https://doi.org/10.22227/PVB.2021.30.01.32-41
УДК 05.614.849
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

Экраны вокруг проемов в перекрытиях общественных зданий

© **В.И. Присадков, Д.В. Ушаков, А.А. Абашкин, А.С. Зуева** ✉

Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

АННОТАЦИЯ

Введение. В многосветных помещениях зданий широко используются экраны, устанавливаемые вокруг проемов в перекрытиях для предотвращения распространения опасных факторов пожара на вышерасположенные этажи и для повышения эффективности системы противодымной вентиляции. В статье рассмотрены вопросы целесообразности установки экранов вокруг проемов перекрытия, определения требуемой высоты экранов. Целью настоящей статьи является количественный анализ работы экранов по предотвращению распространения опасных факторов пожаров для установления общих закономерностей в многоуровневом связанном пространстве и разработки предложения по использованию экранов в общественных зданиях. Предложено высоту экранов определять на основе решения компромиссной задачи: введение экранов уменьшает допустимое время эвакуации с этажа здания с экранами и расширяет диапазон времени эвакуации с верхних этажей здания.

Алгоритм выбора рациональной высоты экранов. Предложен следующий алгоритм двухэтапного выбора рационального варианта высоты экранов. На первом этапе решается задача эвакуации. В результате для эвакуационных выходов определяются времена завершения эвакуации. Далее для выбранного типа системы оповещения объекта вычисляются допустимые значения необходимого времени эвакуации, времени блокирования эвакуационных выходов с этажей.

На втором этапе решается задача оценки динамики опасных факторов пожара в помещениях здания для различных значений высоты экрана. В результате устанавливается рациональная высота экранов, при которой доступное время эвакуации остается положительным.

Выводы. Нельзя заранее назначить высоту экранов. В каждом случае необходим индивидуальный подход, основанный на решении задач эвакуации и динамики опасных факторов пожара в зданиях с многосветными пространствами. Все это соответствует концепции гибкого нормирования систем противопожарной защиты объектов.

Ключевые слова: многосветные помещения; противодымная вентиляция; требуемая высота экрана; перетекание дыма через экран; опасные факторы пожара

Для цитирования: *Присадков В.И., Ушаков Д.В., Абашкин А.А., Зуева А.С.* Экраны вокруг проемов в перекрытиях общественных зданий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 32–41. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.32-41

✉ *Зуева Анна Станиславовна*, e-mail: dawork18@gmail.com

Screens surrounding openings in floor slabs of public buildings

© **Vladimir I. Prisadkov, Dmitriy V. Ushakov, Aleksandr A. Abashkin, Anna S. Zueva** ✉

All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (VNIIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Screens often surround openings in the floor slabs of atrium buildings to prevent the spread of fire hazards to higher floors and to improve the efficiency of smoke ventilation systems. In this article, the co-authors assess the expediency of installing screens around openings in the floor slabs and identify the best screen height values. In this article, the co-authors perform a quantitative analysis of the ability of screens to prevent the propagation of hazardous fire factors, to identify general regularities typical for a multi-level space, and to develop recommendations for the installation of screens inside public buildings. The co-authors suggest that screen height should be a solution to the following tradeoff problem: the use of screens reduces acceptable evacuation time for the floor that has screens installed and rises the evacuation time for higher floors.

Rational screen height selection algorithm. The co-authors propose the following algorithm for the two-stage selection of the rational screen height. At the first stage, the evacuation problem is resolved. As a result, evacuation completion time is determined for emergency exits. Further, acceptable evacuation time and the time needed to block emergency floor exits are identified for a particular type of a fire alarm system.

At the second stage, the dynamics of hazardous fire factors in building rooms is assessed for various screen heights. As a result, the rational height of screens is established for the evacuation time to remain positive.
Conclusions. Screen height values cannot be determined in advance. Each case requires an individual approach that entails the resolution of evacuation problems and the tracking of the dynamics of hazardous fire factors in buildings that have multi-height spaces. These ideas are in line with the concept of flexible regulation of fire protection systems designated for construction facilities.

Keywords: atriums; smoke ventilation; required screen height; smoke penetration through the screen; fire hazards

For citation: Prisadkov V.I., Ushakov D.V., Abashkin A.A., Zueva A.S. Screens surrounding openings in floor slabs of public buildings. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(1):32-41. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.32-41 (rus).

✉ *Anna Stanislavovna Zueva*, e-mail: dawork18@gmail.com

Введение

При проектировании противопожарной защиты многосветных пространств в общественных зданиях часто применяются экраны, устанавливаемые снизу по периметру проемов в перекрытиях. Экраны могут быть стационарными или выполненными в виде штор, занавесов, оборудованных автоматически и/или дистанционно управляемыми приводами (без термоэлементов) для их опускания при пожаре[1, 2].

Экраны, отбортовки, шторы, противопожарные занавесы (далее — экраны) обеспечивают конструктивное препятствие распространению дыма в подпотолочном пространстве через проем, соединяющий помещение очага пожара с пространством атриума.

В статье рассмотрены вопросы устройства и нормирования высоты вертикальных экранов в многосветных пространствах (атриумах).

В научной литературе и нормативных документах по пожарной безопасности недостаточно освещены вопросы обоснования областей применения экранов, выбора основного параметра проектирования — высоты экранов.

