

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022. Т. 31. № 1. С. 77–87
 POZHAROVZRYVBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022; 31(1):77-87

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.841.4

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2022.31.01.77-87>

Распространение пожара из открытой автостоянки, расположенной на первом этаже жилого здания

Ирек Равильевич Хасанов✉, Станислав Анатольевич Зуев,
 Александр Анатольевич Абашкин, Анна Станиславовна Зуева

Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Московская обл., г. Балашиха, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема размещения автостоянок и парковочных мест актуальна во многих крупных городах, что приводит к необходимости оптимизации парковочного пространства. Одним из эффективных путей организации парковок на придомовой территории, помимо встроенных закрытых автостоянок, является устройство открытой парковки в первых этажах многоквартирных жилых домов. В связи с этим для оценки пожарной опасности такого проектного решения необходимо исследовать возможность распространения пожара из открытой автостоянки в первом этаже на вышележащие этажи и разработать обоснованные предложения по внедрению новых и оптимизации существующих противопожарных требований.

Цели и задачи. Целью настоящей работы является изучение особенностей распространения опасных факторов пожара на основе полевого моделирования при горении автомобилей в открытой автостоянке на первом этаже многоквартирного жилого дома и оценка возможности пожаробезопасного размещения таких автостоянок в жилых зданиях.

Методика. Для достижения цели исследования использовалось полевое (CFD) моделирование динамики пожара с использованием компьютерной программы FDS. При моделировании проведены расчеты распространения опасных факторов пожара из открытой автостоянки на 1-м этаже на вышележащие этажи жилого дома.

Результаты и их обсуждение. В результате моделирования развития пожара в автостоянке были получены распределения температур, задымления и тепловых потоков в различные моменты времени. Результаты расчетов позволили оценить эффективность применения различных видов противопожарных барьеров и определить их параметры для выполнения условия нераспространения пожара. В качестве наиболее оптимального решения определено устройство над проемом автостоянки негорючего козырька из огнестойких материалов. По результатам работы предложен комплекс необходимых противопожарных мероприятий, обеспечивающих возможность безопасного размещения открытых автостоянок легковых автомобилей в многоквартирных жилых зданиях.

Выводы. Исследование показало, что обеспечение пожарной безопасности многоквартирных жилых домов при размещении открытых одноуровневых автостоянок легковых автомобилей достигается путем применения огнестойких несущих и ограждающих строительных конструкций здания, использования негорючих материалов для облицовки, отделки фасада здания, а также устройства над проемами автостоянки выступающего из плоскости стены козырька, балкона или галереи.

Ключевые слова: полевое моделирование; опасные факторы пожара; встроенные автостоянки; предотвращение распространения пожара; противопожарные барьеры

Для цитирования: Хасанов И.Р., Зуев С.А., Абашкин А.А., Зуева А.С. Распространение пожара из открытой автостоянки, расположенной на первом этаже жилого здания // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 1. С. 77–87. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.01.77-87

✉ Хасанов Ирек Равильевич, e-mail: irhas@rambler.ru

The spread of fire from an open car park on the ground floor of a residential building

Irek R. Khasanov✉, Stanislav A. Zuev, 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, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The problem of car parks and parking spaces is relevant in many large cities, and it requires the optimization of parking spaces. The arrangement of open car parks on the ground floors of apartment buildings is an effective way to organize car parks in a house in addition to covered parking lots. In this regard, in order to assess the fire hazard of such a design solution, it is necessary to study the spreadability of fire from an open ground floor parking lot to upper floors and develop reasonable proposals for the development of new and optimization of effective fire safety requirements.

Goals and objectives. The goal of this work is to study the spread of fire hazards using the field modeling of the car burning process in an open parking lot on the ground floor of an apartment building and to assess the possibility of the fire safe arrangement of such parking lots in residential buildings.

Method. To achieve the purpose of the study, the field (CFD) modeling of the fire development pattern was performed using FDS computer software. In the course of modeling, the authors analyzed the spread of the fire hazard from an open parking lot, located on the ground floor, to the upper floors of a residential building.

Results and discussion. Temperature distributions, smoke and heat flows at various points in time were obtained as a result of modeling the development of fire in a parking lot. The results of calculations allowed to evaluate the effectiveness of various types of fire barriers and determine their parameters to meet the condition of the non-proliferation of fire. The most optimal solution is a non-combustible visor made of fire-resistant materials and installed above the opening leading to a parking lot. Given the results of the work, a set of necessary fire-fighting actions are proposed to ensure the possibility of arranging open parking lots in residential apartment buildings.

Conclusions. It is shown that the fire safety of residential apartment buildings that have open single-level parking lots is achievable in case of the use of fire-resistant bearing and enclosing building structures, non-combustible materials for cladding, finishing the facade of a building, as well as in the case of making a canopy, a balcony or a gallery above the opening that leads to the parking lot.

Keywords: field modeling; fire hazards; covered parking lots; fire prevention; fire barriers

For citation: Khasanov I.R., Zuev S.A., Abashkin A.A., Zueva A.S. The spread of fire from an open car park on the ground floor of a residential building. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(1): 77-87. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.01.77-87 (rus).

✉ Irek Ravilevich Khasanov, e-mail: irhas@rambler.ru

Введение

В современной жилой застройке остро стоит вопрос размещения автостоянок и парковочных мест. Данная проблема актуальна для многих крупных городов, что приводит к задаче оптимизации парковочного пространства [1–3]. Подземные паркинги позволяют компактно размещать большое количество автомобилей, но при этом требуют значительных затрат на строительство и эксплуатацию в сравнении с открытыми наземными автостоянками. Одним из эффективных путей организации парковок является устройство открытой автостоянки (парковки) в первых этажах многоквартирных жилых домов. Такие паркинги по сравнению с подземными автостоянками проще и экономичнее с точки зрения строительства.

