

Полевое моделирование динамики пожара при ответе на вопрос о выполнении системой пожарной сигнализации своих функций

© И.Р. Хасанов¹ ✉, А.В. Карпов¹, С.Ф. Лобова², Н.В. Петрова²

- 1 Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)
- 2 Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149)

АННОТАЦИЯ

Введение. Анализ выполнения системой пожарной сигнализации своих функций необходим при ответе на вопрос о соответствии системы требованиям пожарной безопасности. Данный вид исследования часто проводится при производстве судебной нормативной пожарно-технической экспертизы. В связи с этим для оценки выполнения системой пожарной сигнализации своих функций необходимо определить условия развития пожара и безопасной эвакуации людей.

Цели и задачи. Целью настоящей работы является численное исследование влияния на работу пожарной сигнализации используемых математических моделей горения, характеристик пожарной нагрузки и расположения очага пожара.

Методика. Для достижения цели исследования использовалось полевое моделирование динамики пожара. При моделировании работы системы пожарной сигнализации проведены расчеты распространения опасных факторов пожара при различных сценариях расположения очага горения.

Результаты и их обсуждение. Проведенные расчеты выполнения условий безопасной эвакуации людей в случае ненормативного расположения пожарных извещателей позволили отработать алгоритм расчета времени начала эвакуации. Показано, что расчетное время обнаружения пожара зависит от используемых моделей горения (средний или сложный уровень), размеров расчетной сетки, характеристик пожарной нагрузки и расположения очага пожара.

Выводы. Показано, что на результаты полевого моделирования развития пожара и времени его обнаружения оказывают влияние используемые модели горения, характеристики пожарной нагрузки и расположение очага пожара относительно пожарных извещателей. При невыполнении системой пожарной сигнализации своих функций и, следовательно, несоблюдении условий безопасной эвакуации необходимо либо уточнение модели горения, либо проведение сравнения результатов моделирования при нормативном и фактическом размещении извещателей.

Ключевые слова: пожарная безопасность; пожарно-техническая экспертиза; пожарный извещатель; обнаружение пожара; математическая модель горения; пожарная нагрузка; очаг пожара; эвакуация

Для цитирования: Хасанов И.Р., Карпов А.В., Лобова С.Ф., Петрова Н.В. Полевое моделирование динамики пожара при ответе на вопрос о выполнении системой пожарной сигнализации своих функций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 5. С. 40–50. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.05.40-50

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

Field modeling of the fire dynamics as an answer to the question about the fire alarm performance

© Irek R. Khasanov¹ ✉, Alexey V. Karpov¹, Sofia F. Lobova², Natalia V. Petrova²

- 1 All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (mkr. VNIIPPO, 12, Balashiha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)
- 2 Research Institute for Advanced Research and Innovative Technologies in the Field of Life Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The performance of a fire alarm needs to be analyzed to answer the question about its compliance with fire safety requirements. This type of research is frequently performed in the course of a forensic fire investigation. Therefore, it is necessary to identify conditions of fire escalation and safe evacuation of people to assess the fire alarm performance.

Purposes and objectives. The purpose of this work is the numerical study of the impact, produced by mathematical models of combustion, characteristics of fire loads and locations of fire beds, on fire alarm performance.

Methods. Fire dynamics was field modeled to achieve the goal of this research. The analysis of flame propagation was performed with regard for various fire bed locations to simulate the fire alarm operation.

Results and discussion. The fulfillment of safe evacuation conditions for cases of irregular arrangement of smoke detectors was analyzed to develop and test the algorithm for the calculation of the evacuation start time. It is shown that the estimated time of fire detection depends on combustion models employed (their average or complex level), the size of the computational grid, fire load specifications and the location of the fire bed.

Conclusions. It is shown that the results of the field modeling of fire propagation and detection time are influenced by combustion models used, fire load specifications and the location of the fire bed in relation to smoke detectors. If the fire alarm fails to perform its functions and, consequently, safe evacuation conditions are not fulfilled, it is necessary either to improve the combustion model or to compare the modeling results obtained for actual and standard smoke detector location patterns.

Keywords: fire safety; fire investigation; smoke detector; fire detection; mathematical combustion model; fire load; fire bed; evacuation

For citation: Khasanov I.R., Karpov A.V., Lobova S.F., Petrova N.V. Field modeling of the fire dynamics as an answer to the question about the fire alarm performance. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(5):40-50. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.05.40-50 (rus.).

✉ Irek Ravil'evich Khasanov, e-mail: irhas@rambler.ru

Введение

Судебная нормативная пожарно-техническая экспертиза (СНПТЭ) — это вид экспертизы, заключающийся в исследовании на основе специальных знаний в области пожарной безопасности нарушений нормативных противопожарных требований, а также причинной связи таких нарушений с возникновением, развитием и последствиями пожара (происшедшим или потенциально возможным) [1].

Часто при производстве СНПТЭ в судебно-экспертных учреждениях Федеральной противопожарной службы МЧС России экспертам необходимо ответить на вопросы, касающиеся оценки соответствия той или иной системы противопожарной защиты требованиям пожарной безопасности. Для ответа на подобные вопросы экспертам необходимо рассмотреть способность данных систем выполнять свои функции в условиях пожара с учетом их фактических характеристик. Особенно важно проведение таких исследований при производстве экспертиз пожаров, в результате которых погибли люди, поскольку всегда возникает вопрос о наличии либо отсутствии на объекте на момент возникновения пожара угрозы жизни и здоровью людям. Также необходимость оценки способности систем противопожарной защиты выполнять свои функции возникает при проведении исследований в отношении объектов, на которых пожар не произошел, но на которых имеется значительное количество отступлений от требований нормативных документов по пожарной безопасности. Эксперту в подобной ситуации необходимо ответить на вопрос о влиянии того или иного нарушения на потенциальную угрозу жизни и здоровью людей в случае возникновения пожара.

