

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2023. Т. 32. № 2. С. 59–70
POZHAROVZRYVBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2023; 32(2):59-70

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.841.332:624.012.4

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2023.32.02.59-70>

Анализ технических решений по противопожарной защите обычных лестничных клеток при реконструкции секционных жилых зданий

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 «Желдорпроект», г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Противопожарная защита лестничных клеток играет ключевую роль в обеспечении безопасности людей в секционных жилых зданиях, поскольку блокирование пожаром единственной лестничной клетки делает невозможной безопасную эвакуацию людей из всех квартир секции и осложняет вероятность их спасения.

Современные нормативы исключают возможность газодинамического сообщения квартир непосредственно с лестничными клетками путем запрета эвакуации из квартир непосредственно на лестничную клетку в зданиях высотой более 3 этажей. Поскольку значительная часть существующего жилого фонда страны имеет такие архитектурные решения, при которых квартиры имеют выходы на лестничные клетки непосредственно, возникает необходимость научного анализа эффективности технических решений, позволяющих обеспечить необходимый уровень защиты обычных лестничных клеток при реконструкции зданий.

Цель. Разработать критерии и математические соотношения для оценки эффективности технических решений по защите лестничных клеток.

Методы. Используется аналитический и математический методы, позволяющие оценить совместное влияние динамики изменения опасных факторов пожара на лестничной клетке и в квартирах с нахождением спасаемого человека в зависимости от технических решений по защите лестничных клеток.

Результаты. Разработаны теоретические положения, позволяющие оценить влияние различных технических решений на ограничение распространения пожара из горящей квартиры на лестничную клетку и квартиры других этажей, с учетом проветривания лестничной клетки и огнестойкости конструкций применительно к задаче обеспечения эвакуации и спасения людей. Проведена апробация разработанных положений.

Выводы. На основе исследований разработаны критерии и математические соотношения для оценки эффективности различных технических решений по защите лестничных клеток, базирующиеся на прогнозах динамики распространения опасных факторов пожара из очага пожара на лестничную клетку и квартиры с учетом оконных проемов, огнестойкости конструкций в сравнении с временными интервалами эвакуации и спасения людей.

Ключевые слова: предел огнестойкости; строительные конструкции; эквивалентная продолжительность пожара; эвакуация людей при пожаре; спасение людей при пожаре; предельные значения опасных факторов пожара

Для цитирования: Пехотиков А.В., Ивашук Р.А., Гомозов А.В., Лучкин С.А. Анализ технических решений по противопожарной защите обычных лестничных клеток при реконструкции секционных жилых зданий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32. № 2. С. 59-70. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.02.59-70

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

Analysis of engineering solutions for the fire protection of conventional stairwells during the reconstruction of residential buildings of sectional type

Andrey V. Pekhotikov¹, Roman A. Ivashchuk², Alexander V. Gomofov¹✉, Sergey A. 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. Fire protection of stairwells plays a key role in ensuring human safety in residential buildings of sectional type, since a single stairwell blocked by fire makes it impossible to safely evacuate people from all apartments in a section and complicates the possibility of their rescue. Modern regulations exclude the possibility of gas-dynamic connection of apartments directly to stairwells by prohibiting evacuation from apartments directly to the stairwell in buildings higher than 3 floors. Since a considerable part of the existing housing stock in the country has such architectural solutions, in which apartments have access to stairwells directly, there is a need for a scientific analysis of the effectiveness of engineering solutions to ensure the necessary level of protection of usual stairwells during the reconstruction of buildings.

The purpose of this article is to develop criteria and mathematical relationships for evaluating the effectiveness of engineering solutions for the protection of stairwells.

Methods. Analytical and mathematical methods are used to assess the combined effect of the dynamics of changes in fire hazards in the stairwell and in apartments with the location of a rescued person, depending on the engineering solutions for the stairwell protection.

Results. Theoretical provisions have been developed to estimate the influence of different engineering solutions to limit the spread of fire from a burning apartment to a stairwell and apartments on the other floors, taking into account the ventilation of the stairwell and the fire resistance of structures in relation to the problem of ensuring evacuation and saving people. The developed provisions have been approved.

Conclusions. On the basis of the researches criteria and mathematical relations have been worked out to estimate the efficiency of different engineering solutions to protect stairwells, based on the forecasts of dynamics of spread of fire hazards from a fire origin to the stairwell and apartments, taking into account window openings, fire resistance of constructions in comparison with the time intervals of evacuation and rescuing people.

Keywords: fire resistance limit; building structures; equivalent fire duration; evacuation of people in case of fire; rescue of people in case of fire; limiting values of fire hazards

For citation: Pekhotikov A.V., Ivashchuk R.A., Gomofov A.V., Luchkin S.A. Analysis of engineering solutions for the fire protection of conventional stairwells during the reconstruction of residential buildings of sectional type. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2023; 32(2):59-70. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.02.59-70 (rus).

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

Введение

Одной из особенностей пожаров в секционных жилых зданиях с обычными лестничными клетками является то, что в большинстве случаев опасные факторы пожара (ОФП) из квартиры быстро распространяются в объем лестничной клетки. Это обусловлено тем, что двери квартир не имеют устройств для самозакрывания, а эвакуирующиеся из горящих квартир жильцы в большинстве случаев не имеют возможности зафиксировать дверь в закрытом положении. При этом обнаружение пожара оставшимися жильцами происходит к моменту, когда значения опасных факторов пожара на лестничной клетке превышают предельно-допустимые значения и эвакуация представляет опасность для жизни. В этих случаях оставшиеся в своих квартирах жильцы вынуждены принять решение о необходимости дожидаться спасения силами пожарных подразделений. При этом происходит распространение ОФП из лестничных клеток в квартиру (через щели в дверном проеме), что в ряде случаев, как показывает практика пожаров, также приводит к гибели находящихся там людей.

Характерным примером такого сценария развития пожара является пожар в секционном жилом доме, который произошел в январе 2021 г. в Екатеринбурге, когда из-за невозможности эвакуации погибли 8 человек (2 человека погибли на лестнич-

ной клетке, а 6 — в квартирах), а спасение остальных осуществлялось пожарными подразделениями с использованием средств защиты органов дыхания — самоспасателей.