Основные требования строительной и пожарной безопасности для зданий и сооружений к стоянкам автомобилей, в том числе к объемно-планировочным и конструктивным решениям по размещению встроенных автостоянок в другие здания, содержатся в своде правил СП 113.13330.2016 «Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99*»¹. При этом сооружение автостоянки может быть как закрытого типа с наружными сплошными ограждающими

конструкциями, так и открытого типа, в которой проемы на каждом ярусе (этаже) составляют не менее 50 % площади внешней поверхности наружных ограждений.

В своде правил СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям»² указано, что автостоянки легковых автомобилей допускается встраивать в здания других классов функциональной пожарной опасности (за исключением зданий классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф4.1) I и II степеней огнестойкости и классов конструктивной пожарной опасности С0 и С1. При этом автостоянки должны иметь степень огнестойкости не менее степени огнестойкости здания, в которое они встраиваются, и отделяться от помещений (этажей) этих зданий противопожарными стенами и перекрытиями 1-го типа. В целях ограничения распространения пожара при встраивании открытых автостоянок в общественные здания следует обеспечить расстояние от проемов автостоянки до низа ближайших вышележащих оконных проемов здания другого назначения не менее 4 м или в радиусе 4 м над проемом, заполнение окон предусмотреть

¹ СП 113.13330.2016. Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99* М.: Минстрой России, 2017. 24 с.

² СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.

противопожарным либо предусмотреть над проемами автостоянки глухой козырек из негорючих материалов шириной не менее 1 м.

Аналогичные требования по отделению встроенных в здания парковок противопожарными преградами существуют в большинстве зарубежных стран. Так, согласно требованиям международного строительного кодекса International Building Code (IBC 2018), в многоквартирные жилые дома допускается встраивать автостоянки как закрытого, так и открытого типов при условии отделения от жилых этажей огнестойкими перекрытиями, соответствующими степени огнестойкости здания. Для предотвращения распространения пожара в зданиях более трех этажей указанным кодексом предусмотрено устройство наружных противопожарных преград. Так, если окна на вышележащем этаже выполнены не в противопожарном исполнении, то участки от проемов автостоянки до низа оконных проемов должны быть выполнены огнестойкими (междуэтажные пояса) не менее 0,91 м, либо отделены противопожарными барьерами (козырьками, балконами), выступающими по горизонтали не менее чем на 0,76 м.

Как видно из анализа нормативных требований, для предотвращения распространения пожара из открытой автостоянки по фасаду здания используются междуэтажные огнестойкие пояса или противопожарные козырьки различного конструктивного исполнения и размеров. Для оценки возможности пожаробезопасного размещения открытой автостоянки в первых этажах жилых многоквартирных домов целесообразно проводить исследования по моделированию пожаров при возгорании автомобилей, определять количественные характеристики опасных факторов пожара (ОФП) и оценивать их воздействие на вышерасположенные этажи здания.

Для моделирования распространения пожара по наружным строительным конструкциям используются математические модели различной сложности, например [4–7]. В работе [8] рассмотрены различные сценарии и теоретические модели распространения пожара по внешней поверхности здания. Отмечено, что численное моделирование актуально при исследовании параметров продуктов горения с учетом геометрии фасада здания и возможности перехода пожара на вышележащий этаж.

В настоящее время наиболее информативным и универсальным инструментом моделирования распространения ОФП является полевое (CFD) моделирование динамики пожара, основанное на решении системы дифференциальных уравнений Навье – Стокса, описывающих физико-химические явления при пожаре [9–11]. Для практического применения широкое распространение получил компьютерный код FDS [12], который также использовался в ряде

работ при исследовании распространения огня по наружным конструкциям здания и для сравнения экспериментальных и численных данных [13–16]. Так, в [13] представлены результаты экспериментальных и численных исследований воздействия пожара на фасад здания. Показано, что наиболее пожароопасная критическая зона на фасаде расположена над рассматриваемым проемом размером 1 м на 1,5 м, при этом наблюдались значения температуры до 500 °С.

Влияние геометрии фасадов и противопожарных барьеров на вертикальное распространение продуктов горения из оконного проема вдоль наружного фасада изучалось в работах [17–20]. В работе [17] представлены результаты полевого моделирования распространения огня по негорючим фасадам различной геометрической конфигурации. Результаты моделирования показали, что наряду с характеристиками пожарной опасности строительных конструкций конфигурация фасада также оказывает существенное влияние на температуру и ее распределение над горящим проемом офисного помещения. Численное моделирование влияния характеристик балконов на распространение ОФП на вышележащие этажи представлено в [18–20].

Проведенные исследования касались только развития пожаров в помещениях жилых и офисных зданий. Распространение ОФП на вышележащие этажи при пожаре автомобилей в открытой автостоянке, расположенной в зданиях, не рассматривалось. Таким образом, актуальной задачей является исследование возможности распространения пожара из открытой автостоянки в первом этаже жилых зданий и разработка обоснованных предложений по оптимизации противопожарных требований.

Цель настоящего исследования — на основе полевого моделирования изучить особенности распространения ОФП при горении автомобилей в открытой автостоянке, расположенной на первом этаже многоквартирного жилого дома, и оценить возможности пожаробезопасного размещения таких автостоянок в жилых зданиях.

Методика исследования

Полевое моделирование динамики развития и распространения пожара в открытой автостоянке по наружным конструкциям жилого здания проводилось при помощи компьютерной программы FDS в оболочке PyroSim [12]. FDS использует математическую модель на основе дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих пространственно-временное распределение температуры и скоростей газовой среды, концентраций компонентов газовой среды (кислорода, продуктов горения и т.д.), давлений и плотностей [21].