В обеспечении своевременной эвакуации при пожаре система пожарной сигнализации (автомати-

ческая установка пожарной сигнализации (АУПС)) играет важную роль. АУПС должна обеспечивать автоматическое обнаружение пожара за время, необходимое для включения систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) в целях организации безопасной (с учетом допустимого пожарного риска) эвакуации людей в условиях конкретного объекта. При этом безопасная эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре считается обеспеченной, если интервал времени от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации людей при пожаре.

Требования к АУПС и СОУЭ определены положениями Федерального закона № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее — ФЗ № 123)¹, сводами правил СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования»², СП 3.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности»³, а также иными документами, содержащими требования пожарной безопасности к данной системе. Аналогичные документы,

¹ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ : принят Государственной Думой 4.07.2008 г. : одобрен Советом Федерации 11.07.2008 г.

² Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : СП 5.13130.2009 : утвержден и введен в действие Приказом МЧС России от 25.03.2009 г. № 175.

³ Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности : СП 3.13130.2009 : утвержден и введен в действие Приказом МЧС России от 25.03.2009 г. № 173.

в которых изложены требования по проектированию, монтажу, вводу в эксплуатацию и техническому обслуживанию систем, используются и за рубежом, например, NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code.

Порядок и методики определения расчетного и необходимого времени эвакуации людей при пожаре содержатся в [2, 3]. Для практического использования методик разработаны пособия по расчету пожарного риска для общественных [4] и производственных объектов [5].

Таким образом, согласно [2–5], анализ соответствия АУПС требованиям пожарной безопасности в части выполнения ею своих функций проводится, в том числе, с помощью математических расчетов, необходимость проведения которых также определена методологией судебной пожарно-технической экспертизы [6].

Наиболее информативным и универсальным инструментом проведения данного анализа является полевое моделирование динамики пожара. Важно отметить, что область применения математических расчетов также распространяется на процесс проектирования АУПС, когда возникают вопросы эффективного размещения устройств обнаружения пожара (извещателей) и определения расстояния между ними, учета влияния конструктивных особенностей и объема помещений и др. [7].

Применение полевого моделирования динамики пожара при ответе на вопрос о выполнении системой пожарной сигнализации своих функций имеет ряд особенностей, выражающихся в значительной зависимости результатов от способов моделирования начальной стадии пожара.

В работе [8] проведена оценка времени обнаружения пожара на основе полевого моделирования динамики пожара в офисном помещении и в двухкомнатной квартире. Авторами показано, что темп развития пожара является определяющим фактором, влияющим на время обнаружения пожара.

Полевая математическая модель для расчета локальных значений параметров припотолочных струй продуктов горения в начальной стадии пожара использована в [9] для обоснования соотношений, используемых в инженерных расчетах для оценки времени срабатывания пожарных извещателей.

В работе [10] рассмотрены проблемы оценки времени начала эвакуации при пожаре в зависимости от наличия СОУЭ, а также ее инерционности и эффективности. При этом указывается, что время начала эвакуации — это совокупность технической, зависящей от параметров систем обнаружения пожара, и психофизической, связанной с восприятием сигнала и принятием решения об эвакуации, составляющих.

Численное моделирование развития пожара и влияние скоростей газовых потоков с учетом работы системы дымоудаления, а также оценка в этих условиях необходимого времени эвакуации людей проведены в [11].

Влияние особенностей помещений с высокими потолками и сложной геометрией на реакцию дымовых извещателей при пожаре рассмотрено в [12]. В этих целях авторами использованы зонная и полевая модели и проведено сравнение с экспериментальными результатами.

Численное исследование при помощи полевой модели влияния конструктивных элементов потолков (потолочные преграды, балочные перекрытия, наклон потолка) на время срабатывания извещателей систем обнаружения пожара рассмотрено в [13]. Показано, что потолочные препятствия в виде балок, а также наклон потолка могут значительно изменять поток движения продуктов горения и, следовательно, должны учитываться при разработке конкретной системы обнаружения пожара. В работе [14] приведены результаты теоретического исследования и выводы о том, что провести реконструкцию начальной стадии пожара возможно с учетом времени срабатывания пожарных извещателей. Полевое моделирование пожара используется также при расчетах особенностей эвакуации людей при пожаре [15] и при оценке развития пожара с возможностью выхода пламени из помещения [16].

Анализ работ по моделированию воздействия параметров пожара на АУПС показал необходимость учета в моделях многочисленных особенностей развития пожара и объемно-планировочных характеристик помещений. Обусловлено это тем, что моделируемые течения (поток продуктов горения) являются турбулентными, неизотермичными, многофазными и нестационарными, а также имеют сложный химический состав и сопровождаются горением и сложным сопряженным теплообменом с ограждающими конструкциями.

Таким образом, эффективным способом оценки динамики распространения опасных факторов пожара и их взаимодействия с системами противопожарной защиты является полевое моделирование, основанное на решении системы дифференциальных уравнений Навье – Стокса, описывающих физико-химические явления при пожаре [17–20].

Однако применение данного способа для ответа на вопросы о выполнении системой противопожарной защиты своих функций сопряжено с многочисленными трудностями, связанными с отсутствием методологии по построению численного эксперимента для исследований данного вида и по корректной обработке результатов моделирования.