Необходимо отметить, что возможность газодинамического сообщения квартир непосредственно с лестничными клетками, которая обуславливает быстрое блокирование лестничной клетки ОФП при пожаре в квартире, обусловлена положениями действующих в период до 2020 г. нормативных документов, допускающих эвакуацию из квартир непосредственно на лестничную клетку. С учетом этого жилой фонд, построенный в СССР и РФ, содержит значительную долю таких квартир.

Положениями современных нормативных документов [1] возможность сообщения квартир непосредственно с лестничными клетками (нормативно оформленная как возможность эвакуации из квартир непосредственно на лестничную клетку) ограничена жилыми зданиями высотой до 3 этажей.

Однако для значительной части существующих жилых зданий реализовать данное современное нормативное решение при реконструкции невозможно, что обуславливает необходимость научного анализа и обоснования комплекса технических решений по противопожарной защите лестничных клеток, которые позволят обеспечить как возможность безопасной эвакуации людей, так и возможность их безопасного спасения путем ограничения возможно-

сти блокирования опасными факторами пожара лестничной клетки.

С учетом этого целью настоящей статьи является разработка научных положений, позволяющих оценить эффективность технических решений по обеспечению пожарной безопасности лестничных клеток реконструируемых секционных жилых зданий.

Для достижения указанной цели в рамках статьи предусмотрена разработка критериев и математических соотношений, позволяющих оценить влияние различных технических решений на безопасность людей при эвакуации и спасении по обычным лестничным клеткам реконструируемых жилых зданий в условиях пожара.

Кроме того, в статье предусмотрен анализ эффективности технических решений по обеспечению пожарной безопасности лестничных клеток, предусмотренных нормативными документами, а также дополнительных технических решений в случае реконструкции 5-этажного здания.

Критерии и математические соотношения для оценки эффективности технических решений

Необходимый уровень противопожарной защиты обычной лестничной клетки в реконструируемых жилых зданиях считается обеспеченным при одновременном выполнении следующих двух критериев:

- совокупность технических решений по защите лестничных клеток должна обеспечивать возможность безопасной эвакуации всех мобильных людей из любой квартиры;
- совокупность технических решений по защите лестничных клеток должна обеспечивать возможность безопасного спасения людей из любой квартиры по данной лестничной клетке.

Возможность безопасной эвакуации по лестничной клетке считается обеспеченной при выполнении следующих основных условий:

- опасные факторы пожара на всем пути эвакуации людей по лестничной клетке до выхода наружу не превышают предельно допустимых значений;
- в течение всего времени эвакуации по лестничной клетке не происходит потеря огнестойкости (т.е. достижение предельных состояний по огнестойкости) тех ее конструкций, которые влияют на безопасность людей.

Данные условия описываются соотношением:

$$0,8t_{\text{бл}} \geq t_{\text{н.э.}} + t_{\text{р}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{бл}}$ — время блокирования лестничной клетки ОФП, определяемое на основе математических моделей распространения пожара из квартиры

на лестничную клетку путем реализации необходимых программных продуктов [2–9] с учетом предельно-допустимых для людей значений ОФП [2, 10–12], а также времени достижения предельных состояний по огнестойкости тех конструкций здания, которые влияют на безопасность людей, при свободном развитии пожара $t_{\text{огн}}$ (время потери огнестойкости):

$$t_{\text{бл.лк}} = \min\{t_{\text{кр}}^{\text{п.в}}, t_{\text{кр}}^{\text{т}}, t_{\text{кр}}^{\text{т.г}}, t_{\text{кр}}^{\text{О}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{т.п}}, t_{\text{огн}}\}, \quad (2)$$

$t_{\text{н.э.}}$, $t_{\text{р}}$ — время начала эвакуации и расчетное время эвакуации соответственно, определяемые согласно [2].

Безопасность людей при спасении по лестничной клетке считается обеспеченной при выполнении следующих основных условий:

- опасные факторы пожара в квартире с людьми, ожидающими спасения пожарными подразделениями, не превышают предельно допустимых значений до момента начала спасения, а также не происходит потеря огнестойкости тех конструкций, которые влияют на безопасность людей в квартире;
- опасные факторы пожара на лестничной клетке, используемой для перемещения людей 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.

Данные условия описываются соотношениями:

$$0,8t_{\text{бл.кв}} \geq T_{\text{н.сп.}}; \quad (3)$$

$$0,8t_{\text{бл.лк}}^{\text{сп}} \geq T_{\text{ок.сп.}}; \quad (4)$$

где $t_{\text{бл.кв}}$ — время блокирования квартиры, в которой расположен спасаемый человек;

$T_{\text{н.сп.}}$ — время начала спасения, соответствующее интервалу времени от начала пожара до момента прибытия в квартиру к спасаемому человеку подразделений пожарной охраны;

$t_{\text{бл.лк}}^{\text{сп}}$ — время блокирования лестничной клетки, используемой при спасении;

$T_{\text{ок.сп.}}$ — время окончания спасения человека из квартиры, осуществляемого подразделениями пожарной охраны по лестничной клетке, соответствующее интервалу времени от начала пожара до момента перемещения спасаемого на безопасное расстояние от горящего здания.

Время блокирования квартир $t_{\text{бл.кв}}$ при распространении ОФП из лестничной клетки через щели

закрытых дверей определяется на основе [13–17] при величине удельного сопротивления дымопроницанию дверей $S = 5500 \text{ м}^3/\text{кг}$ и с учетом времени достижения предельных состояний по огнестойкости строительных конструкций при свободном развитии пожара $t_{\text{огн}}$ (время потери огнестойкости):

$$t_{\text{бл.кв}} = \min\{t_{\text{кр}}^{\text{п.в}}, t_{\text{кр}}^T, t_{\text{кр}}^{\text{т.г}}, t_{\text{кр}}^{\text{O}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{т.п}}, t_{\text{огн}}\}. \quad (5)$$

Время начала спасения определяется по формуле:

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

где $t_{\text{с}}$ — время от момента начала пожара до сообщения о нем в подразделение пожарной охраны; $t_{\text{пр}}$ — время от момента сообщения о пожаре до момента прибытия подразделения пожарной охраны к зданию, определяемое в соответствии с положениями ч. 1 ст. 76 № 123-ФЗ;

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

При отсутствии в здании системы пожарной сигнализации (СПС) величина $t_{\text{с}}$ принимается равной $t_{\text{с}} = 4$ мин, при защите здания СПС принимается $t_{\text{с}} = 1$ мин, а если СПС обеспечивает передачу сигнала о пожаре с дублированием сигнала на пульт подразделения пожарной охраны, то $t_{\text{с}} = 0,5$ мин.

