fig. 4. Optical density of smoke in the smoke-filled area of rooms 1–3

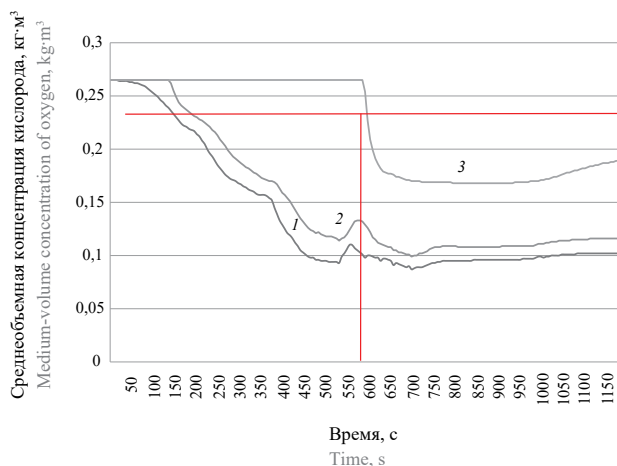


Рис. 5. Концентрация кислорода в задымленной зоне в помещениях 1–3

Fig. 5. Oxygen concentration in the smoke-filled area of rooms 1–3

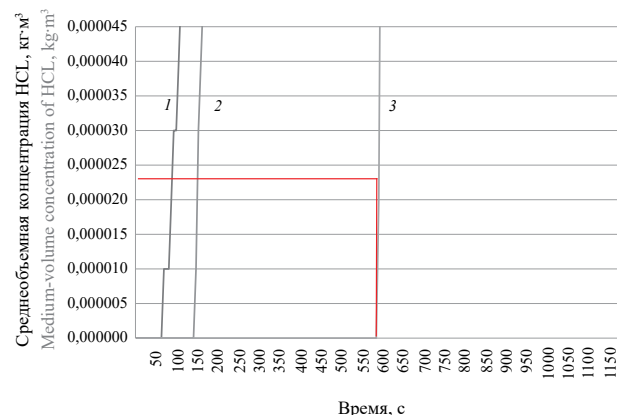


Рис. 6. Концентрация HCL в задымленной зоне в помещениях 1–3

Fig. 6. HCL concentration in the smoke-filled area of rooms 1–3

Выводы

Разработанные и представленные в статье общие методологические положения и математические соотношения позволяют оценить влияние фактора огнестойкости строительных конструкций на безопасность людей при эвакуации и спасении. Они базируются на расчетах временных интервалов развития опасных факторов пожара, эвакуации людей, перемещения пожарных подразделений к спасаемому человеку и его спасению, а также учитывают фактор потери огнестойкости строительных конструкций здания.

Сформулированные математические соотношения описывают условия, при которых будет обеспечена безопасность людей при эвакуации, безопасность спасаемых людей и безопасность пожарных подразделений с учетом пределов огнестойкости конструкций, которые отделяют пути эвакуации людей от горящих помещений, а также пути перемещения спасаемых людей и пожарных подразделений от горящих помещений.

Данные условия предполагают, что опасные факторы пожара на путях эвакуации, в помещении с нахождением человека, ожидающего спасения пожарными подразделениями, а также на путях перемещения этого человека пожарными подразделениями не превышают предельно допустимых значений до момента окончания эвакуации и/или спасения, а также не происходит потеря огнестойкости конструкций, которые влияют на безопасность людей. Поскольку перемещение пожарных к спаса-

емому может осуществляться по самостоятельному маршруту, то для них описаны отдельные дополнительные соотношения по безопасности.

Положения статьи позволяют оценить связь между степенью огнестойкости здания, пределами огнестойкости его строительных конструкций, временем прибытия пожарных подразделений, типом системы оповещения и управления эвакуации и возможностью безопасной эвакуации и безопасного спасения находящихся в этом здании людей.

С целью дальнейшего интегрирования разработанных методологических положений в Методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности использованы положения этой Методики в части прогноза распространения пожара между помещениями и в части предельно допустимых значений опасных факторов пожара для спасаемых людей.