На практике требования к устройству и высоте экранов устанавливаются в специальных технических условия на объект на основе ранее принятых типовых решений и после их утверждения становятся обязательными к исполнению. При этом назначаемая высота экранов не имеет строгого количественного обоснования.

Теоретическое обоснование применения экранов для защиты от дыма в помещениях атриумов дано в трудах G.O. Hansell, H.P. Morgan [1]. Авторы показали, что вышедшая в атриум струя дыма увеличивает массовый расход дыма (в поперечном сечении струи) пропорционально высоте подъема струи над уровнем расположения очага пожара вплоть до нижней границы высоты слоя дыма за счет воздуха, вовлекаемого в струю. С целью уменьшения требуемых расходов дыма через вентилятор дымоудаления необходимо предотвратить выход припотолочной струи дыма из помещения очага пожара под галереей атриума в помещении атриума. Для этой цели, во-первых, используются экраны. Во-вторых, установка экранов связана с организацией дымового резервуара под потолком помещения этажа пожара, из которого производится удаление дыма. Расход вентилятора противодымной вентиляции определяется из условия: чистый воздух не должен удаляться вместе с дымом. Этот фактор существенно влияет на высоту экрана, определяя эффективность дымового резервуара [1–3].

Нормативные документы предъявляют следующее требование к экранам: «Противодымные экраны (шторы, занавесы) должны быть оборудованы автоматическими и дистанционно управляемыми приводами (без термоэлементов) (ч. 6, ст. 138 Федерального закона № 123-ФЗ). Рабочая длина выпуска таких экранов должна быть не менее толщины образующегося при пожаре в помещении дымового слоя. Согласно Федеральному закону № 123-ФЗ, основа рабочих полотен противодымных экранов должна выполняться из негорючих материалов».

В настоящее время отсутствует утвержденная методика расчета толщины припотолочного слоя горячих газов и дыма от факела пламени на начальной стадии пожара. В связи с чем возникают трудности не только в определении необходимой высоты экрана, но и в более широком смысле — в подтверждении необходимости устройства экранов, как потенциального сильного фактора повышения пожарной безопасности зданий с многосветными пространствами. Влияние высоты экрана на необходимое время эвакуации позволяет обоснованно выбрать противопожарные мероприятия с учетом экономических затрат на устройство экранов, на устанавливаемые вентиляторы противодымной вентиляции[3] [4–6].

[1] Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 27 декабря 2018 г) : Федеральный закон от 22 июня 2008 г. № 123-ФЗ; принят Государственной Думой 4 июля 2008 г.; одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г.

[2] Противопожарные и дымозащитные шторы : рекомендации для проектных, строительных организаций и органов ГПН. М. : ООО «СТЦ ДОРМАСТЕР», 2014.

[3] NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2005.

Ниже на основе аналитического подхода и численного анализа примера общественного здания с проемом в перекрытии будут рассмотрены вопросы, связанные с проектированием экранов на основе расчетного обоснования.

Целью настоящей статьи является количественный анализ работы экранов по предотвращению распространения опасных факторов пожара (ОФП) для установления общих закономерностей в многоуровневом связанном пространстве и разработки предложений по использованию экранов в общественных зданиях.

Объект моделирования

Рассматривается двухэтажное общественное здание (офисное, торговое, физкультурно-оздоровительный комплекс) (рис 1). Размеры двухэтажного здания в плане составляют 60 × 20 м. Высота каждого из этажей равна 4 м. Проем в перекрытии первого этажа равен 12 × 8 м и используется для устройства открытой лестницы. Площадь этажей здания (залов):

- первого этажа — 1200 м^2;
- второго этажа — 1100 м^2.

Общее количество людей в помещении здания — 767 чел.

Количество человек на первом этаже составляет 400 чел., на втором — 367 чел. (см. рис. 1).

В здании предусмотрены три лестничные клетки с выходами непосредственно наружу. Ширина лестничных маршей составляет 1,5 м. Все три лестничные клетки типа Л1 являются также проходными на первом этаже с глубиной входной площадки на первом этаже не менее 1,5 м. В проеме перекрытия устанавливается открытая лестница 2-го типа с шириной маршей 2,5 и 2 × 1,5 м. Автоматическая система пожаротушения в здании не предусмотрена.

С целью чистоты исследования в здании не предусмотрено устройство противодымной вентиляции.

Для моделирования распространения продуктов горения здания используется полевой метод моделирования пожаров в помещениях.

В силу турбулентности припотолочного слоя дыма, расходящегося под потолком от очага пожара, лишь приближенно можно говорить о толщине слоя и плоскости границы, разделяющей слой дыма и газов от незадымленного воздуха. В результате, некое, относительное небольшое количество дыма и газов может перетекать через экран, даже если толщина слоя дыма меньше высоты экрана.

Выбирается следующий сценарий пожара.

Пожар возникает на уровне пола в помещении торгового центра, расположенном на первом этаже (рис. 2). Месторасположение очага пожара определяет блокирование эвакуационного выхода В1 и способствует быстрому распространению ОФП с последующим блокированием эвакуационных выходов В2 – В7.

От первичного очага пламя распространяется по расположенным в непосредственной близости горючим материалам, а ОФП — через проем в перекрытии открытой лестницы.