В связи с этим в настоящей работе в целях ответа на вопрос о выполнении АУПС и СОУЭ своих функций исследовано влияние используемых моделей горения, характеристик пожарной нагрузки и расположения очага пожара на получаемые результаты полевого моделирования. Продемонстрирован вариант алгоритма построения численного эксперимента, включающего полевое моделирование динамики пожара.

Методика исследования

Для расчетной оценки выполнения АУПС своих функций на выбранном объекте защиты использована компьютерная программа FDS в оболочке PyroSim [21], которая содержит встроенные модели отклика (срабатывания) пожарных извещателей, основанные на экспериментальных и численных исследованиях.

В ходе выполнения расчета в данной программе были проанализированы два способа моделирования горения, соответствующие среднему и сложному уровню [22]. Средний уровень сложности модели предполагает фиксированный, наперед заданный поверхностный поток горючего. Рассматривалось газофазное горение, но без обратного влияния пламени на скорость газификации конденсированного (жидкого или твердого) горючего. Сложный уровень моделирования предполагает расчет горения в системе с тепловой обратной связью: скорость газификации горючих материалов определяется тепловым потоком из зоны пламени (моделирование пиролиза) [22]. Анализируя полученные результаты, авторы [23] пришли к выводу, что при моделировании начальной стадии пожара, когда и происходит срабатывание пожарных извещателей, необходимо проведение выбора и обоснования способа моделирования горения. Способ моделирования горения должен быть наиболее приближен к реальным условиям, имеющимся на объекте, либо должен отражать наихудшие условия для срабатывания пожарных извещателей.

В данной статье в качестве примера применения полевого моделирования для анализа выполнения АУПС своих функций была рассмотрена ситуация, когда линейные пожарные дымовые извещатели были расположены ниже рекомендуемого расстояния от перекрытия. В качестве объекта защиты, на котором проводилось моделирование, рассматривалось здание, представляющее собой 4-этажный спортивный комплекс, I степени огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности С0, класса функциональной пожарной опасности Ф3.6.

Противопожарная защита здания включала в себя следующие системы противопожарной защи-

ты, направленные на обеспечение безопасности людей (создание условий безопасной эвакуации и тушение пожара в его начальной стадии):

- систему автоматической пожарной сигнализации адресно-аналогового типа с применением линейных дымовых пожарных извещателей;
- систему оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре 3-го типа;
- систему противодымной защиты;
- автономные установки пожаротушения.

В соответствии с проектом в состав АУПС объекта входили извещатели пожарные дымовые линейные ИПДЛ-Д-1/4р с настроенным порогом срабатывания, равным 1,6 дБ (31 %).

Согласно СП 5.13130.2009, излучатель и приемник линейного дымового пожарного извещателя следует устанавливать на стенах, перегородках, колоннах и других конструкциях, обеспечивающих их жесткое крепление таким образом, чтобы их оптическая ось проходила на расстоянии не менее 0,1 м и не более 0,6 м от уровня перекрытия. Допускается размещение извещателей ниже 0,6 м от уровня перекрытия, если расчетное время обнаружения достаточно для выполнения задач противопожарной защиты: суммарное значение времени обнаружения пожара извещателями и расчетного времени эвакуации людей не должно превышать времени наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара (ОФП). Другими словами, должен быть выполнен анализ выполнения условий безопасной эвакуации людей в случае возникновения пожара.

На рассматриваемом объекте в спортивном зале размерами 17,63 × 42,1 × 13,1 м извещатели ИПДЛ-Д-1/4р были установлены так, что их оптическая ось проходила на расстоянии более 0,6 м от перекрытия. Фактически на расстоянии 4 м от перекрытия был расположен 1-й ярус извещателей, а на расстоянии 8 м — 2-й ярус (рис. 1). Соответственно, согласно требованиям ФЗ № 123, должно быть проведено подтверждение, что расчетное время обнаружения пожара извещателями достаточно для выполнения задач противопожарной защиты.

Выбор сценариев развития пожара определялся наихудшими условиями эвакуации и динамики распространения опасных факторов пожара. Под наихудшими условиями динамики распространения ОФП понимались в данном случае такие, которые приводили бы к наиболее позднему срабатыванию пожарных извещателей.

Для определения указанных условий были рассмотрены два сценария с различным расположением очага пожара: аварийная ситуация № 1 — очаг распо-

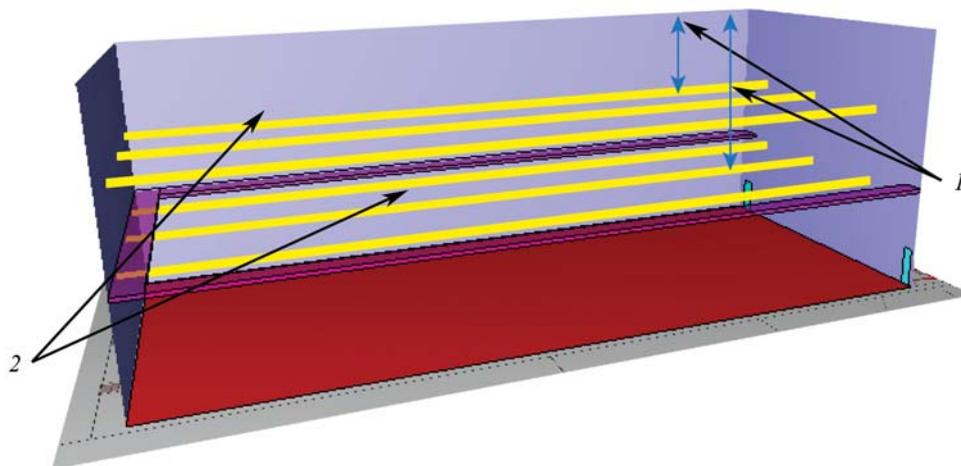


Рис. 1. Схема размещения пожарных извещателей в спортивном зале: 1 — расстояние от перекрытия; 2 — оптические оси пожарных извещателей