Основные уравнения FDS решались на прямоугольной сетке. На всех твердых поверхностях задавались тепловые граничные условия и данные о горючести материала. Тепломассоперенос с поверхности и обратно рассчитывался с помощью эмпирических соотношений. При выполнении численного моделирования передача тепла и массы вычисляется напрямую. Для численной аппроксимации дифференциальных уравнений тепломассообмена применялся метод конечных разностей на регулярных сетках по вычислительной явной схеме «предиктор-корректор» второго порядка точности по координатам и времени.

На характер вертикального распространения пожара по фасаду здания влияют как конструктивные особенности и пожарная опасность строительных конструкций здания с внешней стороны (фасадов), так и параметры возникшего пожара [6]. В связи с этим важным является оценка характеристик горения автомобиля при выборе сценария развития пожара.

Анализ экспериментальных исследований [22–24] показал, что при горении различных типов легковых автомобилей общая мощность пожара составляла от 2 до 5 МВт. Перенос огня между горящим и рядом стоящими автомобилями наблюдается через промежутки времени от 5 до 20 мин. Следовательно, максимальная величина тепловыделения при выборе сценария пожара может приниматься как при горении одного автомобиля. Вместе с тем, для оценки возможных наихудших последствий пожара, как правило, используется критерий выбора наиболее неблагоприятных сценариев возникновения и развития пожара, характеризующихся максимальной опасностью для жизни людей и материальным ущербом. Исходя из этого, в данном исследовании в качестве предельного случая реализовывался сценарий одновременного возгорания двух автомобилей. Расчет динамики ОФП осуществлялся вплоть до времени выхода пожара на стационарный режим горения (полный охват пламенем двух автомобилей) с максимальным тепловыделением.

При подготовке исходных данных для моделирования применялись положения Приложения 6 «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности»³. При проведении исследований рассматривались три основных вида развития пожара: круговое и линейное распространение пожара по твердой горючей нагрузке и неустойчивое горение горючей жидкости. В качестве параметров горючей нагрузки автомобиля при проведении численных расчетов исполь-

зовались данные [25] и пособия⁴: низшая рабочая теплота сгорания 31,7 МДж/кг; линейная скорость распространения пламени 0,0068 м/с; удельная скорость выгорания 0,0233 кг/(м²с); удельное дымовыделение 487 Нп м²/кг; удельное выделение диоксида углерода 1,295 кг/кг; удельное выделение оксида углерода 0,097 кг/кг; удельное потребление кислорода 2,64 кг/кг.

В качестве объекта защиты, на котором проводилось моделирование, рассмотрен фрагмент жилого дома со встроенной открытой автостоянкой на первом этаже. Строительные конструкции здания в этаже автостоянки, а также перекрытие и наружные стены фасада жилого здания выполнены из негорючих материалов с нормируемыми пределами огнестойкости. Высота этажей принята равной 3 м. Проемы этажа автостоянки принимались открытыми со всех сторон. Размеры оконного проема жилого помещения — 3 × 1,5 м, ширина противопожарного междуэтажного пояса при моделировании принималась от 1,2 до 3,5 м. Горючая нагрузка каждого автомобиля аппроксимировалась поверхностью параллелепипеда размерами 5 × 1,75 × 1,0 м. В соответствии с расчетным сценарием, после возгорания и развития пожара автомобилей пламя выходит за пределы наружной стены и воздействует на оконные проемы жилых помещений вышележащего этажа.

Выбор сценария развития пожара определялся наихудшими условиями: принималось, что в момент пожара оконные проемы вышележащего этажа открыты. В качестве критического условия опасности перехода пожара в жилое помещение принималось достижение у окна значения плотности потока $q_{кр} = 12,5 \text{ кВт/м}^2$ или значения температуры 230 °С (самовоспламенение бумажных изделий, штор и занавесок — материалы хлопок, целлюлоза, вискоза), либо блокирование жилого помещения одним из опасных факторов пожара, предусмотренных в «Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».

Результаты и их обсуждение

В результате моделирования развития пожара в автостоянке были получены распределения полей опасных факторов пожара в различные моменты времени. Также рассмотрено влияние на распространение пожара размеров межэтажного пояса от 1,2 до 4 м, ширины противопожарного козырька от 0,25 до 1 м и ветровой нагрузки.

³ Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. 2-е изд. М. : ВНИИПО, 2016. 79 с.

⁴ Абашкин А.А., Карнов А.В., Ушаков Д.В., Фомин М.В., Гилетич А.Н., Комков П.М., Самошин Д.А. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». М. : ВНИИПО, 2014. 226 с.

На рис. 1, 2 представлены характерные моменты результатов моделирования пожара в автостоянке при ширине межуэтажного пояса 1,2 м и отсутствии ветра. На рис. 3 представлен график падающего теплового потока на окно жилого помещения.

Результаты моделирования показали, что при принятых исходных данных возможность распространения пожара из открытой автостоянки на вышележащий жилой этаж достаточно высока. Превышение критических значений температуры у окна жилого помещения наблюдалось на 244 с, превышение критических значений плотности теплового потока — на 350 с, задымление с потерей видимости — на 90 с.

Дальнейшее моделирование показало, что при увеличении ширины межуэтажного пояса вплоть до 4 м возможность перехода пожара на вышележащий жилой этаж также сохраняется, хотя продолжительность времени от начала пожара до достижения критического значения температуры у окна жилого помещения возрастает. Так, при ширине межуэтажного пояса 3,5 м достижение критического значения наблюдалось на 333 с, а при ширине пояса 4 м — на 500 с.