Аналитические оценки времени начала перетекания дыма через экран

Выведем приближенные аналитические оценки моментов времени начала перетекания дыма через экран на верхний уровень здания, используя исследования научной группы под руководством И.К. Чао [7]. При этом теплообмен припотолочного слоя нагретого дыма и газов с ограждающими конструкциями не учитывается, и перетекание дыма через проем в перекрытии не происходит.

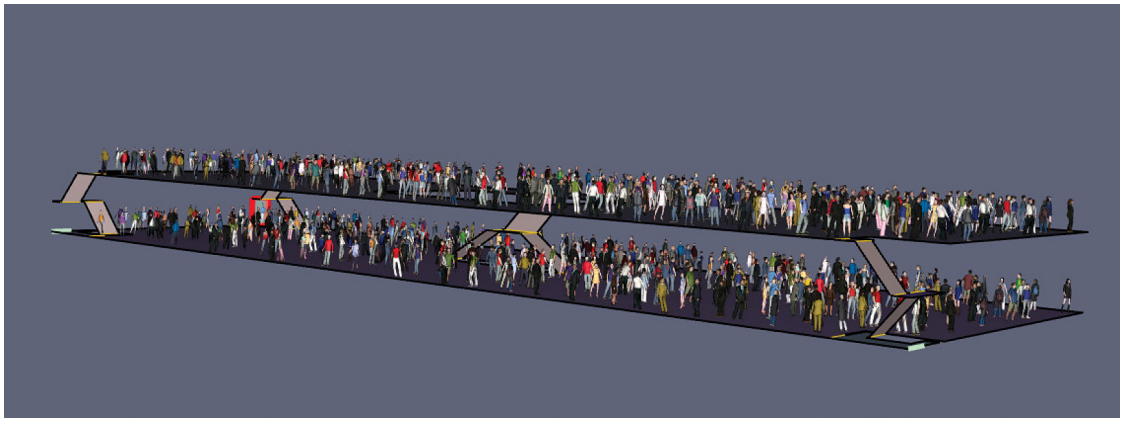
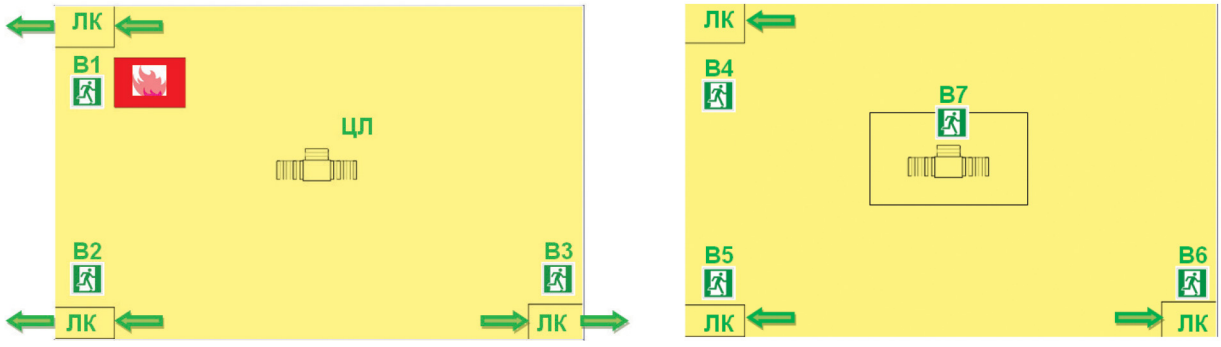


Рис. 1. Общее количество людей в помещении здания
Fig. 1. The total number of people inside the building



a *b*

Рис. 2. Структура здания: *a* — первый этаж; *b* — второй этаж; ЛК — лестничная клетка; ЦЛ — центральная лестница; В1–В3 — эвакуационные выходы с этажа через лестничную клетку наружу; В4–В6 — эвакуационные выходы с этажа на лестничную клетку, В7 — эвакуационный выход на открытую лестницу

Fig. 2. The structural arrangement of the building: *a* — ground floor; *b* — first floor; SC — staircase; CS — central stairway; B1–B3 — ultimate emergency floor staircase exits; B4–B6 — emergency exits to the staircase, B7 — emergency exit to the open stairway

На основе двухзональной модели получена следующая оценка высоты Z незадымленной зоны на первом уровне здания [7] (рис. 3).

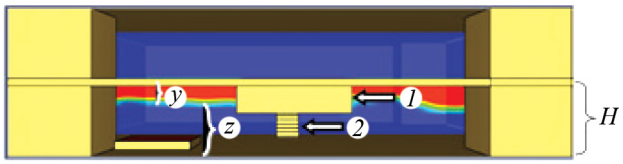


Рис. 3. Двухзональная модель пожара: *1* — экран; *2* — открытая лестница; H — высота этажа; Z — высота незадымляемой зоны; y — толщина слоя дыма

Fig. 3. Bizonal fire model: *1* — screen; *2* — open stairway; H — floor-to-floor height; Z — smoke-free zone height; y — smoke layer thickness

$$Z = \left[0{,}075 \left(\frac{ag}{\rho_0 C_p T_0 A^3} \right)^{\frac{1}{3}} t^{\frac{5}{3}} + H^{-\frac{2}{3}} \right]^{-\frac{3}{2}}, \qquad (1)$$

где a — коэффициент тепловой мощности очага пожара, $a = 0{,}0225$ кВт/с^2;

$$Q = at^2, \qquad (2)$$

t — время, прошедшее с момента возникновения пожара, с;

ρ_0 — плотность воздуха при нормальных условиях, $\rho_0 = 1{,}2$ кг/м^3;

T_0 — температура воздуха при нормальных условиях, $T_0 = 293$ К;

g — ускорение свободного падения, $g = 9{,}8$ м/с^2;

H — высота помещения, $H = 4$ м;

C_p — изобарическая теплоемкость воздуха, $C_p = 1$ кДж/кг;

A — площадь помещения, м^2.