Fig. 1. The layout of smoke detectors in a gymnasium: 1 — the distance from the slab; 2 — optical axes of smoke detectors

ложен между оптическими осями; аварийная ситуация № 2 — очаг расположен около стены помещения (рис. 2). Параметры пожарной нагрузки соответствовали типовой пожарной нагрузке в спортзалах [2]: низшая теплота сгорания 16,7 МДж/кг; удельная массовая скорость выгорания 0,014 кг/(м²·с); линейная скорость распространения пламени 0,0045 м/с; удельный расход кислорода 2,56 кг/кг; дымообразующая способность горящего материала 61 Нп·м²/кг.

Контрольные точки замера (датчики) ОФП располагались на различных уровнях: на высоте 1,7 м от уровня 1-го этажа напротив выходов из спортивного зала; на высоте 1,7 м от уровня расположения

балконов напротив выходов из них, а также напротив выходов из здания на улицу.

Выбор разрешающей способности расчетной сетки осуществлялся на основе рекомендаций [24]. Важно отметить, что определение оптимальной разрешающей способности расчетной сетки является одним из ключевых этапов проведения моделирования динамики пожара с использованием полевой модели. Согласно [25], размер ячейки сетки должен быть таким, чтобы крупномасштабные вихревые структуры, присущие естественно-конвективным турбулентным диффузионным пламенам, наблюдаемым при пожарах, были разрешены.

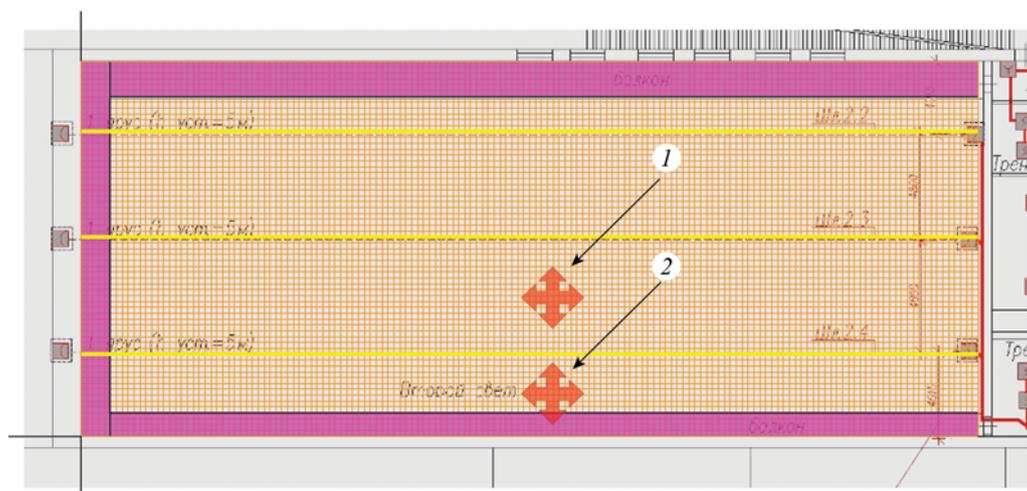


Рис. 2. Схема размещения очагов пожара в спортивном зале: 1 — расположение очага пожара для аварийной ситуации № 1; 2 — расположение очага пожара для аварийной ситуации № 2

Fig. 2. Location of fire beds in a gym: 1 — the fire bed location for emergency situation 1; 2 — the fire bed location for emergency situation 2

Результаты и их обсуждение

В результате моделирования развития пожара были получены значения времени срабатывания извещателей. На рис. 3 и 4 представлены расчетные показания дымовых извещателей, при срабатывании которых осуществлялся запуск системы АУПС в рассматриваемых аварийных ситуациях. В случае аварийной ситуации № 1 первый извещатель срабатывал через 180...185 с после начала горения при условии его настройки на затухание, равное 31 %, второй извещатель — через 190...195 с. В случае аварийной ситуации № 2 первый извещатель срабатывал через 150...155 с, второй извещатель — через 165...170 с.

Таким образом, расположение очага пожара между оптическими осями приводило к формированию наихудших условий для срабатывания пожарных извещателей. Поэтому для дальнейшего анализа выполнения условий безопасной эвакуации

людей были использованы параметры аварийной ситуации № 1.

Далее, в условиях аварийной ситуации № 1, в соответствии с положениями методики [2], было определено время эвакуации людей из помещений здания $\tau_{эв}$ и время блокирования эвакуационных выходов $\tau_{бл}$. Анализ выполнения условий безопасной эвакуации проводился путем сравнения необходимого и фактического времени эвакуации. При этом в рассматриваемом случае к расчетному времени эвакуации τ_p необходимо было прибавить время начала эвакуации $\tau_{нэ}$ с учетом срабатывания системы пожарной сигнализации.

В соответствии с п. 1.1 Приложения 5 [2], значение времени начала эвакуации $\tau_{эв}$ для помещения с очагом пожара, в данном случае для спортивного зала, следует принимать равным 12,5 с, ($\tau_{нэ} = 5 + 0,01F = 5 + 0,01 \cdot 750$, где F — площадь помещения очага пожара, m^2).