Время блокирования лестничной клетки, используемой при спасении $t_{\text{бл.лк}}^{\text{сп}}$, определяется по (2), при этом предельно-допустимые значения ОФП для спасаемого человека определяются с учетом имеющихся у него средств защиты (применение изолирующих самоспасателей позволяет не учитывать воздействие токсичных продуктов горения и снижение концентрации кислорода).

Время окончания спасения определяется по формуле:

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

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

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

Поскольку безопасность спасаемого человека может быть обеспечена только в случае безопасности пожарных подразделений, осуществляющих действия по его спасению, то должны выполняться следующие условия:

- опасные факторы пожара на лестничной клетке до момента $T_{\text{ок.сп}}$ не должны превышать предельно-допустимых для пожарных значений, в том числе с учетом использования ими средств защиты от ОФП;
- не происходит потеря огнестойкости тех конструкций, которые влияют на безопасность пере-

мещения пожарных подразделений по лестничной клетке.

Данные положения описываются соотношением:

$$0,8t_{\text{бл.лк}}^{\text{пж}} \geq T_{\text{ок.сп}}; \quad (8)$$

$$t_{\text{бл.лк}}^{\text{пж}} = \min\{t_{\text{пж}}^{\text{п.в}}, t_{\text{пж}}^T, t_{\text{пж}}^{\text{т.г}}, t_{\text{пж}}^{\text{O}_2}, t_{\text{пж}}^{\text{т.п}}, t_{\text{огн}}\}. \quad (9)$$

В формулах (2), (5) и (9) время достижения предельных состояний по огнестойкости строительных конструкций при свободном развитии пожара $t_{\text{огн}}$ (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, 19]. При этом в обязательном порядке определяется время от начала пожара до момента потери огнестойкости несущих элементов здания, а также конструкций, отделяющих горящее помещение от лестничной клетки.

Анализ эффективности нормативных решений

Анализ проведен для 5-этажного секционного жилого здания 1980 г. постройки, схема этажа которого показана на рис. 1. Здание имеет III степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности С0 и высоту, определенную согласно [1], не более 15 м. До реконструкции защита здания СПС и системой оповещения и управления эвакуацией при пожаре (СОУЭ) не предусмотрена согласно положениям нормативных документов, действующих в период его постройки. Очаг пожара нахо-

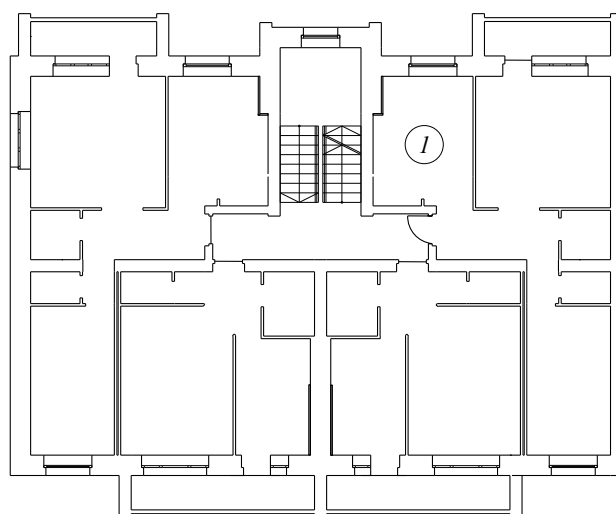


Рис. 1. Схема расположения помещений на этаже, на котором возник пожар: I — очаг пожара

Fig. 1. The layout of the premises on the floor on which the fire broke out: I — the source of the fire

дится на 1-м этаже в квартире с проемностью $\Pi = 0,12 \text{ м}^{0.5}$. Двери из квартир на лестничную клетку не огнестойкие, без устройств для самозакрывания, но имеют металлический каркас и металлическую наружную поверхность. Принимается, что один из жильцов на 5-м этаже является немобильным (НМ), а остальные жильцы могут самостоятельно эвакуироваться по лестничной клетке.

При реконструкции здания необходимо реализовать положения действующих нормативных документов о необходимости его защиты СПС и СОУЭ согласно [20], а также устройство в наружных стенах лестничных клеток окон с открывающимися створками шириной не менее 0,6 м [1].

При пожаре жильцы в горящей квартире могут обнаружить пожар визуально или по сигналам автономных пожарных извещателей и эвакуироваться на лестничную клетку и далее наружу.

Квартирная дверь не имеет устройств для самозакрывания и не является противопожарной, поэтому данная дверь принимается открытой, с учетом чего продукты горения будут распространяться из квартиры на лестничную клетку. Динамика изменения опасных факторов пожара на лестничной клетке будет соответствовать расчетным величинам, представленным на рис. 2–4 (приведены только результаты расчетов динамики изменения концентрации НСЛ, которые достигают предельно-допустимых значений раньше остальных).