Толщина слоя дыма в помещении y равна:

$$y = H - Z. \qquad (3)$$

Подставляя вышеуказанные параметры в формулу, получим:

при $t = 100$ с — $y = 0{,}005$ м;
$t = 200$ с — $y = 0{,}38$ м;
$t = 300$ с — $y = 0{,}88$ м.

Из формул (1), (3) определим время начала перетекания струи дыма через экран высотой h:

$$t = 4{,}76 A^{\frac{3}{5}} \left((H-h)^{-\frac{2}{3}} - H^{-\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{5}} \left(\frac{\rho_0 C_p T_0}{ag} \right)^{\frac{1}{5}}. \qquad (4)$$

Подставим в формулу (4) исходные данные: $H = 4$ м, $h = 0{,}5$ м, $A = 1200$ м^2, $\rho_0 = 1{,}2$ кг/м^3, $C_p = 1$ кДж/кг, $T_0 = 293$ К, $a = 0{,}0225$ кВт/с^2, $g = 9{,}8$ м/с. Получим для высоты экрана 0,5 м:

$$t = 4{,}76 \cdot 1200^{\frac{3}{5}} \left((4 - 0{,}5)^{-\frac{2}{3}} - 4^{-\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{5}} \times$$

$$\times \left(\frac{1{,}2 \cdot 1 \cdot 293}{0{,}025 \cdot 9{,}8} \right)^{\frac{1}{5}} = 185 \text{ с}.$$

Результаты полевого моделирования процесса перетекания струи дыма через экран

Более детальные данные по распространению опасных факторов пожара через проемы в перекрытиях, блокированию эвакуационных выходов можно получить, используя полевое моделирование пожара по Методике определения расчетных величин

пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности (далее — Методика)[4], а также результаты работ [8–10].

На рис. 4 показаны характерные картины распространения опасных факторов пожара для стадии развитого перетекания струи из помещения с проемом при различных высотах экранов. Представлены результаты для ведущего фактора пожарной опасности — потери видимости.

[4] Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности (с изменениями на 2 декабря 2015 г.) : утверждена приказом МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382.

Представленные данные показывают, что перетекание дыма в помещении верхнего этажа происходит по всему периметру проема.

Важным показателем эффективности устройства экранов является время блокирования ОФП открытой лестницы, установленной в проеме перекрытия. Примем за момент блокирования лестницы время появления ОФП в объеме прямоугольного параллелепипеда, ограниченного полом первого этажа, перекрытием второго этажа с площадью основания, равной площади проема (рис. 5).

В табл. 1 представлены оценки времени блокирования эвакуационных выходов из помещений, а также центральной открытой лестницы.