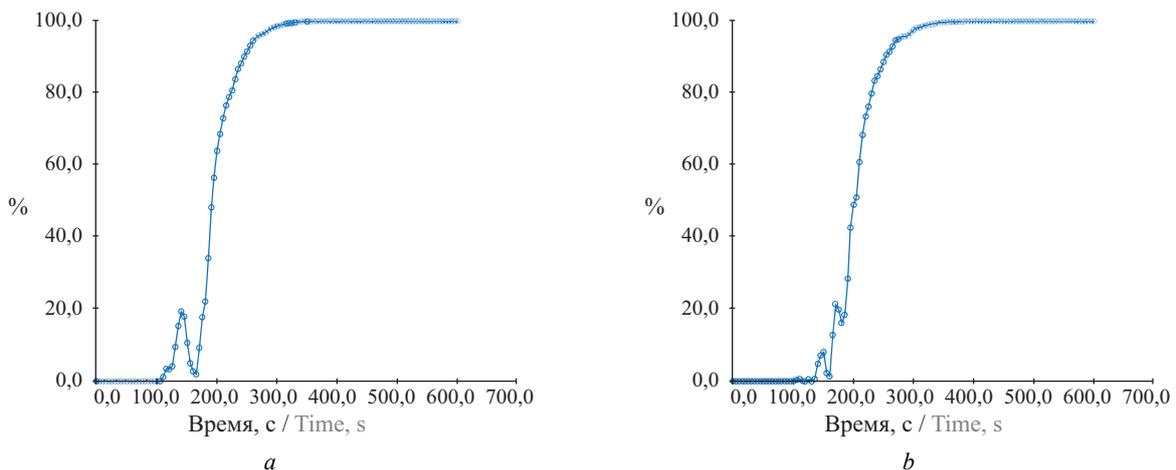


Рис. 3. Показания пожарных извещателей при аварийной ситуации № 1: *a* — первого извещателя; *b* — второго извещателя
Fig. 3. Smoke detector readings for emergency situation 1: *a* — the first smoke detector; *b* — the second smoke detector

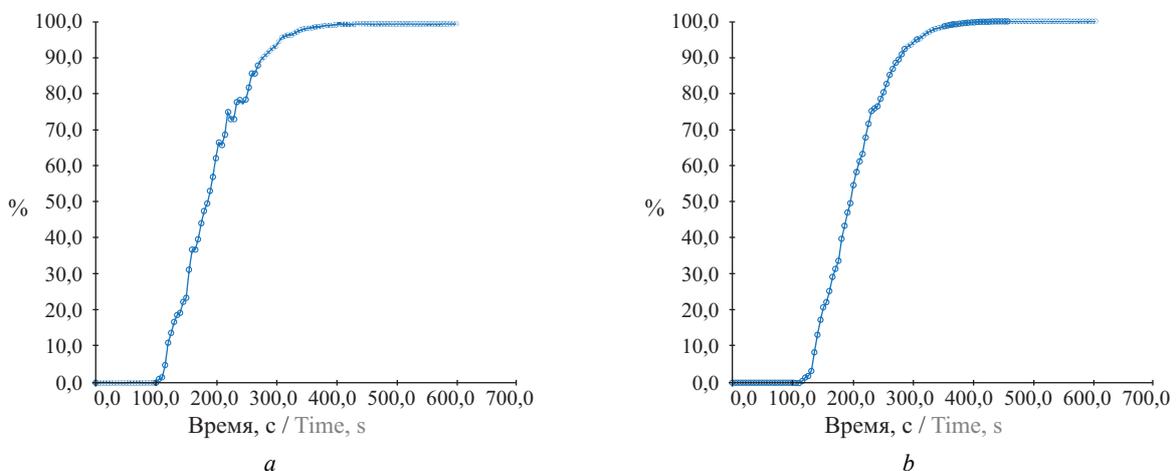


Рис. 4. Показания извещателей при аварийной ситуации № 2: *a* — первого извещателя; *b* — второго извещателя
Fig. 4. Smoke detector readings for emergency situation 2: *a* — the first smoke detector; *b* — the second smoke detector

Время начала эвакуации для остальных помещений в рассматриваемом примере определялось как сумма времени срабатывания пожарных извещателей и времени начала эвакуации, установленного в Приложении 5 [2], для здания класса функциональной пожарной опасности Ф3.6 и 3-го типа СОУЭ.

Обоснование данного подхода к определению времени начала эвакуации лежит в следующем. Табличные значения, приведенные в Приложении 5 [2], содержат техническую задержку, связанную с временем срабатывания систем обнаружения и оповещения АУПС и СОУЭ, и психоэмоциональную, связанную с контингентом и родом деятельности людей на данном объекте защиты. В то же время данные значения даны для систем, выполненных в соответствии с требованиями пожарной безопасности. При отступлениях от нормативных требований с определенным запасом надежности предполагается, что время начала эвакуации увеличится на величину, которая и была определена в ходе моделирования пожара как время срабатывания пожарных извещателей. Другими словами, данный способ учета времени срабатывания АУПС

является оценкой сверху. Таблица содержит итоговую информацию о выполнении в рассматриваемом здании условий безопасной эвакуации.

Результаты расчетов, приведенные в таблице, показали, что интервал времени от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей не превышает необходимого времени эвакуации людей при пожаре. Условия безопасной эвакуации людей из рассматриваемых помещений здания спортивного комплекса при принятом расположении линейных пожарных дымовых извещателей (ниже 0,6 м от перекрытия) выполняются.

Таким образом, проведенное расчетное обоснование фактического расположения линейных пожарных дымовых извещателей ниже перекрытия спортивного зала на высоте 4 м и 8 м подтвердило возможность АУПС выполнить свои функции в случае возникновения пожара.