Из рис. 2 видно, что концентрация НСЛ на лестничной клетке превысит предельно-допу-

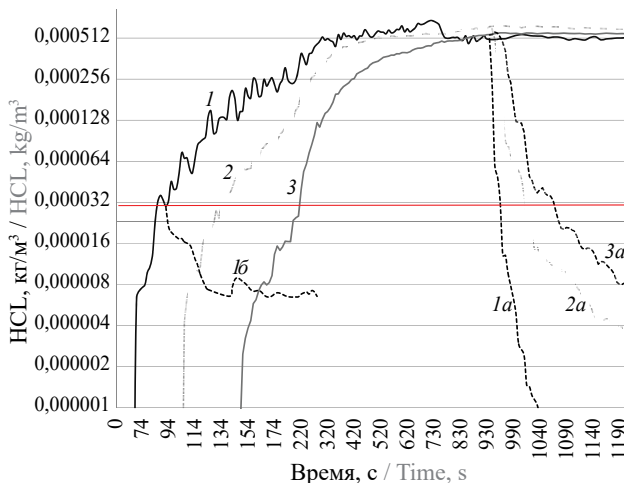


Рис. 2. Динамика изменения концентрации НСЛ на различных этажах лестничной клетки: 1–3 — на площадках 1–3-го этажей при закрытых окнах; 1а–3а — на площадках 1–3-го этажей после открытия окон; 1б — на площадке 1-го этажа при оборудовании двери доводчиком

Fig. 2. Dynamics of changes in the concentration of HCL on different floors stairwell: 1–3 — on platforms of 1–3 floors with closed windows; 1а–3а — on the grounds of 1–3 floors after opening the windows; 1b — on the site of the 1st floor when the door is equipped with a door closer

стимое значение на 1-м этаже через 82 с (1,4 мин) от начала пожара, а на 2-м этаже — через 127 с (2,1 мин) от начала пожара.

Для определения возможности безопасной эвакуации по лестничной клетке согласно (1) необходимо оценить время достижения предельных состояний по огнестойкости несущих элементов здания (межэтажное перекрытие) и внутренних стен лестничной клетки при пожаре. Данные конструкции имеют предел огнестойкости REI 45. Используя представленные в [19] графические зависимости между эквивалентной продолжительностью пожара и реальной (характерной) продолжительностью пожара для железобетонных конструкций перекрытий и несущей внутренней стены лестничной клетки, получим, что при проемности $\Pi = 0,12 \text{ м}^{0.5}$ продолжительность пожара, которая сопровождается потерей огнестойкости перекрытия, будет равна 39 мин, а продолжительность пожара, которая сопровождается потерей огнестойкости внутренней стены лестничной клетки, равна 31 мин. Исходя из этого получим $t_{огн} = 31 \text{ мин}$.

С учетом этого время блокирования лестничной клетки, определенное согласно (2), будет равно:

$$t_{\text{бл.лк}} = \min\{t_{\text{кр}}^{\text{п.в}}, t_{\text{кр}}^{\text{т}}, t_{\text{кр}}^{\text{т.г}}, t_{\text{кр}}^{\text{O}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{т.п}}, t_{\text{огн}}\} = 1,4 \text{ мин.}$$

Реконструкция здания предусматривает его защиту СПС и СОУЭ. При наиболее эффективных системах СОУЭ IV или V типа время начала эвакуации будет составлять $t_{\text{н.э}} = 4 \text{ мин}$. Принимая расчетное время эвакуации из квартир 5-го этажа $t_{\text{р}} = 1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$,

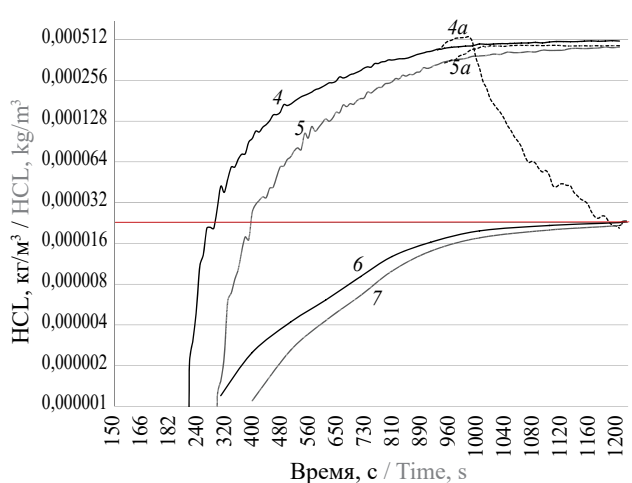


Рис. 3. Динамика изменения концентрации НСЛ на различных этажах лестничной клетки: 4, 5 — на площадках 4 и 5-го этажей при закрытых окнах; 4а, 5а — на площадках 4 и 5-го этажей после открытия окон; 6, 7 — в квартирах 4 и 5-го этажей

Fig. 3. Dynamics of changes in the concentration of HCL on different floors staircase: 4, 5 — on the grounds of the 4th and 5th floors with the windows closed; 4а, 5а — on the grounds of the 4th and 5th floors after opening the windows; 6, 7 — in apartments of 4 and 5 floors

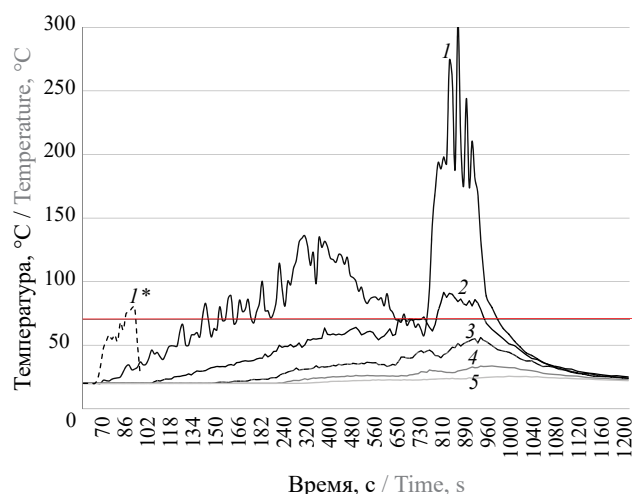


Рис. 4. Динамика изменения температуры на различных этажах лестничной клетки: 1–5 — на площадках 1–5-го этажей; 1* — на площадке 1-го этажа при оборудовании двери доводчиком
Fig. 4. Dynamics of temperature changes on different floors stairwell: 1–5 — on floors 1–5; 1* — on the site of the 1st floor when the door is equipped with a door closer

получим $t_p + t_{н.э} = 1 + 4 = 5$ мин. При этом условие (1), т.е. $0,8t_{бл.лк} \geq t_p + t_{н.э}$, не выполняется.