Последующие исследования моделировали комбинации межуэтажного пояса нормативной ширины 1,2 м и противопожарного козырька из негорючих материалов над проемом автостоянки. Ширина козырь-

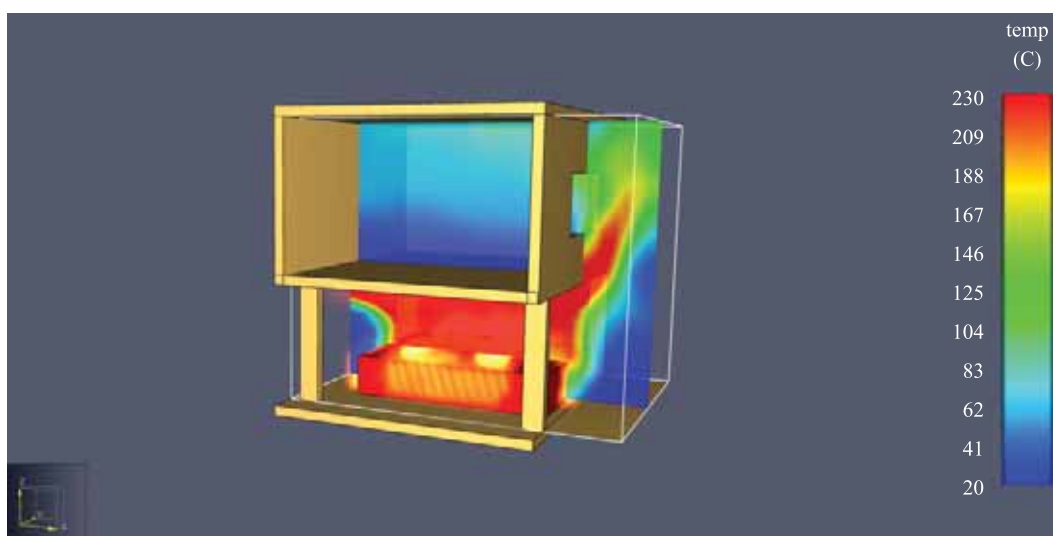


Рис. 1. Поля температур продуктов горения. Время с момента начала возгорания 244 с. Температура у окна достигает критического значения 230 °C

Fig. 1. Temperature fields of combustion products. The time period as of the ignition onset is 244 s. The temperature at the window reaches the critical value of 230 °C

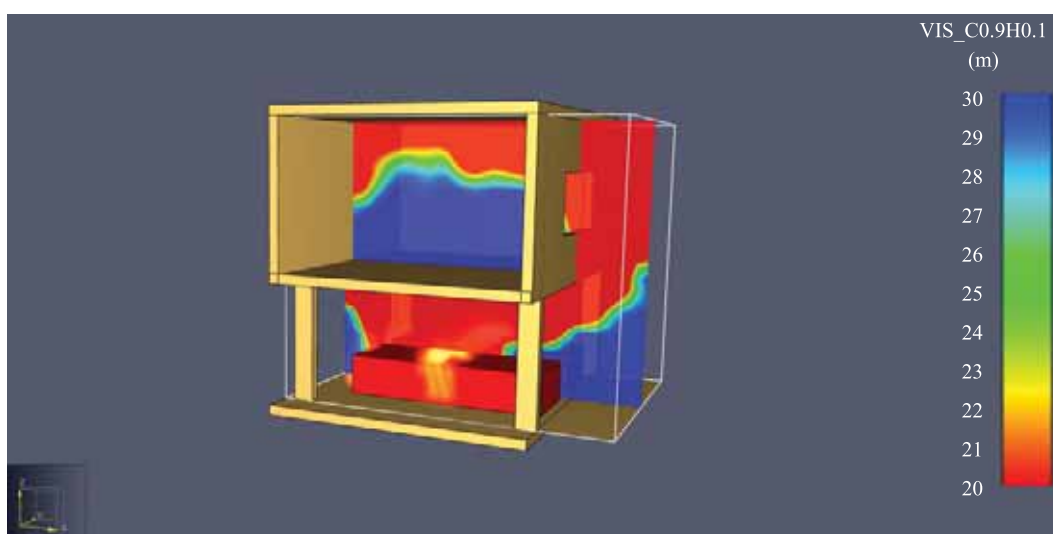


Рис. 2. Поля распространения дыма. Время с момента начала возгорания 90 с. Происходит задымление жилого помещения с потерей видимости

Fig. 2. Smoke spread fields. The time period as of the ignition onset is 90 s. The spread of smoke in the living space is accompanied by the loss of visibility

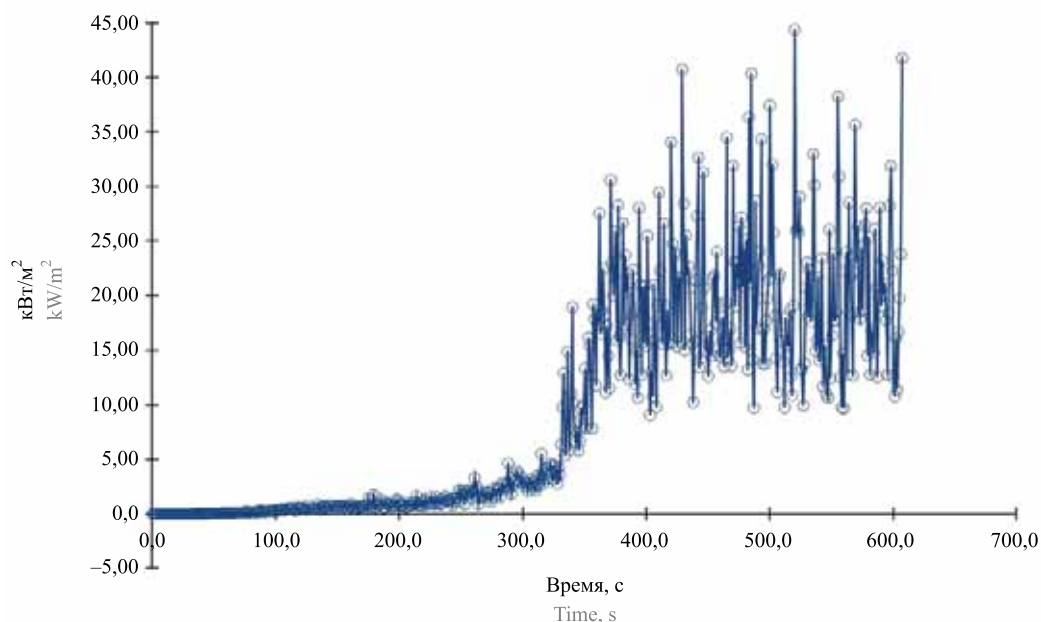


Рис. 3. График теплового потока у окна жилого помещения. Среднее значение теплового потока превышает принятое критическое значение