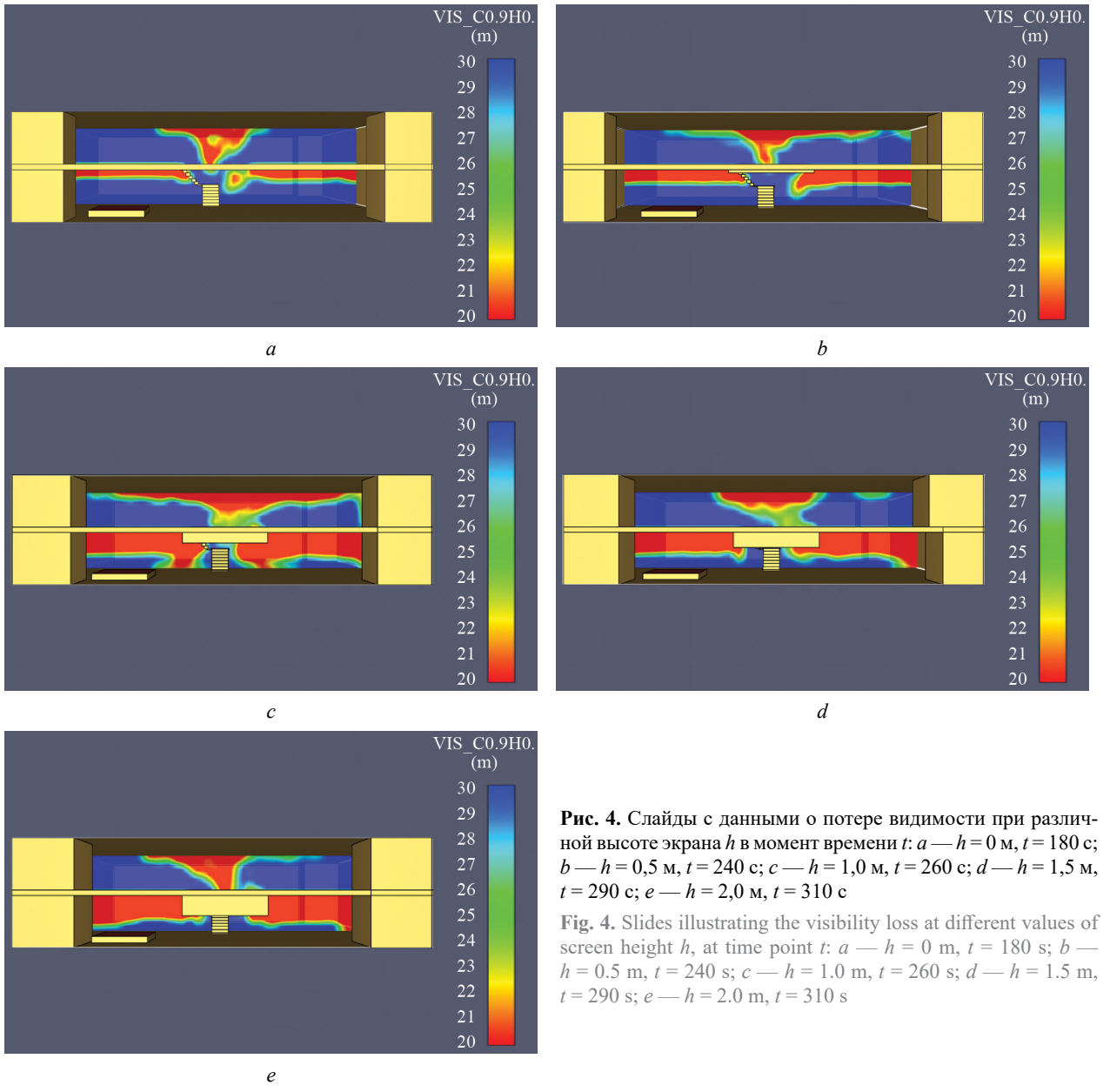


Рис. 4. Слайды с данными о потере видимости при различной высоте экрана h в момент времени t: *a* — $h = 0$ м, $t = 180$ с; *b* — $h = 0{,}5$ м, $t = 240$ с; *c* — $h = 1{,}0$ м, $t = 260$ с; *d* — $h = 1{,}5$ м, $t = 290$ с; *e* — $h = 2{,}0$ м, $t = 310$ с

Fig. 4. Slides illustrating the visibility loss at different values of screen height h, at time point t: *a* — $h = 0$ m, $t = 180$ s; *b* — $h = 0.5$ m, $t = 240$ s; *c* — $h = 1.0$ m, $t = 260$ s; *d* — $h = 1.5$ m, $t = 290$ s; *e* — $h = 2.0$ m, $t = 310$ s