Таким образом, реализация современного нормативного решения по оснащению здания СПС и СОУЭ не обеспечит возможность безопасной эвакуации из квартир по лестничной клетке, т.е. для людей, которые приняли решение об эвакуации по лестничной клетке, воздействие ОФП может сопровождаться смертельным исходом, что и подтверждается практикой пожаров.

С учетом этого необходимо оценить возможность безопасного спасения жильцов, которые после обнаружения дыма на лестничной клетке были вынуждены принять решение не эвакуироваться, а дожидаться спасения в квартире.

Оценим возможность пожарных подразделений достигнуть спасаемого человека и обеспечить его защиту от воздействия ОФП путем передачи ему изолирующего самоспасателя, огнестойкой накидки (при необходимости) и др. до момента блокирования квартиры ОФП, т.е. до момента $t_{бл.кв.}$.

При защите здания СПС значение времени сообщения о пожаре будет составлять $t_c = 1$ мин. При времени прибытия $t_{пр} = 10$ мин пожарные достигнут лестничной клетки через 12 мин от начала пожара, что будет сопровождаться открытием ее наружной двери для прокладки пожарных рукавов и т.д. При этом поступление наружного воздуха на лестничную клетку, как видно из рис. 4, приведет к повышению температуры в зоне площадки 1-го этажа до 300 °С, что вызвано догоранием продуктов пиролиза, распространившихся из горящей квартиры на лестничную клетку.

Данные обстоятельства могут вызвать необходимость охлаждения газов на лестничной клетке путем подачи распыленных струй воды, подачи воды на тушение очага пожара в квартире и др., что вызовет задержку в перемещении пожарных на верхние этажи к спасаемым жильцам.

Вместе с тем понимание пожарными необходимости скорейшего прибытия к спасаемым жильцам, а также наличие у пожарных защитной одежды и средств защиты органов дыхания и зрения позволяет предположить, что время от момента прибытия подразделений пожарной охраны к зданию до момента окончания перемещения к спасаемому человеку на 4-й или 5-й этаж может быть принято $t_{пер} = 4$ мин.

Тогда время начала спасения, определенное согласно (6), будет равно $T_{н.сп} = 1 + 10 + 4 = 15$ мин.

Поскольку температура на лестничной клетке на 1 и 2-м этажах превышает допустимые для спасаемых жильцов значения, для обеспечения безопасного перемещения спасаемых жильцов наружу необходимы огнестойкие накидки.

Кроме того, как видно из рис. 2, 3, в этот период на всех этажах лестничной клетки имеет место существенное превышение концентрации НСЛ допустимых значений, что не позволяет обеспечить безопасное перемещение спасаемых наружу без использования изолирующих самоспасателей для всех жильцов.

Поскольку количество изолирующих самоспасателей и огнестойких накидок у пожарных подразделений ограничено, а также ограничено число пожарных, которые могут осуществлять спасение жильцов, при необходимости выполнения других обязательных действий: тушения горящей квартиры и др., то предполагается, что пожарными на 15-й мин пожара (через 4 мин после прибытия) принимается решение о необходимости закрытия двери горящей квартиры, а после этого — открытия створок окон в наружной стене лестничной клетки на 3, 4 и 5-м этажах (на 15,5 мин пожара).

После этого происходит снижение температуры на лестничной клетке до значения менее 70 °С (рис. 4), а концентрация НСЛ на 1–3 этажах достаточно быстро опускается до безопасных значений (рис. 2). Это позволяет по команде руководителя тушения пожара мобильным жильцам 1–3 этажей самостоятельно перемещаться в сопровождении пожарных по лестничной клетке наружу после 1070 с (17,8 мин) от момента начала пожара.

Однако, как видно из рис. 3, концентрация НСЛ на 4-м этаже снижается достаточно долго, так как размер открываемой створки окна не обеспечивает достаточно интенсивное удаление ОФП наружу. Поскольку верхнее окно лестничной

клетки расположено ниже площадки 5-го этажа (на уровне промежуточной площадки), то открытие окон не приводит к снижению концентрации HCL на уровне 5-го этажа, при этом концентрация даже незначительно повышается из-за того, что часть продуктов горения с более высокой концентрацией HCL поднялась вверх (рис. 3).

С учетом этого, как показывают расчеты, из-за ограниченного периода времени распространения продуктов горения опасной концентрации из лестничной клетки в квартиры 1–3-го этажей концентрация HCL в этих квартирах (в наиболее удаленных помещениях — спальнях) не достигает предельно-допустимых значений.

А распространение продуктов горения из лестничной клетки в квартиры 4 и 5-го этажей, как видно из рис. 3, приведет к тому, что в расположенной на 4-м этаже квартире время достижения предельно-допустимого значения концентрации HCL составит 1212 с (20,2 мин), а на 5-м этаже — 1330 с (22,2 мин).

С учетом этого время блокирования квартир 4-го этажа, определенное согласно (5) с учетом $t_{огн} = 33$ мин, будет равно:

$$t_{бл.кв} = \min\{t_{кр}^{п.в}, t_{кр}^T, t_{кр}^{т.г}, t_{кр}^{O_2}, t_{кр}^{т.п}, t_{огн}\} = 20,2 \text{ мин},$$

а время блокирования квартир 5-го этажа будет соответственно равно 22,2 мин.

При этом неравенство (3), т.е. условие $0,8t_{бл.кв} \geq T_{н.сп}$, выполняется для 4 и 5-го этажей, поскольку $T_{н.сп} = 15$ мин, а $0,8t_{бл.кв} = 0,8 \cdot 20,2 = 16,2$ мин.

Это подтверждает, что пожарные могут достигнуть спасаемых жильцов 4 и 5-го этажей до момента блокирования их квартир ОФП, передать им изолирующие самоспасатели и начать готовить к перемещению наружу по команде руководителя тушения пожара (пожарные обеспечивают сопровождение перемещения наружу мобильных жильцов и перемещение немобильного жильца на носилках). При этом из-за блокирования 4 и 5-го этажей лестничной клетки HCL самоспасатели потребуются для всех жильцов 4 и 5-го этажей.