Для иллюстрации возможности практического применения разработанных методологических положений проанализировано влияние фактора огнестойкости на безопасность людей в зданиях IV и V степеней огнестойкости.

Разработанные методологические положения позволяют дать количественные оценки влияния конструктивного исполнения эвакуационных путей и здания в целом в части огнестойкости строительных конструкций на возможность безопасной эвакуации людей, предусмотренную положениями ст. 50 и 53 № 123-ФЗ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. Федерального закона от 30.04.2021 № 117-ФЗ). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности. 2-е изд., испр. и доп. М. : ВНИИПО, 2016. 79 с.
3. СП 1.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. URL: <https://www.standards.ru/document/6528504.aspx>
4. Бедрина Е.А., Рекин А.С., Храпский С.Ф., Бокарев А.И., Денисова Е.С. Прогнозирование динамики тепломассообменных 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
5. Дроздов Д.С., Дроздова Т.И. Графическое моделирование для оценки опасных факторов пожара // Техногенная 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.
6. 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.
7. Nuclear Safety NEA/CSNI/R (2017) 14. Investigating heat and smoke propagation mechanisms in multi-compartment fire scenarios final report of the PRISME project. January 2018. URL: www.oecd-nea.org
8. McGrattan K., Miles S. Modeling fires using Computational Fluid Dynamics (CFD) // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Chapter 32. 5th ed. Society of Fire Protection Engineers, 2016. Pp. 1034–1065. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0

9. McGrattan K., McDermott R., Hostikka S., Floyd J. Fire dynamics simulator user's guide. National Institute of Standards and Technology, 2019. 288 p.
10. Leventon I., Bonny J. Influence of dispositional and situational factors on human perceptions of fire risk. London: Interflam, 2019.
11. Gwynne S., Kuligowski E., Kinsey M., Hulse L. Modelling and influencing human behaviour in fire // Fire and Materials. 2017. Vol. 41. Issue 5. Pp. 412–430. DOI: 10.1002/fam.2391 URL: <https://www.nist.gov/publications/modelling-and-influencing-human-behaviour-fire> (Accessed February 15, 2022).
12. ISO 13571:2012. Life-threatening components of fire — Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires.
13. Матюшин А.В., Гомозов А.В., Иващук Р.А. Моделирование динамики опасных факторов пожара в помещениях с людьми, нуждающимися в спасении, с учетом наличия неплотностей в притворах дверей // Пожарная безопасность. 2013. № 4. С. 63–68. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20929304>
14. Матюшин А.В., Гомозов А.В., Иващук Р.А. Методика расчета динамики опасных факторов пожара в помещениях при наличии неплотностей в притворах дверей (щелей) // Пожарная безопасность. 2015. № 4. С. 92–100. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25064046>
15. Пехотилов А.В., Гомозов А.В., Усолкин С.В., Иващук Р.А. Оценка возможности спасения людей при пожаре в жилом здании // Пожарная безопасность. 2021. № 3. С. 86–96. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2021.30.18.010
16. Saarinen P.E., Kalliomäki P., Tang J.W., Koskela H. Large eddy simulation of air escape through a hospital isolation room single hinged doorway — validation by using tracer gases and simulated smoke videos // PLOS ONE. 2015. Vol. 10. Issue 7. P. e0130667. DOI: 10.1371/journal.pone.0130667
17. Martin D., McLaughlin B.P. E. Influence of gap sizes around swinging doors with builders hardware on fire and smoke development. Arup North America Ltd. San Francisco, CA, USA. March, 2018. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/RFInfluenceGapSizeAroundSwingingDoors.pdf>
18. Zhang C., Asif U. Heat transfer principles in thermal calculation of structures in fire // Fire Safety Journal. 2015. URL: <https://www.nist.gov/publications/heat-transfer-principles-thermal-calculation-structures-fire>
19. Шебеко Ю.Н., Шебеко А.Ю., Гордиенко Д.М. Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для строительных конструкций на основе моделирования пожара в помещении // Пожарная безопасность. 2015. № 1. С. 31–39. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23092671>
20. Методы расчета температурного режима пожара в помещениях зданий различного назначения : рекомендации. М. : ВНИИПО. 1988. 56 с.
21. Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий : методические рекомендации к СП 7.13130.2013. М. : ВНИИПО, 2013. 58 с.
22. СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. URL: <https://www.standards.ru/document/6528503.aspx>
23. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям (Изменение № 1). URL: <https://www.standards.ru/document/5315802.aspx>
24. Холщевников В.В., Самошин Д.А., Парфененко А.П., Кудрин И.С., Истратов Р.Н., Белосохов И.Р. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учеб. пос. М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. 262 с.