Fig. 3. Heat flow graph at the window of a dwelling. The average heat flow value exceeds the assumed critical one

ка варьировалась от 0,25 до 1 м. При моделировании также определялись наиболее неблагоприятные воздействия, создаваемые ветровым напором различных скоростей и направлений. Результаты показали, что при ширине козырьков менее 1 м условия нераспространения пожара не выполняются. Так, при ширине козырька 0,25 м и отсутствии ветра достижение критического значения температуры у окна жилого

помещения наблюдалось на 500 с. При ширине козырька 0,5 м и скорости ветра более 1 м/с в направлении от фасада задымление с потерей видимости наблюдалось на 167 с, а превышение температуры у окна — на 500 с.

Наиболее характерные моменты моделирования пожара в автостоянке при ширине козырька 1 м представлены на рис. 4–6.

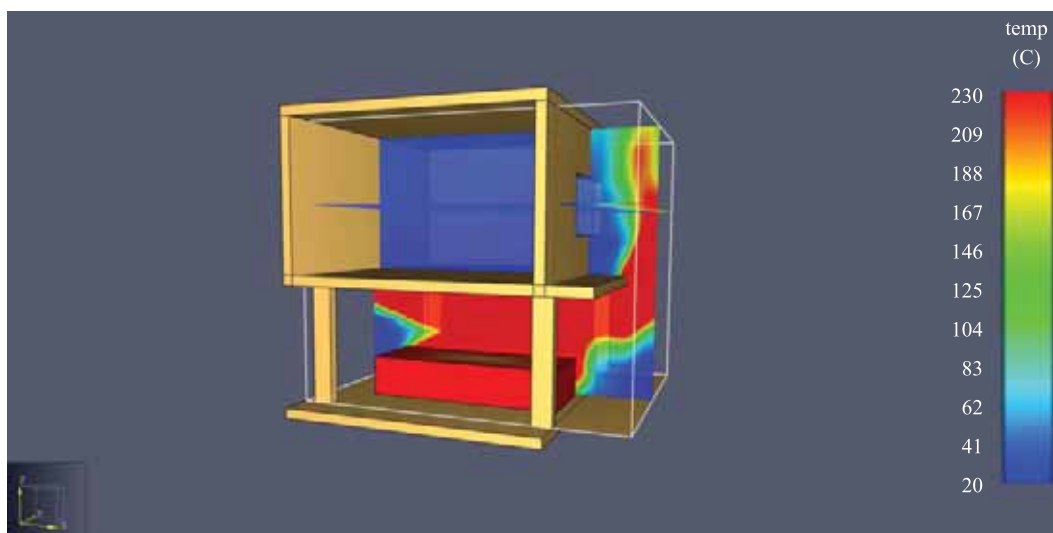


Рис. 4. Поля температур продуктов горения. Время с момента начала возгорания 500 с. Ветер 1 м/с в направлении от фасада. Температура у окна не превышает критического значения 230 °C

Fig. 4. Temperature fields of combustion products. The time period as of the ignition onset is 500 s. The wind velocity is 1 m/s, and it blows in the direction from the facade. The temperature at the window does not exceed the critical value of 230 °C

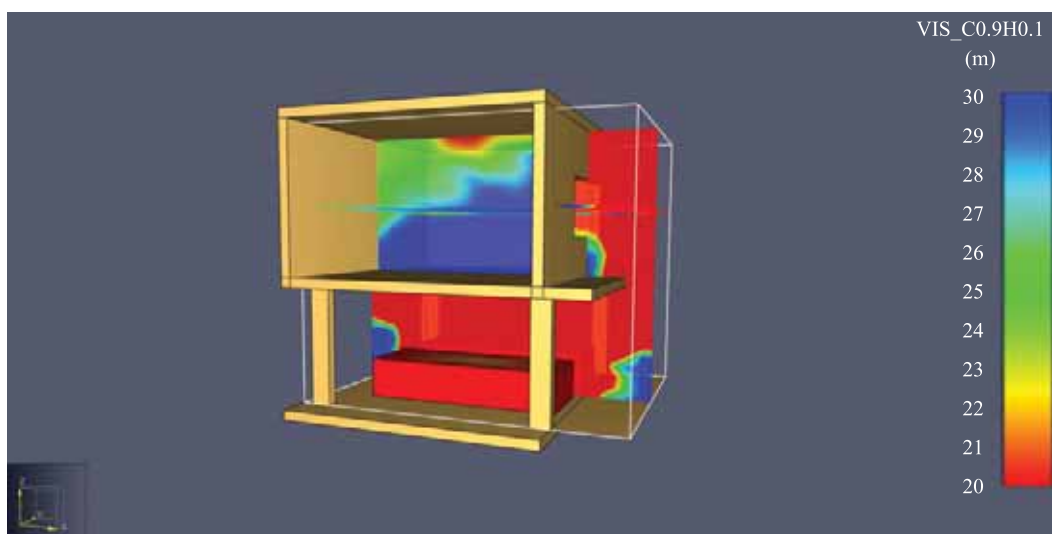


Рис. 5. Поля задымления. Время с момента начала возгорания 500 с. Ветер 1 м/с в направлении от фасада. В помещении наблюдается задымление, однако, без потери видимости