Очевидно, что перемещение немобильного человека на носилках наружу будет более продолжительным и опасным, чем перемещение наружу мобильных жильцов 1–5 этажей, с учетом чего анализ возможности безопасного спасения немобильного человека должен быть проведен в первую очередь.

Для оценки выполнения условий безопасного перемещения спасаемого немобильного человека наружу (4) на основе данных [21] принимаем период подготовки человека к спасению (надевание самоспасателя, перекалывание на носилки, подтверждение того, что дверь горящего помещения закрыта и др.) $t_{сп1} = 2$ мин, а время перемещения спасаемого

наружу, на безопасное расстояние от горящего здания $t_{пер}^* = 3,5$ мин. Тогда время окончания спасения будет равно:

$$T_{ок.сп} = T_{н.сп} + t_{сп1} + t_{пер}^* = 15 + 2 + 3,5 = 20,5 \text{ мин.}$$

При закрытой двери горящего помещения температура на лестничной клетке не представляет опасности для спасаемого человека и пожарных.

Факт защиты спасаемого изолирующим самоспасателем позволяет не учитывать повышенные концентрации токсичных продуктов горения на 4 и 5-м этажах, а также снижение концентрации кислорода.

Аналогичным образом повышенные концентрации токсичных продуктов горения можно не учитывать для пожарных подразделений в средствах защиты, обеспечивающих перемещение спасаемого наружу.

С учетом этого время блокирования лестничной клетки $t_{бл.лк}^{сп}$ при перемещении спасаемого человека, определенное согласно (2), будет равно:

$$t_{бл.лк}^{сп} = \min\{t_{пок}^{п.в}, t_{пок}^T, t_{пок}^{т.г}, t_{пок}^{O_2}, t_{пок}^{т.п}, t_{огн}\} = t_{огн} = 31 \text{ мин.}$$

Поскольку $0,8t_{бл.лк}^{сп} = 0,8 \cdot 31 = 24,8$ мин, то соотношение (4), т.е. условие $0,8t_{бл.лк}^{сп} \geq T_{ок.сп}$, для немобильного жильца выполняется. Поскольку время окончания спасения мобильных жильцов значительно меньше, чем $T_{ок.сп} = 20,5$ мин для немобильного жильца, то возможность безопасного спасения всех находящихся в здании жильцов можно считать обеспеченной.

Аналогичным образом, с учетом защитной одежды пожарных можно не учитывать воздействие на них ОФП. Из этого, согласно расчетам по (9), следует, что $t_{бл.лк}^{пок} = 31$ мин и неравенство (8), т.е. $0,8t_{бл.лк}^{пок} \geq T_{ок.сп}$, выполняется.

Таким образом, проведенный анализ эффективности нормативных решений по защите лестничной клетки от ОФП показал, что данные решения не обеспечивают возможность безопасной эвакуации, а для обеспечения возможности безопасного спасения людей необходимо не только привлечение большого числа пожарных, но и наличие у них значительного количества самоспасателей, что достаточно сложно обеспечить на практике. Полное закрытие двери горящей квартиры также не всегда возможно при пожаре из-за необходимости прокладки рукавных линий и т.д. Кроме того, действия пожарных по открытию окон лестничной клетки должны совершаться только после того, как будет установлено отсутствие людей без средств защиты на лестничной клетке (с учетом возможной вспышки несгоревших продуктов пиролиза) и при закрытой двери горящей квартиры, что предполагает достаточную

квалификацию пожарных подразделений и возможность обеспечения синхронизации их действий руководителем тушения пожара.

С учетом этого необходимо проанализировать эффективность дополнительных решений, позволяющих обеспечить необходимый уровень противопожарной защиты лестничной клетки.

Анализ эффективности дополнительных решений

В рамках оценки эффективности дополнительных решений для защиты лестничной клетки проанализированы целесообразность использования для ограничения распространения пожара из квартир на лестничную клетку металлических квартирных дверей с устройствами для самозакрывания (или противопожарных дверей) с защитой проема водяными оросителями, расположенными над проемом со стороны лестничной клетки.

Необходимо отметить, что применение устройств для самозакрывания в конструкции входных дверей квартиры, как и применение противопожарных дверей в настоящее время, не имеет достаточной практической апробации (применение противопожарных квартирных дверей предусмотрено в отдельных специальных технических условиях для ограниченного круга зданий). Поэтому положениями п. 4.4.6 нормативного документа [1] не предусмотрена необходимость оборудования дверей выхода из квартир на лестничную клетку устройствами для самозакрывания.

Несомненно, что в случае их применения устройства для самозакрывания квартирных дверей должны соответствовать [22], монтироваться открыто со стороны внеквартирного коридора как накладной доводчик верхнего расположения, что позволяет контролировать его наличие и техническое состояние управляющей компаний.

Вместе с тем, поскольку устройства для самозакрывания создают отдельные неудобства для жильцов (затрудняют открытие дверей детьми и т.д.), то возможно приведение жильцами данных устройств в неработоспособное состояние или регулировка, при которой закрытие дверей будет неплотным.

Кроме того, практика тушения пожаров показывает, что в отдельных случаях люди, эвакуирующиеся из квартир, при воздействии ОФП теряли сознание и падали в проемах выходов на лестничную клетку, тем самым препятствуя закрытию этой двери.

С учетом этого предлагаемое устройство квартирных дверей с устройствами для самозакрывания (или противопожарных дверей) в сочетании с защитой проема водяными оросителями, распо-

ложенными над проемом со стороны лестничной клетки, позволяет ограничить распространение пожара из квартир на лестничную клетку через щели, обусловленные неплотным закрытием двери, а также щели, обусловленные прокладкой пожарных рукавов из лестничных клеток в квартиру.

В качестве водяных оросителей могут быть использованы спринклер с температурой срабатывания 60 °С или дренчер, пуск которого предусмотрен от автоматического теплового пожарного извещателя с аналогичной температурой срабатывания, установленного над дверным проемом.

При анализе эффективности данных дополнительных технических решений будем исходить из того, что при пожаре жильцы в горящей квартире могут обнаружить пожар визуально или по сигналам автономных пожарных извещателей и эвакуироваться на лестничную клетку за время не более $t_3 \leq 90$ с (1,5 мин).