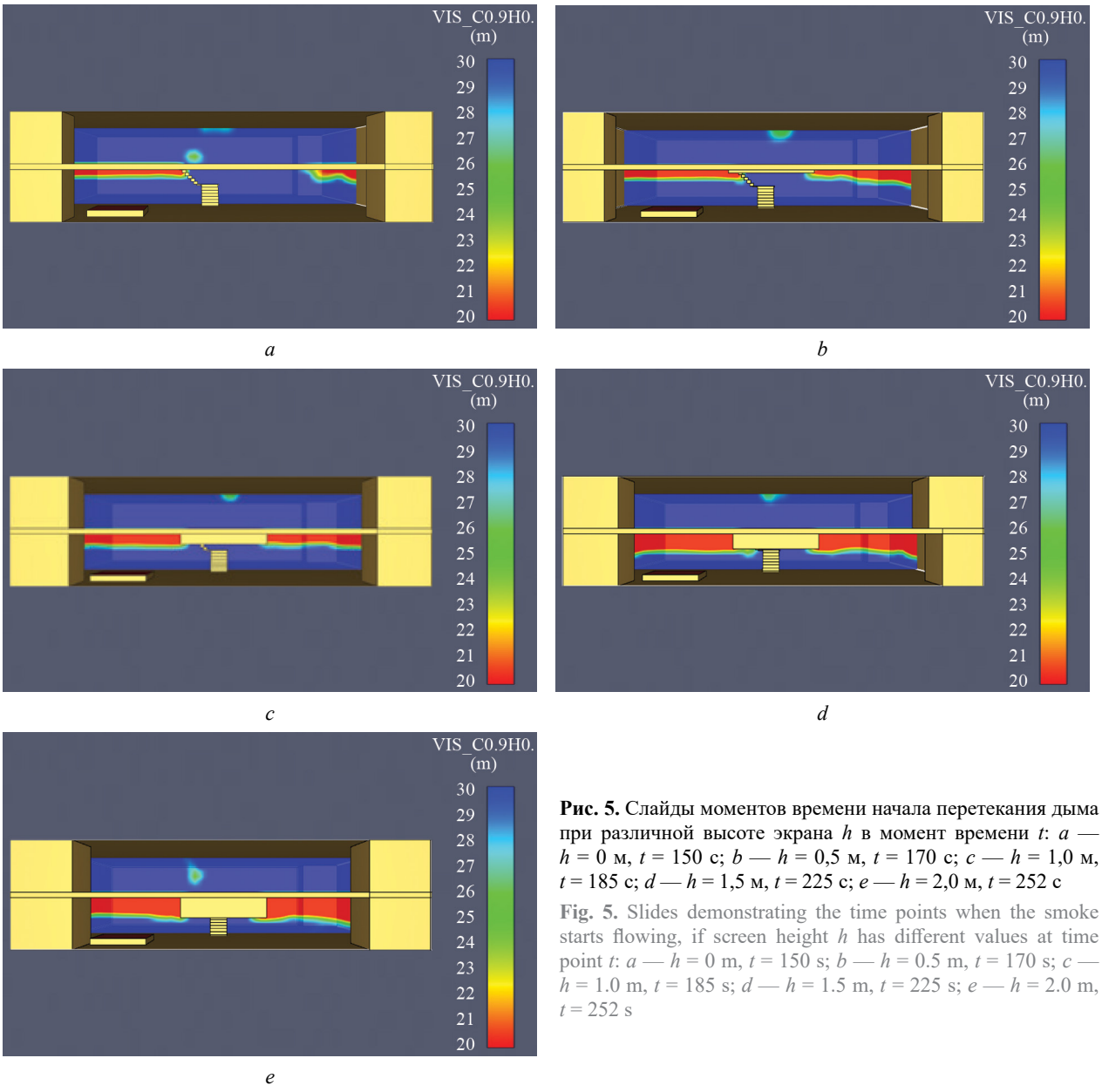


Рис. 5. Слайды моментов времени начала перетекания дыма при различной высоте экрана h в момент времени t: *a* — h = 0 м, t = 150 с; *b* — h = 0,5 м, t = 170 с; *c* — h = 1,0 м, t = 185 с; *d* — h = 1,5 м, t = 225 с; *e* — h = 2,0 м, t = 252 с

Fig. 5. Slides demonstrating the time points when the smoke starts flowing, if screen height h has different values at time point t: *a* — h = 0 m, t = 150 s; *b* — h = 0.5 m, t = 170 s; *c* — h = 1.0 m, t = 185 s; *d* — h = 1.5 m, t = 225 s; *e* — h = 2.0 m, t = 252 s

Таблица 1. Влияние высоты экрана на характеристики системы

Table 1. The influence of the screen height on the system characteristics

Высота экрана, h, м Screen height h, m	Время блокирования ОФП центральной открытой лестницы В7, с Time sufficient for the blocking of hazardous fire factors on central stairway V7, s	Время блокирования эвакуационных выходов, с Emergency exit blocking time, s					
		B1 / V1	B2 / V2	B3 / V3	B4 / V4	B5 / V5	B6 / V6
0	150	Блокирован Blocked	280	190	Блокирован Blocked	285	250
0,5	170		270	200		320	275
1	185		265	190		320	310
1,5	225		250	180		360	345
2,0	252		250	180		365	370

В табл. 2 приведены параметры процесса эвакуации людей со второго и первого этажей здания.

Таблица 2. Время завершения эвакуации в характерных точках на путях эвакуации

Table 2. Evacuation completion time at characteristic points of the evacuation route

В1 V1	В2 V2	В3 V3	В4 V4	В5 V5	В6 V6	Центральная лестница, В7 Central stairway V7
Блокирован Blocked	137	136	Блокирован Blocked	97	107	35

Максимальное уменьшение доступного времени эвакуации [11–14] для выходов из первого этажа:

$$t = t_{бл} - t_{эв}, \quad (5)$$

где $t_{бл}$ — время от момента возникновения пожара до момента блокирования ОФП путей эвакуации, с, (ASET)[5];

$t_{эв}$ — время от момента возникновения пожара до завершения эвакуации, с, составляет до 30 с.

При этом доступное время эвакуации со второго этажа может возрастать за счет устройства экрана до 120 с.

Анализ результатов моделирования

1. Установка экранов на этаже вокруг проемов в перекрытиях увеличивает доступное для эвакуации время с верхних этажей, но сокращает безопасное время эвакуации для этажа с экранами, что согласуется с данными[5] [12].

2. Особенности объемно-планировочных и конструктивных решений здания могут усиливать вышеуказанный отрицательный фактор установки экранов. Например, наличие проходных лестничных клеток для эвакуации с первого этажа здания может приводить к тому, что время эвакуации из зальных помещений первого этажа превысит время эвакуации из помещений второго этажа, согласно Методике [8].

3. На время блокирования ОФП эвакуационных выходов влияет не только высота экрана, но и мощность, динамика и месторасположение очага пожара на этаже [15].

4. Относительное изменение времени блокирования эвакуационных выходов на втором этаже выше, чем на первом этаже.

[5] BS 7974. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — code of practice. UK : British Standard Institution, 2001.

Алгоритм выбора рациональной высоты экранов

Критерии целесообразности использования экрана можно записать в виде (для объекта с проемом в перекрытии для открытой лестницы):

$$t_{бл} > t_р + t_{нэ}, \quad (6)$$

где $t_р$ — расчетное время эвакуации, с;

$t_{нэ}$ — время начала эвакуации, с.

Таким образом, предлагается следующая методика двухэтапного выбора рационального варианта высоты экранов.

На первом этапе решается задача эвакуации. В результате для эвакуационных выходов определяется время завершения эвакуации $t_{рi}$ (где i — номер эвакуационного выхода, $i = 1 \ldots N$, где N — число рассматриваемых в работе выходов). Далее для выбранного типа системы оповещения объекта, согласно Методике и [8], определяются допустимые значения необходимого времени эвакуации, времени блокирования i-го эвакуационного выхода с этажа.