Следует отметить, что в данном случае был получен положительный результат: АУПС выполняет свои функции. Соответственно, можно утверждать, что при максимально завышенной оценке, выразившейся в суммировании табличного времени и времени срабатывания извещателя, и выполнении

Результаты расчета времени эвакуации людей $\tau_{эв}$ и необходимого времени эвакуации $\tau_{нв}$ с учетом времени начала эвакуации $\tau_{нз}$ для аварийной ситуации № 1

Estimated evacuation time $\tau_{эв}$ and required evacuation time $\tau_{нв}$ with regard for evacuation start time $\tau_{эс}$ for emergency situation 1

Эвакуационный выход Emergency exit	Расчетное время эвакуации τ_p , мин Estimated evacuation time τ_e , min	Время начала эвакуации, $\tau_{нз}$, мин Evacuation start time τ_{es} , min	Время эвакуации $\tau_{эв}$, мин $\tau_{эв} = \tau_p + \tau_{нз}$ Evacuation time $\tau_{эв}$, min $\tau_{эв} = \tau_e + \tau_{es}$	Необходимое время эвакуации $\tau_{нв}$, мин $\tau_{нв} = \tau_{бл} \cdot 0,8$ Required evacuation time $\tau_{нв}$, min $\tau_{нв} = \tau_{bl} \cdot 0.8$	Выполнение условия безопасной эвакуации: $\tau_{эв} \leq \tau_{бл} \cdot 0,8$ Evacuation safety condition fulfillment: $\tau_{эв} \leq \tau_{bl} \cdot 0.8$
Выход с балкона_01 Balcony exit_01	0,79	0,2	0,99	5,8	Выполняется Fulfilled
Выход с балкона_02 Balcony exit_02	1,08	0,2	1,28	5,5	Выполняется Fulfilled
Выход из зала 01 Gymnasium exit 01	2,26	0,2	2,46	7,9	Выполняется Fulfilled
Выход из зала 02 Gymnasium exit 02	2,27	0,2	2,47	8,0	Выполняется Fulfilled
Выход_01 Exit_01	3,49	4,25* (1,0 + 3,25)	7,74	7,9	Выполняется Fulfilled
Выход_02 Exit_02	2,72	4,25* (1,0 + 3,25)	6,97	8,0	Выполняется Fulfilled
Выход со 2-ого этажа 2nd floor exit	1,16	4,25* (1,0 + 3,25)	5,41	5,5	Выполняется Fulfilled

*Время начала эвакуации $\tau_{нз}$ для выходов с этажа и из здания определялось как сумма табличного значения из Приложения 5 методики [2] и значения времени срабатывания пары извещателей в помещении очага пожара.

*Evacuation start time $\tau_{эс}$ for floor and building exits was identified as the sum of values, provided in Appendix 5 of the guidelines [2] and the activation time of a couple of smoke detectors in the room where the bed of fire is located.

условий безопасной эвакуации, такой подход оправдан и может быть использован для формулирования соответствующих выводов при производстве СНПТЭ. При получении отрицательного результата, когда при максимально завышенной оценке не выполняются условия безопасной эвакуации, однозначный вывод о невыполнении рассматриваемой АУПС своих функций сделать нельзя, и необходимо уточнение расчетной модели. Если сформулировать вывод на данном этапе исследования без уточнения модели, то он будет некорректным в силу принятых допущений.

Уточнение расчетной модели может включать несколько этапов:

- уменьшение размеров ячейки расчетной сетки или ее сгущение в области очага и расположения пожарных извещателей;
- дифференцирование табличного значения начала эвакуации, приведенное в Приложении 5 [2], на техническую и психоэмоциональную составляющие;
- уточнение модели срабатывания пожарных извещателей, встроенной в программное обеспечение (при ее наличии);
- уточнение модели сажеобразования;
- уточнение модели начальной стадии распространения фронта горения.

В случае получения отрицательного результата и при отсутствии возможности уточнения модели допускается проведение двух расчетов: один с ненормативным расположением извещателей, другой — с нормативным, т.е. проведение сравнительного анализа. В этом случае к табличному времени начала эвакуации, приведенному в Приложении 5 [2], следует прибавлять не значения времени срабатывания датчиков, а разность между срабатываниями пожарных извещателей в двух рассмотренных сценариях.

Выводы

Для ответа на вопрос о выполнении АУПС своих функций необходимо проведение анализа

выполнения условий безопасной эвакуации людей в случае пожара, установленных ФЗ № 123.

Компьютерное моделирование с применением полевой модели динамики пожара является наиболее информативным способом расчета распространения ОФП, учитывающим объемно-планировочные особенности объекта защиты, характеристики АУПС и параметры очага пожара.

При полевом моделировании, оценивающим работу системы пожарной сигнализации при заданных условиях, требуется анализ особенностей начальной стадии развития пожара.

Расчетное время обнаружения пожара зависит от используемых моделей горения (средний или сложный уровень), характеристик пожарной нагрузки, расположения очага пожара относительно извещателей и моделей физических процессов, встроенных в используемый для моделирования программный комплекс. Соответственно, данные параметры при проведении расчета должны быть соответствующим образом обоснованы.

Для определения времени начала эвакуации допустимо использовать оценку сверху, при которой значения времени, приведенные в Приложении 5 [2], и расчетные значения времени срабатывания пожарных извещателей суммируются.

В случае получения отрицательного результата, когда при максимально завышенной оценке не выполняются условия безопасной эвакуации и когда формулировка категоричного вывода о выполнении АУПС своих функций не представляется возможной, необходимо уточнение расчетной модели пожара.