Принимая при расчетах, что в период до момента t_3 дверь квартиры будет открыта, а после t_3 — закроется посредством устройства для самозакрывания, получим, что концентрация HCL на площадке 1-го этажа лестничной клетки превысит допустимое значение в период, когда дверь открыта, а затем, после закрытия двери, т.е. после 90 с, достаточно быстро опустится до величины, не представляющей опасности для эвакуирующихся (см. кривую 1б на рис. 2).

Аналогичным образом, как видно из графика 5 на рис. 4, температура над дверным проемом горящей квартиры на площадке 1-го этажа лестничной клетки превысит допустимое значение в период, когда дверь открыта, а затем, после закрытия двери, достаточно быстро опустится до величины, не представляющей опасности для эвакуирующихся (см. кривую 1* на рис. 4). Из этого графика видно, что температура продуктов горения, выходящих из квартиры, достигает значения 60 °С, соответствующего температуре срабатывания спринклера или теплового пожарного извещателя, раньше предполагаемого времени закрытия двери. С учетом этого срабатывание оросителей даст эффект, аналогичный закрытию двери.

Поскольку время начала эвакуации при наличии СПС и СОУЭ 4-го типа будет составлять $t_{н.э} = 4$ мин, то временное превышение концентрации HCL и температуры до момента начала эвакуации не представляет опасности для людей и корректно считать, что лестничная клетка не блокируется ОФП.

С учетом этого время блокирования лестничной клетки равно:

$$t_{\text{бл.лк}} = \min\{t_{\text{кр}}^{\text{ПВ}}, t_{\text{кр}}^T, t_{\text{кр}}^{T.Г}, t_{\text{кр}}^{O_2}, t_{\text{кр}}^{T.П}, t_{\text{огн}}\} = 31 \text{ мин.}$$

При этом условие (1), т.е. $0,8t_{\text{бл}} \geq t_p + t_{\text{н.э}}$, выполняется и возможность безопасной эвакуации обеспечивается для всех мобильных жильцов. Поэтому спасение потребуется только для немобильного жильца, находящегося на 5-м этаже.

Поскольку опасные факторы пожара до момента потери огнестойкости стен лестничной клетки не распространяются из горящей квартиры на лестничную клетку, а следовательно, и в квартиру, где находится спасаемый человек, то расчеты по (5), (6) и (9) дадут следующие результаты:

$$t_{\text{бл.кв}} = t_{\text{огн}} = 31 \text{ мин};$$

$$t_{\text{бл.лк}}^{\text{сп}} = t_{\text{огн}} = 31 \text{ мин};$$

$$t_{\text{бл.лк}}^{\text{пож}} = t_{\text{огн}} = 31 \text{ мин}.$$

Учитывая ранее полученные значения $T_{\text{н.сп}} = 15$ мин и $T_{\text{ок.сп}} = 20,5$ мин, получим, что неравенство (3), т.е. условие $0,8t_{\text{бл.кв}} \geq T_{\text{н.сп}}$, выполняется, поскольку $0,8t_{\text{бл.кв}} = 0,8 \cdot 31 = 24,8$ мин.

Кроме того, как показано выше, соотношение (4) и (8), т.е. условия $0,8t_{\text{бл.лк}}^{\text{сп}} \geq T_{\text{ок.сп}}$ и $0,8t_{\text{бл.лк}}^{\text{пож}} \geq T_{\text{ок.сп}}$, также выполняются.

Таким образом, предложенные дополнительные технические решения по защите лестничной клетки отвечают одновременно двум сформулированным в статье критериям и обеспечивают возможность как безопасной эвакуации всех людей из любой квартиры, так и возможность их безопасного их спасения.

Выводы

При реконструкции секционных жилых зданий высотой более 3 этажей невозможно реализовать современные требования по обеспечению пожарной безопасности обычных лестничных клеток, исключающие возможность газодинамического сообщения квартир непосредственно с лестничными клетками. Данное обстоятельство вызывает необходимость разработки научных положений, позволяющих провести анализ технических решений, направленных на обеспечение необходимой защиты лестничных клеток от пожара.

Разработанные и представленные в статье общие критерии и математические соотношения позволяют оценить эффективность различных технических решений по противопожарной защите обычных лестничных клеток при реконструкции жилых зданий, т.е. влияние тех или иных мероприятий на безопасность людей в случае их эвакуации и спасения по данным лестничным клеткам в условиях пожара в сочетании с анализом временных

интервалов развития опасных факторов пожара, эвакуации людей, перемещения пожарных подразделений к спасаемому человеку и его спасения путем сопровождения или перемещения на носилках наружу.

Сформулированные критерии и 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. Для апробации разработанных критериев и математических соотношений проведен анализ эффективности нормативных и дополнительных решений по противопожарной защите обычной лестничной клетки в реконструируемом жилом 5-этажном здании.

Данный анализ показал, что реализация только нормативных решений не обеспечивает возможность безопасной эвакуации. А для обеспечения возможности безопасного спасения людей требуется привлечение большого числа пожарных, а также использование значительного количества самоспасателей. Кроме того, возникает ряд проблем, связанных с тем, что при прокладке рукавных линий в квартиру невозможно исключить газодинамическое сообщение очага пожара и лестничной клетки, которое будет сопровождаться догоранием в ней продуктов пиролиза и возникновением локальных вспышек. С учетом этого действия пожарных по открытию окон лестничной клетки должны быть синхронизированы с действиями по закрытию двери горящей квартиры и выполняться в сроки, исключающие блокирование квартир ОФП.

Дополнительные технические решения для защиты лестничной клетки, предполагающие использование металлических квартирных дверей с устройствами для самозакрывания (или противопожарных дверей) с защитой проема водяными оросителями, расположенными над проемом со стороны лестничной клетки, позволяют ограничить распространение пожара из квартир на лестничную клетку через щели, обусловленные неплотным закрытием двери, а также щели, обусловленные прокладкой пожарных рукавов из лестничных клеток в квартиру.