На втором этапе решается задача оценки динамики ОФП в помещениях здания для различных значений высоты экрана h. В результате выбирается рациональная высота экранов, при которой выполняется критерий (6).

Выводы

1. Установка экранов под перекрытиями с проемами на этажах общественных зданий позволяет решить ряд задач по обеспечению безопасной эвакуации людей при пожаре из здания:

- расширить диапазон времени для эвакуации по открытым лестницам в проемах перекрытий с верхних этажей здания;
- повысить эффективность противодымной вентиляции с этажей здания путем создания резервуаров дыма.

2. При установке экранов уменьшается необходимое время эвакуации (время блокирования эвакуационных выходов) с этажей здания, оборудованных экранами.

3. Вопросы целесообразности установки и выбора рациональной высоты экрана должны определяться на основе совместного решения задачи эвакуации и динамики ОФП в многосветном пространстве.

4. При решении вопроса установки экранов и выбора их высоты необходимо обеспечивать условие:

$$t_{нэ} + t_р < t_{бл},$$

как для места установки открытой лестницы в проеме, так и для эвакуационных выходов в здании с этажей многосветного пространства.

5. Предложено решение вопросов по установке экранов проводить в два этапа:

- при принятых объемно-планировочных решениях здания решается задача эвакуации, в результате которой определяются времена использования эвакуационных выходов;
- на основе полевого моделирования устанавливается целесообразность применения экранов и их высота, при которой выполняется критерий (6).

В случае невозможности выполнения критерия (6) по всем эвакуационным выходам с этажей здания установка экранов в рассматриваемой части здания нецелесообразна.

6. Рассмотренный пример показывает многофакторность принятия обоснованного решения по устройству экранов даже для относительно простого по объемно-планировочным решениям здания.

7. Сложно выработать надежное решение для многофункциональных зданий в рамках задачи синтеза параметров экранов вокруг проемов в перекрытиях, так как решение принимается оператором, анализирующим динамику ОФП на экране. При этом возникает вопрос о достоверности оценок, тем более, что на экране оператор работает с разрезами. По-видимому, в случае с весьма сложными зданиями можно говорить только о задаче анализа ОФП в здании с определенными параметрами экранов.

8. Нельзя заранее назначить высоту экранов. В каждом случае необходим индивидуальный подход, основанный на решении задач эвакуации и динамики ОФП в зданиях с многосветными пространствами. Все это соответствует концепции гибкого нормирования систем противопожарной защиты объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hansell G.O., Morgan H.P.* Design approaches for smoke control in atrium buildings : (BR 258) Building Research Establishment Report S. Borehamwood Herts, 1994. P. 57.
2. *Acherar L., Hui-Ying Wang, Garo J.-P., Coudour B.* Impact of air intake position on fire dynamics in mechanically ventilated compartment // Fire Safety Journal. 2020. Vol. 118. P. 103210. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103210
3. *McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk C., Overholt K.* Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Vol. 3: Validation. National Institute of Standards and Technology, 2015.
4. *Van Coile R., Jomaas G., Bisby L.* Defining ALARP for fire safety engineering design VIA the life quality index // Fire Safety Journal. 2019. Vol. 107. Pp. 1–14. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.04.015
5. *Schadschneider A., Klingsch W., Kluepfel H., Kretz T., Rogsch C., Seyfried A.* Evacuation dynamics: Empirical results, modeling and applications // Encyclopedia of complexity and system science. Springer, New York, 2009. Pp. 3142–3176. DOI: 10.1007/978-0-387-30440-3_187
6. *Присадков В.И., Муслакова С.В., Костерин И.В., Фадеев В.Е., Шамаев А.М.* Инженерный метод выбора рационального варианта противопожарной защиты объектов с экономической ответственностью // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. № 8. С. 49–57. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.49-57
7. *Chow W.K., Fong N.K., Cui E., Ho P.W., Wong L.T.* PolyU/USTC atrium: a full-scale burning facility-preliminary experiments // Journal of Applied Fire Science. 1998. Vol. 8. No. 3. Pp. 229–241.
8. *Холщевников В.В., Самошин Д.А., Парфененко А.П., Кудрин И.С., Истратов Р.Н., Белосохов И.Р.* Эвакуация и поведение людей при пожарах. М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. С. 212.
9. *Heskestand G.* Fire plumes, flame height, and air entrainment // Handbook of Protection Engineering. 3rd Edition. Chapter 1. Springer, New York, 2016. Pp. 2–1, 2–17. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_13
10. *Purser D.A.* Combustion toxicity // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th ed. Society of Fire Protection Engineers, 2016. P. 3493.
11. *Schröder B., Arnold L., Seyfried A.* A map representation of the ASET-RSET concept // Fire Safety Journal. 2020. Vol. 115. P. 103154. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103154
12. *Alpert R.L.* Ceiling jet flows // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 3rd ed. Chapter 2. 2002. Pp. 2–18, 2–31.
13. *Lovreglio R., Kuligowski E., Gwynne S., Boyce K.* A pre-evacuation database for use in egress simulations // Fire Safety Journal. 2019. Vol. 105. Pp. 107–128. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.12.009