Fig. 5. Smoke spread fields. The time period as of the ignition onset is 500 s. The wind velocity is 1 m/s, and it blows in the direction from the facade. Smoke is observed in the room; however, it is not accompanied by the loss of visibility

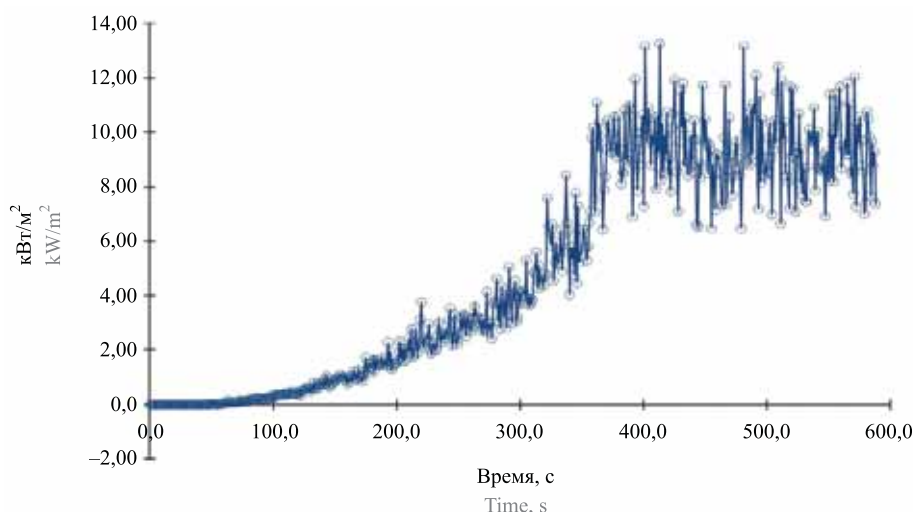


Рис. 6. График теплового потока у окна жилого помещения. Среднее значение теплового потока превышает принятое критическое значение

Fig. 6. Heat flow graph at the window of a dwelling. The average heat flow value exceeds the assumed critical one

Результаты моделирования показали, что при устройстве над проемом открытой автостоянки только противопожарного междуэтажного пояса (от 1,2 до 4 м) возможность распространения пожара на вышележащий жилой этаж достаточно высока. Это, помимо прочего, обусловлено проведением моделирования при открытых окнах жилого помещения, которые по действующим нормативам не могут выполняться не открываемыми, в отличие от помещений других классов функциональной пожарной опасности. Нераспространение пожара в жилые помещения наблюдалось только при устройстве над проемом автостоянки козырька (или иного выступа из наружной стены) из огнестойких материалов шириной не менее 1 м.

Как показали проведенные исследования, многоквартирные жилые здания с размещением открытых одноуровневых автостоянок легковых автомобилей в нижнем этаже следует предусматривать только в зданиях с высокой пожарной устойчивостью — I и II степеней огнестойкости класса конструктивной пожарной опасности С0 и С1. При этом необходимо обеспечить расстояние от проемов автостоянки до низа ближайших вышележащих оконных проемов не менее 4 м, либо предусмотреть над проемами помещений для хранения автомобилей глухие козырьки из материалов группы горючести НГ или Г1, выступающие от плоскости стены не менее чем на 1 м и перекрывающие ширину проема с каждой стороны не менее чем на 0,5 м. Вместо указанных ко-

зырьков также представляется обоснованным устройство выступающих из плоскости стены балконов или галерей из материалов НГ или Г1 с пределом огнестойкости не менее Е30 шириной не менее 1 м, также перекрывающих проем с каждой стороны не менее чем на 0,5 м, либо окна квартир над проемами автостоянки должны выходить в лоджии.

Участки наружных стен с внешней стороны с фасадными системами на расстоянии 4 м от краев проемов помещений для хранения автомобилей должны иметь класс пожарной опасности К0, с применением облицовки, отделки и теплоизоляции из материалов НГ или Г1.

Выводы

Проведенный анализ нормативной базы в области пожарной безопасности открытых автостоянок показал отсутствие требований по размещению открытых автостоянок в первых этажах жилых многоквартирных домов.

В связи с этим для оценки и обоснования возможности пожаробезопасного размещения таких автостоянок в жилых зданиях на основе полевого моделирования были изучены особенности распространения ОФП при горении автомобилей в открытой

автостоянке, расположенной на первом этаже многоквартирного жилого дома.

В результате моделирования развития пожара в автостоянке были получены распределения ОФП в районе окна жилого помещения в различные моменты времени. Моделирование проводилось при различных направлениях и скоростях ветра.

В качестве противопожарных барьеров, предотвращающих распространение пожара на вышележащий жилой этаж, были рассмотрены противопожарные пояса, а также огнестойкие козырьки над этажом автостоянки.

Показано, что устройство над проемом открытой автостоянки под жилым домом противопожарных междуэтажных поясов шириной до 4 м не обеспечивает предотвращения распространения пожара в вышележащее жилое помещение.

Нераспространение пожара в жилые помещения наблюдалось только при устройстве над проемом автостоянки козырька (или иного выступа из наружной стены) из огнестойких материалов шириной не менее 1 м.