Допускается проведение двух расчетов: один с ненормативным расположением извещателей, другой — с нормативным. В этом случае к табличному значению времени начала эвакуации, приведенному в Приложении 5 [2], следует прибавлять не значения времени срабатывания датчиков, а разность между значениями времени срабатывания пожарных извещателей в двух рассмотренных сценариях (сравнительный анализ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов С.П., Кондратьев С.А., Петрова Н.В., Скодтаев С.В., Тумановский А.А. Судебная нормативная пожарно-техническая экспертиза. СПб. : СПб УГПС МЧС России, 2014. 92 с.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. 2-е изд. М. : ВНИИПО, 2016. 79 с.
3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. М. : ВНИИПО, 2009. 77 с.
4. Абашкин А.А., Карпов А.В., Ушаков Д.В., Фомин М.В., Гилетич А.Н., Комков П.М. и др. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». М. : ВНИИПО, 2014. 226 с.

5. *Гордиенко Д.М., Шебеко Ю.Н., Шебеко А.Ю., Кириллов Д.С., Трунева В.А., Гилетич А.Н. и др.* Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М. : ВНИИПО, 2012. 242 с.
6. *Методология судебной пожарно-технической экспертизы: основные принципы.* М. : ВНИИПО, 2013. 23 с.
7. *Schiffliti R.P., Custer R.L.P., Meacham B.J.* Design of detection systems // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Chapter 40. 5th Edition. Society of Fire Protection Engineers, 2016. Pp. 1314–1377. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0
8. *Калмыков С.П., Есин В.М.* Время обнаружения очага пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. Т. 26. № 11. С. 52–63. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.52-63
9. *Карпов А.В., Рыжов А.М.* Полевое моделирование тепло- и массопереноса в припотолочной струе продуктов горения над нестационарными очагами пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2001. Т. 10. № 3. С. 17–24.
10. *Самошин Д.А., Холщевников В.В.* Проблемы нормирования времени начала эвакуации // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 5. С. 37–51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51
11. *Puzach S.V., Nguyen Thanh Hai.* Influence of the rates of gas flows through the smoke-removal and input-ventilation systems on the height of the smoke-free zone in a fire within a building // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2009. Vol. 82. No. 6. Pp. 1033–1041. DOI: 10.1007/s10891-010-0290-x
12. *Kuffner W., Hadjisophocleous G.* Method of determining smoke detector spacing in high ceiling applications // Fire Technology. 2010. Vol. 50. No. 3. Pp. 1–22. DOI: 10.1007/s10694-010-0141-5/
13. *Forney G., Bukowski R., Davis W.* Field modeling: simulating the effect of sloped beamed ceilings on detector and sprinkler response, Technical Report Year 2. Fire Protection Research Foundation, Quincy, MA, 1994. 41 p.
14. *Лобаев И.А., Вечтомов Д.А., Плешаков В.В.* Реконструкция начальной стадии пожара с учётом параметров системы обнаружения опасных факторов пожара // Технологии техносферной безопасности. 2018. Вып. 3 (79). С. 19–27. DOI: 10.25257/TTS.2018.3.79.19-27
15. *Кирик Е.С., Дектерев А.А., Литвинцев К.Ю., Харламов Е.Б., Мальшев А.В.* Математическое моделирование эвакуации при пожаре // Математическое моделирование. 2014. Т. 26 (1). С. 3–16. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21276919>
16. *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/SPBPU/2/k19-1
17. *Cox G.* Turbulent closure and the modelling of fire using computational fluid dynamics // Philosophical Transactions of the Royal Society A. 1998. Vol. 356. No. 1748. Pp. 2835–2854. DOI: 10.1098/rsta.1998.0300
18. *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. No 2. Pp. 87–110. DOI: 10.1177/1042391503013002001
19. *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
20. *Рыжов А.М., Хасанов И.Р., Карпов А.В., Волков А.В., Лицкевич В.В., Дектерев А.А.* Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях : методические рекомендации. М. : ВНИИПО, 2002. 35 с.
21. *McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J.* Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. 149 p. DOI: 10.6028/nist.sp.1018
22. *Снегирёв А.Ю.* Моделирование тепломассообмена и горения при пожаре : дис. ... д-ра техн. наук. СПб. : С.-Петербург. политехн. ун-т, 2004. 271 с.
23. *Лобова С.Ф., Принцева М.Ю.* Оценка влияния исходных данных на результаты моделирования распространения горения при оценке эффективности работы автоматической установки пожарной сигнализации // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2019. № 3. С. 70–80. URL: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V113/11.pdf>

24. 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.
25. Снегирев А.Ю., Талалов В.А. Теоретические основы пожаро- и взрывобезопасности. Горение неперемешанных реагентов : учебное пособие. СПб : С.-Петербург. политехн. ун-т, 2008. 212 с.