REFERENCES

1. Technical Regulations on Fire safety requirements: Federal Law of the Russian Federation No. 123-FZ of July 22, 2008 (as amended. Federal Law No. 117-FZ of April 30, 2021). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (rus).
2. Methodology for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and fire compartments of various classes of functional fire hazard. 2nd ed., rev. and add. Moscow, VNIPO, 2016; 79. (rus).
3. SP 1.13130.2020. Fire protection systems. Evacuation routes and exits. URL: <https://www.standards.ru/document/6528504.aspx> (rus).
4. Bedrina E.A., Rekin A.S., Khrapsky S.F., Bokarev A.I., Denisova E.S. Heat-mass exchange processes dynamics forecasting in fires in typical multistorey apartment buildings. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*. 2019; 7(3):10-15. DOI: 10.25206/2310-9793-7-3-10-15
5. Drozdov D.S., Drozdova T.I. Graphic modeling for assessing fire hazards. *Tekhnogennaya i prirodnaya bezopasnost: collection of scientific papers of the V International Scientific and practical conference. Saratov, April 24-26, 2019*. C.M. Rogacheva, A.S. Zhutova, I.M. Uchayeva (ed.). Saratov, Amirit Publ., 2019; 69-73. (rus).
6. Yarosh A.S., Chalatahshvili M.N., Krol A.N., Popova E.A., Romanova V.V., Sachkov A.V. The system of buildings and structures dangerous fire factors development mathematical models analysis. *Bulletin of the scientific center for the safety of work in the coal industry*. 2019; 1:50-56. (rus).
7. Nuclear Safety NEA/CSNI/R (2017) 14. Investigating heat and smoke propagation mechanisms in multi-