По результатам исследований предложен комплекс противопожарных мероприятий, обеспечивающий возможность безопасного размещения открытых одноуровневых автостоянок в многоквартирных жилых зданиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дуванова И.А., Симанкина Т.Л. Оптимизация организации парковочного пространства в условиях жилой застройки // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 2 (41). С. 108–117. DOI: 10.18720/CUBS.41.8 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25675539>
2. Xiong Lu. Innovative design of parking guidance in intelligent parking lot // Innovation and Sustainability of Modern Railway. 2014. Vol. 2. Pp. 128–133.
3. Armstrong D., Reiner V., Rhoades B. Parking spaces // Advances in Mathematics. 2015. Vol. 269. Pp. 647–706. DOI: 10.1016/j.aim.2014.10.012
4. Carlsson J., Karlsson B. Numerical simulation of fire exposed facades — An initial investigation. Lund : Lunds university, 2001. 78 p.
5. Лицкевич В.В., Хасанов И.Р. Моделирование процесса разрушения остекления при пожаре // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. М. : ВНИИПО, 2008. С. 141–143.
6. Хасанов И.Р. Тепловые воздействия на наружные конструкции при пожаре // Пожарная безопасность. 2013. № 4. С. 16–26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20929298>
7. Delichatsios M.A., Ryan J., Tian N., Zhang J. Vertical safe separation distance between openings in multi-storey buildings having a fire resistant spandrel // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 46. P. 04003. DOI: 10.1051/mateconf/20164604003
8. Kobrecki A. Model of fire spread out on outer building surface // Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. 2015. Vol. 63. Issue 1. Pp. 135–144. DOI: 10.1515/bpasts-2015-0015
9. Cox G. Turbulent closure and the modelling of fire using computational fluid dynamics // Philosophical Transactions of the Royal Society A. 1998. Vol. 356. Issue 1748. Pp. 2835–2854. DOI: 10.1098/rsta.1998.0300
10. Olenick S.M., Carpenter D.J. An updated international survey of computer models for fire and smoke // Journal of Fire Protecting Engineering. 2003. Vol. 13. Issue 2. Pp. 87–110. DOI: 10.1177/1042391503013002001

11. McGrattan K., Miles S. Modeling fires using Computational Fluid Dynamics (CFD) // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Chapter 32. Fifth Edition. Society of Fire Protection Engineers, 2016. Pp. 1034–1065. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0
12. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics simulator user's guide: NIST Special Publication 1019. Sixth Edition. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. 262 p.
13. Drean V., Schillinger R., Leborgne H., Auguin G., Guillaume E. Numerical simulation of fire exposed facades using LEPiR II testing facility // Fire Technology. 2018. Vol. 54. Issue 4. Pp. 943–966. DOI: 10.1007/s10694-018-0718-y
14. Anderson J., Jansson R. Facade fire tests — measurements and modeling // MATEC Web of Conferences. 2013. Vol. 9. P. 02003. DOI: 10.1051/mateconf/20130902003
15. Yakovchuk R., Kuzyk A., Skorobagatko T., Yemelyanenko S., Borys O., Dobrostan O. Computer simulation of fire test parameters façade heat insulating system for fire spread in fire dynamics simulator (FDS) // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. 2020. Vol. 4. Issue 442. Pp. 35–44. DOI: 10.32014/2020.2518-170X.82
16. Anderson J., Boström L., Jansson R., Milovanovic B. Fire dynamics in facade fire tests: Measurement, modeling and repeatability // Applications of Structural Fire Engineering. Conference: ASFE 2015. Dubrovnik, Croatia, 2015. DOI: 10.14311/asfe.2015.059
17. Khasanov I.R., Karpov A.V. Modeling fire spread along the non-combustible building facades of different geometry // Proceeding of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (ISFEH9). St. Petersburg Polytechnic University Press. 2019. Pp. 534–541. DOI: 10.18720/spbp/2/k19-1
18. Mammoser J.H., Battaglia F. A computational study on the use balconies to reduce flame spread in high-rise apartment fires // Fire Safety Journal. 2004. Vol. 39. Pp. 277–296.
19. Xue-fei Xing, Jing-yan Zhang, Yan-feng Li. A computational study on structural barrier to vertical spread of window spill plume along building exterior facade // Procedia Engineering. 2013. Vol. 52. Pp. 475–482. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.171
20. Nan Zhao, Jing-yan Zhang, Xue-fei Xing. A computational study on effect of balcony on vertical spread of window spill plume along building exterior facade // Procedia Engineering. 2014. Vol. 71. Pp. 523–528. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.04.075
21. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics Simulator. Technical reference guide. Vol. 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2013. 149 p. DOI: 10.6028/nist.sp.1018
22. Shintani Y., Kakae N., Harada K., Masuda H., Takahashi W. Experimental investigation of burning behavior of automobiles // 6th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, Daegu: Korea. 2004. Pp. 43–51.
23. Shipp M., Spearpoint M. Measurements of the severity of fires involving private motor vehicles // Fire and Materials. 1995. Vol. 19. Issue 3. Pp. 143–151. DOI: 10.1002/fam.810190307
24. Song Bo, Zhao Li-zeng, Bai Dian-tao. Experimental study on combustion characteristic of ordinary car // China Safety Science Journal. 2013. Vol. 23 (7). Pp. 26–31.
25. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учеб. пос. М. : Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

REFERENCES

1. Duvanov I.A., Simankina T.L. Optimization of parking space in the conditions residential area. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016; 41:108-117. DOI: 10.18720/CUBS.41.8 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25675539> (rus).
2. Xiong Lu. Innovative design of parking guidance in intelligent parking lot. *Innovation and Sustainability of Modern Railway*. 2014; 2:128-133.
3. Armstrong D., Reiner V., Rhoades B. Parking spaces. *Advances in Mathematics*. 2015; 269:647-706. DOI: 10.1016/j.aim.2014.10.012
4. Carlsson J., Karlsson B. *Numerical Simulation of Fire Exposed Facades — An initial investigation*. Lund, Lunds university, 2001; 78.
5. Litskevich V.V., Khasanov I.R. Modeling of the process of destruction of glazing in case of fire. *Actual Problems of Fire Safety : materials of the International Scientific and Practical Conference. Part 1*. Moscow, VNIPO, 2008; 141-143. (rus).
6. Khasanov I.R. Heat effects on external designs at a fire. *Pozharnaya bezopasnost/Fire Safety*. 2013; 4:16-26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20929298> (rus).