Данные дополнительные технические решения по защите лестничной клетки отвечают одновременно двум сформулированным в статье критериям и обеспечивают возможность как безопасной эвакуации всех людей из любой квартиры, так и возможность их безопасного их спасения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- СП 1.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. URL: <https://www.standards.ru/document/6528504.aspx>
- 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.
- Пехотилов А.В., Ивацук 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
- 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
- Investigating heat and smoke propagation mechanisms in multi-compartment fire scenarios : Final Report of the PRISME Project // Nuclear Safety NEA/CSNI/R(2017), 14 January 2018. URL: www.oecd-neo.org
- 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.
- 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. г. Саратов, 24–26 апреля 2019 г. / под ред. С.М. Рогачевой, А.С. Жутова, И.М. Учайевой. Саратов : Амирит, 2019. С. 69–73.
- 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
- McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk C., Overholt K. Fire dynamics simulator : user's guide // National Institute of Standards and Technology. 2019. 288 p. URL: https://www2.thunderheadeng.com/files/net/nistdocs/FDS_User_Guide.pdf
- Leventon I., Bonny J. Influence of dispositional and situational factors on human perceptions of fire risk // Interflam 2019. London, 1. 2020. DOI: 10.1002/fam.2857
- 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. URL: <https://www.nist.gov/publications/modelling-and-influencing-human-behaviour-fire> DOI: 10.1002/fam.2391
- ISO 13571:2012. Life-threatening components of fire — Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires.
- Матюшин А.В., Гомозов А.В., Ивацук 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://elibrary.ru/item.asp?id=20929304>
- Матюшин А.В., Гомозов А.В., Ивацук 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://elibrary.ru/item.asp?id=25064046>
- Saarienen 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
- McLaughlin D.M.B. Influence of gap sizes around swinging doors with builders hardware on fire and smoke development : Final Report // Fire Protection Research Foundation. San Francisco, CA, USA, 2018. URL: nfpa.org/foundation
- Zhang C., Asif U. Heat transfer principles in thermal calculation of structures in fire // Fire Safety Journal. 2015. Vol. 78. Pp. 85–95. URL: <https://www.nist.gov/publications/heat-transfer-principles-thermal-calculation-structures-fire> DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.08.006
- 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://elibrary.ru/item.asp?id=23092671>
- Методы расчета температурного режима пожара в помещениях зданий различного назначения : рекомендации. М. : ВНИИПО, 1988. 56 с.
- СП 486.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. URL: www.standards.ru
- Холщевников В.В., Самошин Д.А., Парфененко А.П., Кудрин И.С., Истратов Р.Н., Белоухов И.Р. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учеб. пос. М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. 262 с.
- ГОСТ Р 56177–2014. Устройства закрывания дверей (доводчики). Технические условия.

REFERENCES

1. SP 1.13130.2020. Fire protection systems. Evacuation routes and exits. URL: <https://www.standards.ru/document/6528504.aspx> (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. 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).
4. 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
5. Investigating heat and smoke propagation mechanisms in multi-compartment fire scenarios : Final report of the PRISME project. *Nuclear Safety NEA/CSNI/R(2017), January 14, 2018*. URL: www.oecd-neo.org
6. Yarosh A.S., Chalatashvili M.N., Krol A.N., Popova E.A., Romanova V.V., Sachko 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. (rus).
7. Drozdov D.S., Drozdova T.I. Graphic modeling for assessing fire hazards. *Tekhnogennaya i prirodnyaya bezopasnost : sb. scientific tr. V international scientific and practical. conf. Saratov, April 24–26, 2019*. C.M. Rogacheva, A.S. Zhutova, I.M. Uchaeva (ed.). Saratov, Amirit Publ., 2019; 69-73. (rus).
8. 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*. 2019; 7(3):10-15. DOI: 10.25206/2310-9793-7-3-10-15 (rus).
9. McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk C., Overholt K. Fire dynamics simulator : user's guide. *National Institute of Standards and Technology*. 2019; 288. URL: https://www2.thunderhead-eng.com/files/net/nistdocs/FDS_User_Guide.pdf
10. Leventon I., Bonny J. Influence of dispositional and situational factors on human perceptions of fire risk. *Interflam 2019*. London, 1; 2020. DOI: 10.1002/fam.2857
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. URL: <https://www.nist.gov/publications/modelling-and-influencing-human-behaviour-fire>. DOI: 10.1002/fam.2391
12. ISO 13571:2012. Life-threatening components of fire — Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires.
13. Matyushin A.V., Gomofov 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. *Pozharnaya Bezopasnost'/Fire Safety*. 2013; 4:63-68. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20929304> (rus).
14. Matyushin A.V., Gomofov 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). *Pozharnaya Bezopasnost'/Fire Safety*. 2015; 4:92100. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25064046> (rus).
15. 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
16. McLaughlin D.M.B. Influence of gap sizes around swinging doors with builders hardware on fire and smoke development : Final report. *Fire Protection Research Foundation*. San Francisco, CA, USA, 2018. URL: nfpa.org/foundation
17. Zhang C., Asif U. Heat transfer principles in thermal calculation of structures in fire. *Fire Safety Journal*. 2015; 78:85-95. URL: <https://www.nist.gov/publications/heat-transfer-principles-thermal-calculation-structures-fire>
18. Shebenko Yu.N., Shebeko A.Yu., Gordienko D.M. Assessment of equivalent fire duration for building structures based on compartment fire modeling. *Pozharnaya Bezopasnost'/Fire Safety*. 2015; 1:31-39. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23092671> (rus).
19. *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).
20. SP 486.1311500.2020. Fire protection systems. List of buildings, structures, premises and equipment to be protected by automatic fire extinguishing installations and fire alarm systems. URL: www.standards.ru (rus).
21. 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).
22. GOST R 56177–2014. Door closing devices (door closers). Specifications. (rus).

Поступила 24.01.2023, после доработки 20.02.2023;
принята к публикации 06.03.2023

Received January 24, 2023; Received in revised form February 20, 2023;

Accepted March 6, 2023

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

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.

Information about the author

Andrey V. PEKHOTIKOV, 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

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 A. 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.