14. *Schröder B.* Multivariate methods for life safety analysis in case of fire : Ph.D. thesis. Universitatsbibliothek Wuppertal, 2017. 245 p.
15. *Холщевников В.В., Присадков В.И., Костерин И.В*. Совершенствование методологии определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях на основе стохастического описания определяющих их процессов и деревьев событий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. Т. 26. № 1. С. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17

REFERENCES

1. Hansell G.O., Morgan H.P. *Design approaches for smoke control in atrium buildings : (BR 258) Building Research Establishment Report S*. Borehamwood Herts, 1994; 57.
2. Acherar L., Hui-Ying Wang, Garo J.-P., Coudour B. Impact of air intake position on fire dynamics in mechanically ventilated compartment. *Fire Safety Journal*. 2020; 118:103210. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103210
3. McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk C., Overholt K. *Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Vol. 3: Validation*. National Institute of Standards and Technology, 2015.
4. Van Coile R., Jomaas G., Bisby L. Defining ALARP for fire safety engineering design VIA the life quality index. *Fire Safety Journal*. 2019; 107:1-14. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.04.015
5. Schadschneider A., Klingsch W., Kluepfel H., Kretz T., Rogsch C., Seyfried A. Evacuation dynamics: Empirical results, modeling and applications. *Encyclopedia of complexity and system science*. Springer, New York, 2009; 3142-3176. DOI: 10.1007/978-0-387-30440-3_187
6. Prisadkov V.I., Muslakova S.V., Kosterin I.V., Fadeev V.E., Shamaev A.M. Engineering method of selection of rational variant of fire protection of objects with economic responsibility. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 8:49-57. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.49-57 (rus).
7. Chow W.K., Fong N.K., Cui E., Ho P.W., Wong L.T. Polyu/ustc atrium: a full-scale burning facility-preliminary experiments. *Journal of Applied Fire Science*. 1998; 8(3):229-241.
8. Kholshchevnikov V.V., Samoshin D.A., Parfenenko A.P., Kudrin I.S., Istratov R.N., Belosokhov I.R. *Evacuation and behavior of people during fires*. Moscow, Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2009; 212. (rus).
9. Heskestand G. Fire plumes, flame height, and air entrainment. *Handbook of Protection Engineering*. Third Edition. Chapter 1. Springer, New York, 2016; 2-1,2-17. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_13
10. Purser D.A. Combustion toxicity. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th ed*. Society of Fire Protection Engineers, 2016; 3493.
11. Schröder B., Arnold L., Seyfried A. A map representation of the ASET-RSET concept. *Fire Safety Journal*. 2020; 115:103154. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103154 (rus).
12. *Alpert R.L.* Ceiling jet flows. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 3rd ed. Chapter 2*. 2002; 2-18, 2-31.
13. *Lovreglio R., Kuligowski E., Gwynne S., Boyce K*. A pre-evacuation database for use in egress simulations. *Fire Safety Journal*. 2019; 105:107-128. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.12.009
14. *Schröder B. Multivariate methods for life safety analysis in case of fire* : *Ph.D. thesis*. Universitatsbibliothek Wuppertal, 2017; 245.
15. Kholshchevnikov V.V., Prisadkov V.I., Kosterin I.V. Improvement methodology for de-termining the calculated value of the fire risk in buildings and structures based on stochastic description of determining their processes and trees events. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(1):5-17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17 (rus).

Поступила 30.10.2020, после доработки 14.12.2020;
принята к публикации 28.12.2020
Received October 30, 2020; Received in revised form December 14, 2020;
Accepted December 28, 2020

Информация об авторах

ПРИСАДКОВ Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; РИНЦ ID: 760543; ORCID: 0000-0002-2161-0794; e-mail: vniipo@mail.ru

УШАКОВ Дмитрий Викторович, начальник отдела моделирования пожаров и нестандартного проектирования, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; РИНЦ ID: 751772; ORCID: 0000-0003-2275-296X; e-mail: vniipo@mail.ru

АБАШКИН Александр Анатольевич, заместитель начальника отдела моделирования пожаров и нестандартного проектирования, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-6347-3257; e-mail: vniipo@mail.ru

ЗУЕВА Анна Станиславовна, научный сотрудник отдела пожарной безопасности промышленных объектов, технологий и моделирований техногенных аварий, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-9551-0569; e-mail: dawork18@gmail.com

Information about the authors

Vladimir I. PRISADKOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Leading Researcher, 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, Russia Federation; ID RISC: 760543; ORCID: 0000-0002-2161-0794; e-mail: vniipo@mail.ru

Dmitriy V. USHAKOV, Head of Department of Fire Modeling and Non-Standard Design, 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, Russia Federation; ID RISC: 751772; ORCID: 0000-0003-2275-296X; e-mail: vniipo@mail.ru

Aleksandr A. ABASHKIN, Deputy Head of Department of Fire Modeling and Non-Standard Design, 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, Russia Federation; ORCID: 0000-0002-6347-3257; e-mail: vniipo@mail.ru

Anna S. ZUEVA, Researcher, Department of Fire Safety of Industrial Facilities, Technologies and Modeling of Technogenic Accidents, 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, Russia Federation; ORCID: 0000-0002-9551-0569; e-mail: dawork18@gmail.com