REFERENCES

1. Voronov S.P., Kondratev S.A., Petrova N.V., Skodtaev S.V., Tumanovsky A.A. *Judicial normative fire-technical expertise*. St. Petersburg, SPbU GPS of EMERCOM of Russia, 2014; 92. (rus.).
2. *Method for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard*. 2nd ed. Moscow, VNIPO, 2016; 79. (rus.).
3. *Method for determining the calculated values of fire risk at production facilities*. Moscow, VNIPO, 2009; 77. (rus.).
4. Abashkin A.A., Karpov A.V., Ushakov D.V., Fomin M.V., Giletich A.N., Komkov P.M. et al. *Handbook on application of "Method for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard"*. Moscow, VNIPO, 2014; 226. (rus.).
5. Gordienko D.M., Shebeko Yu.N., Shebeko A.Yu., Kirillov D.S., Truneva V.A., Giletich A.N. et al. *Manual for determining the calculated values of fire risk for production facilities*. Moscow, VNIPO, 2012; 242. (rus.).
6. *Methodology of forensic fire-technical expertise: basic principles*. Moscow, VNIPO, 2013; 23. (rus.).
7. Schifiliti R.P., Custer R.L.P., Meacham B.J. Design of detection systems. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Chapter 40. Fifth Edition*. Society of Fire Protection Engineers, 2016; 1314-1377. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0
8. Kalmykov S.P., Esin V.M. Fire detection time. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(11):52-63. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.52-63. (rus.).
9. Karpov A.V., Ryzhov A.M. CFD modelling of heat and mass transfer in combustion products ceiling jet over unsteady fire sources. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2001; 10(3):17-24. (rus.).
10. Samoshin D.A., Kholshchevnikov V.V. Problems of regulation of time to start evacuation. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(5):37-51. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51. (rus.).
11. Puzach S.V., Nguyen Thanh Hai. Influence of the rates of gas flows through the smoke-removal and input-ventilation systems on the height of the smoke-free zone in a fire within a building. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2009; 82(6):1033-1041. DOI: 10.1007/s10891-010-0290-x
12. Kuffner W., Hadjisophocleous G. Method of determining smoke detector spacing in high ceiling applications. *Fire Technology*. 2010; 50(3):1-22. DOI: 10.1007/s10694-010-0141-5/
13. Forney G., Bukowski R., Davis W. *Field modeling: simulating the effect of sloped beamed ceilings on detector and sprinkler response, technical report year 2*. Fire Protection Research Foundation, Quincy, MA, 1994; 41.
14. Lobaev I.A., Vechtomov D.A., Pleshakov V.V. Reconstruction of the initial stage of the fire within the parameters of the detection system of dangerous fire factors. *Technology of technosphere safety*. 2018; 3(79): 19-27. DOI: 10.25257/TTS.2018.3.79.19-27 (rus.).
15. Kirik E.S., Degtyarev A.A., Litvintsev K.Yu., Kharlamov E.B., Malyshev A.V. Mathematical modeling of fire evacuation. *Matematicheskoe modelirovanie/Mathematical Models and Computer Simulations*. 2014; 26(1):3-16. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21276919> (rus.).
16. 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; 534-541. DOI: 10.18720/SPBPU/2/k19-1
17. Cox G. Turbulent closure and the modelling of fire using computational fluid dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 1998; 356(1748):2835-2854. DOI: 10.1098/rsta.1998.0300
18. 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
19. 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

20. Ryzhov A.M., Khasanov I.R., Karpov A.V., Volkov A.V., Litskevich V.V., Degtyarev A.A. *Application of the field method of mathematical modeling of fires in premises. Methodical recommendation*. Moscow, VNIPO, 2002; 35. (rus.).
21. McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Vanella M. *Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide*. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013; 149. DOI: 10.6028/nist.sp.1018
22. Snegirev A.Yu. *Modeling of heat and mass transfer and burning in the fire : dissertation... doctor of technical sciences*. Saint Petersburg, 2004; 271. (rus.).
23. LoboVA S.F., Printc'eva M.U. Estimation of the influence of the initial data on the results of the modeling of the fire spread during the automatic fire alarm system effectivity analysis. *Vestnik Sankt-Petersburgskogo Universiteta GPS MCHS Rossii*. 2019; 3:70-80. URL: <https://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V113/11.pdf> (rus.).
24. 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.
25. Snegirev A.Yu., Talalov V.A. Theoretical bases of fire and explosion safety. Burning unturned reagents: tutorial. Saint-Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), 2008; 212. (rus.).

Поступила 24.09.2020, после доработки 01.10.2020;

принята к публикации 07.10.2020

Received September 24, 2020; Received in revised form October 1, 2020;

Accepted October 7, 2020

Информация об авторах

ХАСАНОВ Ирек Равильевич, д-р. техн. наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха, Московская область, Российская Федерация; РИНЦ ID: 157014; ResearcherID: T-4177-2017; ORCID: 0000-0002-5659-0746; e-mail: irhas@rambler.ru

КАРПОВ Алексей Васильевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха, Московская область, Российская Федерация; РИНЦ ID: 338983; ResearcherID: L-7707-2015; ORCID: 0000-0002-0187-3159; e-mail: avkhome@inbox.ru

ЛОБОВА Софья Федоровна, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-7200-599x; e-mail: sophyf@mail.ru

ПЕТРОВА Наталья Вячеславовна, старший научный сотрудник; Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2448-6736; e-mail: n-youn@mail.ru

Information about the authors

Irek R. KHASANOV, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashiha, Moscow Region, Russian Federation; ID RISC: 157014; ResearcherID: T-4177-2017; ORCID: 0000-0002-5659-0746; e-mail: irhas@rambler.ru

Alexey V. KARPOV, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashiha, Moscow Region, Russian Federation; ID RISC: 338983; ResearcherID: L-7707-2015; ORCID: 0000-0002-0187-3159; e-mail: avkhome@inbox.ru

Sofia F. LOBOVA, Senior Researcher, Research Institute for Advanced Research and Innovative Technologies in the Field of Life Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-7200-599x; e-mail: sophyf@mail.ru

Natalia V. PETROVA, Senior Researcher, Research Institute for Advanced Research and Innovative Technologies in the Field of Life Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2448-6736; e-mail: n-youn@mail.ru