7. Delichatsios M.A., Ryan J., Tian N., Zhang J. Vertical safe separation distance between openings in multi-storey buildings having a fire resistant spandrel. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 46:04003. DOI: 10.1051/mateconf/20164604003
8. Kobrecki A. Model of fire spread out on outer building surface. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2015; 63(1):135-144. DOI: 10.1515/bpasts-2015-0015
9. Cox G. Turbulent closure and the modeling of fire using computational fluid dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 1998; 356(1748): 2835-2854. DOI: 10.1098/rsta.1998.0300.
10. Olenick S.M., Carpenter D.J. An updated international survey of computer models for fire and smoke. *Journal of Fire Protecting Engineering*. 2003; 13(2):87-110. DOI: 10.1177/1042391503013002001
11. 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
12. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. *Fire Dynamics Simulator User's Guide: NIST Special Publication 1019. Sixth Edition*. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013; 262.
13. Drean V., Schillinger R., Leborgne H., Auguin G., Guillaume E. Numerical simulation of fire exposed facades using LEPRI II testing facility. *Fire Technology*. 2018; 54(4):943-966. DOI: 10.1007/s10694-018-0718-y
14. Anderson J., Jansson R. Facade fire tests — measurements and modeling. *MATEC Web of Conferences*. 2013; 9:02003. DOI: 10.1051/mateconf/20130902003
15. Yakovchuk R., Kuzyk A., Skorobagatko T., Emelyanenko S., Borys O., Dobrostan O. Computer simulation of fire test parameters façade heat insulating system for fire spread in fire dynamics simulator (FDS). *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences*. 2020; 4(442):35-44. DOI: 10.32014/2020.2518-170X.82
16. Anderson J., Boström L., Jansson R., Milovanovic B. Fire dynamics in facade fire tests: Measurement, modeling and repeatability. *Applications of Structural Fire Engineering. Conference: ASFE 2015*. Dubrovnik, Croatia, 2015. DOI: 10.14311/asfe.2015.059
17. Khasanov I.R., Karpov A.V. Modeling fire spread along the non-combustible building facades of different geometry. *Proceeding of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (IS-FEH9)*. St. Petersburg Polytechnic University Press, 2019; 534-541. DOI: 10.18720/spbpu/2/k19-1
18. Mammoser J.H., Battaglia F. A computational study on the use balconies to reduce flame spread in high-rise apartment fires. *Fire Safety Journal*. 2004; 39:277-296.
19. Xue-fei Xing, Jing-yan Zhang, Yan-feng Li. A computational study on structural barrier to vertical spread of window spill plume along building exterior facade. *Procedia Engineering*. 2013; 52:475-482. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.171
20. Nan Zhao, Jing-yan Zhang, Xue-fei Xing. A computational study on effect of balcony on vertical spread of window spill plume along building exterior facade. *Procedia Engineering*. 2014; 71:523-528. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.04.075
21. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J. *Fire Dynamics Simulator. Technical reference guide. Volume 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition*. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013; 149. DOI: 10.6028/nist.sp.1018
22. Shintani Y., Kakae N., Harada K., Masuda H., Takahashi W. Experimental investigation of burning behavior of automobiles. *6th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology*. Daegu, Korea, 2004; 43-51.
23. Shipp M., Spearpoint M. Measurements of the severity of fires involving private motor vehicles. *Fire and Materials*. 1995; 19(3):143-151. DOI: 10.1002/fam.810190307
24. Song Bo, Zhao Li-zeng, Bai Dian-tao. Experimental study on combustion characteristic of ordinary car. *China Safety Science Journal*. 2013; 23(7):26-31.
25. Koshmarov Yu.A. Forecasting of fire hazards in the room : A textbook. Moscow, Academy of GPS of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2000; 118. (rus).

Поступила 30.11.2021, после доработки 28.12.2021; принята к публикации 13.01.2022
Received November 30, 2021; Received in revised form December 28, 2021; Accepted January 13, 2022

Информация об авторах

ХАСАНОВ Ирек Равильевич, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 157014; Researcher ID: T-4177-2017; ORCID: 0000-0002-5659-0746; e-mail: irhas@rambler.ru

ЗУЕВ Станислав Анатольевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 328576; ORCID: 0000-0003-4498-3021; e-mail: k708@yandex.ru

АБАШКИН Александр Анатольевич, начальник отдела, 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: 157014; ORCID: 0000-0002-6347-3257; e-mail: k708@yandex.ru

ЗУЕВА Анна Станиславовна, научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 157014; ORCID: 0000-0002-9551-0569; e-mail: k708@yandex.ru

Вклад авторов:

Хасанов И.Р. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, написание исходного текста, итоговые выводы.

Зуев С.А. — выбор направлений моделирования, постановка исходной задачи, написание исходного текста, итоговые выводы.

Абашкин А.А. — участие в выборе методов моделирования, доработка текста, итоговые выводы.

Зуева А.С. — осуществление моделирования, подготовка графических материалов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Irek R. KHASANOV, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 157014; Researcher ID: T-4177-2017; ORCID: 0000-0002-5659-0746; e-mail: irhas@rambler.ru

Stanislav A. ZUEV, Cand. Sci. (Eng.), 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, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ID RISC: ORCID: 0000-0003-4498-3021; e-mail: k708@yandex.ru

Aleksandr A. ABASHKIN, Head of Department, 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: 157014; ORCID: 0000-0002-6347-3257; e-mail: k708@yandex.ru

Anna S. ZUEVA, Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 157014; ORCID: 0000-0002-9551-0569; e-mail: k708@yandex.ru

Contribution of the authors:

Irek R. Khasanov — scientific guidance, research concept, development of methodology, writing the draft, final conclusions.

Stanislav A. Zuev — choice of modeling directions, formulation of the initial problem, writing the draft, final conclusions.

Aleksandr A. Abashkin — participation in the selection of modeling methods, revision of the text, final conclusions.

Anna S. Zueva — modeling, preparation of graphic materials.

The authors declare no conflicts of interests.