- compartment fire scenarios final report of the PRISME project. January 2018. URL: www.oecd-neo.org
8. McGrattan K., Miles S. Modeling fires using Computational Fluid Dynamics (CFD). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Chapter 32*. 5th ed. Society of Fire Protection Engineers, 2016; 1034-1065. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0
 9. McGrattan K., McDermott R., Hostikka S., Floyd J. *Fire dynamics simulator user's guide*. National Institute of Standards and Technology, 2019; 288.
 10. Leventon I., Bonny J. *Influence of dispositional and situational factors on human perceptions of fire risk*. London, Interflam, 2019.
 11. Gwynne S., Kuligowski E., Kinsey M., Hulse L. Modelling and influencing human behaviour in fire. *Fire and Materials*. 2017; 41(5):412-430. DOI: 10.1002/fam. 2391 URL: <https://www.nist.gov/publications/modelling-and-influencing-human-behaviour-fire> (Accessed February 15, 2022).
 12. ISO 13571:2012. Life-threatening components of fire — Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires.
 13. Matyushin A.V., Gomozyov A.V., Ivashchuk R.A. Simulation of dynamics of dangerous fire factors in premises with people in need of rescue, taking into account the frame ledge of doors. *Fire safety*. 2013; 4:63-68. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20929304> (rus).
 14. Matyushin A.V., Gomozyov A.V., Ivashchuk R.A. Design procedure of dynamics of dangerous factors of fire in rooms in the presence of loose-fitting doors (narrow slots). *Fire safety*. 2015; 4:92-100. (rus).
 15. Pekhotikov A.V., Gomozyov A.V., Usolkina S.V., Ivashchuk R.A. Assessment of the possibility of human rescuing during fire in residential building. *Fire safety*. 2021; 3:86-96. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2021.30.18.010 (rus).
 16. Saarinen P.E., Kalliomäki P., Tang J.W., Koskela H. *Large eddy simulation of air escape through a hospital isolation room single hinged doorway — validation by using tracer gases and simulated smoke videos*. PLOS ONE. 2015; 10(7):e0130667. DOI: 10.1371/journal.pone.0130667
 17. Martin D., McLaughlin B.P.E. *Influence of gap sizes around swinging doors with builders hardware on fire and smoke development*. Arup North America Ltd. San Francisco, CA, USA. March, 2018. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/RFInfluenceGapSizeAroundSwingingDoors.pdf>
 18. Zhang C., Asif U. Heat transfer principles in thermal calculation of structures in fire. *Fire Safety Journal*. 2015. URL: <https://www.nist.gov/publications/heat-transfer-principles-thermal-calculation-structures-fire>
 19. Shebeko Yu.N., Shebeko A.Yu., Gordienko D.M. Assessment of equivalent fire duration for building structures based on compartment fire modeling. *Firesafety*. 2015; 1:31-39. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23092671> (rus).
 20. *Methods for calculating the temperature regime of a fire in the premises of buildings for various purposes: Recommendations*. Moscow, VNIPO Ministry of Internal Affairs of the USSR. 1988; 56 (rus).
 21. *Estimated determination of the main parameters of smoke ventilation in buildings: guidelines for SP 7.13130.2013*. Moscow, VNIPO, 2013; 58. (rus).
 22. *SP 2.13130.2020. Fire protection systems. Ensuring fire resistance of objects of protection*. URL: <https://www.standards.ru/document/6528503.aspx> (rus).
 23. *SP 4.13130.2013. Fire protection systems. Limiting the spread of fire at the objects of protection. Requirements for space-planning and structural solutions (Amendment No. 1)*. URL: <https://www.standards.ru/document/5315802.aspx> (rus).
 24. Kholshchevnikov V.V., Samoshin D.A., Parfenenko A.P., Kudrin I.S., Istratov R.N., Belosokhov I.R. *Evacuation and behavior of people in case of fires : textbook*. Moscow, Academy of GPS EMERCOM of Russia, 2015; 262. (rus).

Поступила 18.02.2022, после доработки 14.03.2022;
принята к публикации 18.05.2022

Received February 18, 2022; Received in revised form March 14, 2022;

Accepted May 18, 2022

Информация об авторах

ПЕХОТИКОВ Андрей Владимирович, канд. техн. наук, начальник 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; РИНЦ ID: 760878; ORCID: 0000-0003-2396-3136; e-mail: Pekhotikov.a@mail.ru

Information about the author

Andrey V. PEKHOPIKOV, Cand. Sci. (Eng.), Head of 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; ID RISC: 760878; ORCID: 0000-0003-2396-3136; e-mail: Pekhotikov.a@mail.ru

ИВАЩУК Роман Анатольевич, главный специалист по пожарной безопасности, ООО «Желдорпроект», Россия, 107023, г. Москва, Семеновская пл., 1А; РИНЦ ID: 544455; ORCID: 0000-0003-2250-2418; e-mail: newtrad@yandex.ru

ГОМОЗОВ Александр Васильевич, канд. техн. наук, старший 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; РИНЦ ID: 760879; ORCID: 0000-0001-9660-9221; e-mail: Gomozovav@yandex.ru

ЛУЧКИН Сергей Алексеевич, младший 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; РИНЦ ID: 760855; ORCID: 0000-0003-2313-6309; e-mail: Luchkin. sergey@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Roman A. IVASHCHUK, Chief Fire Safety Specialist, «Zheldorproekt» LLC, Semenovskaya Square, 1A, Moscow, 107023, Russian Federation; ID RISC: 544455; ORCID: 0000-0003-2250-2418; e-mail: newtrad@yandex.ru

Alexander V. GOMOZOV, Cand. Sci. (Eng.), Senior 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; ID RISC: 760879; ORCID: 0000-0001-9660-9221, e-mail: Gomozovav@yandex.ru

Sergey Alekseevich LUCHKIN, Junior 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; ID RISC: 760855; ORCID: 0000-0003-2313-6309; e-mail: Luchkin. sergey@yandex.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.