

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2024. Т. 33. № 5. С. 61–71  
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2024; 33(5):61-71

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.844.2:006.354

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2024.33.05.61-71>

## Определение огнетушащей способности автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения

Ольга Николаевна Корольченко ✉, Дмитрий Витальевич Поляков,  
Софья Андреевна Ковалева

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Для локализации возгораний в электротехнических шкафах в последнее время все большее распространение получают автономные термоактивируемые устройства газового пожаротушения (АТУГП). Данные устройства производятся, подлежат обязательному подтверждению соответствия в виде сертификации, но нормативные требования к ним и методы испытаний отсутствуют. Их сертификация проводится по техническим решениям, разработанным на основании действующих стандартов и содержащим методы испытаний, которые разработаны для другой продукции, но применимы и для рассматриваемых устройств. Цель настоящей статьи — разработать методику определения огнетушащей способности автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения. Для этого необходимо:

- разработать конструкцию огневой камеры, позволяющей корректно проводить определение огнетушащей способности;
- обеспечить термоактивацию автономных устройств;
- провести апробацию предложенной методики.

**Материалы и методы.** Для определения огнетушащей способности использовалось АТУГП в виде герметично закрытой с обоих торцов полимерной трубки, заполненной газовым огнетушащим веществом в жидкой фазе. Для проведения испытаний были взяты устройства с защищаемым объемом от 50 до 2000 дм<sup>3</sup>. Эксперимент проводился в огневой камере с изменяемым внутренним объемом, изготовленной из негорючего материала в виде шкафа с двумя дверцами.

**Результаты и их обсуждение.** Разработанная методика позволяет определять огнетушащую способность для каждой единицы устройства в отдельности в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации. Серия испытаний показала, что огнетушащая способность рассмотренных АТУГП с защищаемым объемом от 50 до 2000 дм<sup>3</sup> находится в диапазоне от 48 до 125 с.

**Выводы.** Предложена конструкция огневой камеры с изменяющимся объемом, позволяющая корректно проводить определение огнетушащей способности устройств с защищаемым объемом от 200 до 2000 дм<sup>3</sup>. Для обеспечения стабильного срабатывания применен очаг-инициатор, обеспечивающий термоактивацию автономных устройств. Определена огнетушащая способность АТУГП.

**Ключевые слова:** возгорание в электротехнических шкафах; очаг-инициатор; модельный очаг пожара; огневая камера; термоактивация

**Благодарности.** Данная работа была реализована в рамках программы развития передовой инженерно-строительной школы НИУ МГСУ.

**Для цитирования:** Корольченко О.Н., Поляков Д.В., Ковалева С.А. Определение огнетушащей способности автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 5. С. 61–71. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.05.61-71

✉ Корольченко Ольга Николаевна, e-mail: O. Korolchenko@ikbs-mgsu.ru

## Determination of fire extinguishing ability of autonomous thermoactivated gas fire extinguishing devices

Olga N. Korolchenko ✉, Dmitry V. Polyakov, Sofya A. Kovaleva

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** To localize fires in electrical cabinets, autonomous thermoactivated gas fire extinguishing devices (ATG-FED) have recently become more and more widespread. These devices are produced, subject to mandatory confirmation of conformity in the form of certification, but there are no regulatory requirements and test methods for them.

Their certification is carried out according to technical solutions developed on the basis of current standards and containing test methods, which are developed for other products, but applicable to the devices under consideration. The purpose of this paper is to develop a methodology for determining the extinguishing ability of autonomous thermally activated gas fire extinguishing devices. For this purpose, it is necessary to:

- to develop the design of the fire chamber, allowing to correctly carry out the determination of extinguishing capacity;
- to provide thermoactivation of autonomous devices;
- to carry out approbation of the proposed methodology.

**Materials and methods.** To determine the fire extinguishing ability was used ATGFED in the form of hermetically sealed at both ends of the polymer tube filled with gas extinguishing agent in the liquid phase. For testing were taken devices with protected volume from 50 to 2,000 dm<sup>3</sup>. The experiment was conducted in a fire chamber with variable internal volume made of non-combustible material in the form of a cabinet with two doors.

**Results and their discussion.** The developed methodology makes it possible to determine the fire extinguishing capacity for each unit of the device separately under conditions as close as possible to the operating conditions. A series of tests showed that the fire extinguishing capacity of the considered ATGFED with a protected volume from 50 to 2,000 dm<sup>3</sup> is in the range from 48 to 125 seconds.

**Conclusions.** The design of a fire chamber with a variable volume, allowing to correctly carry out the determination of the fire extinguishing ability of devices with a protected volume from 200 to 2,000 dm<sup>3</sup> is proposed. To ensure stable operation, a hearth-initiator is applied, which provides thermal activation of autonomous devices. The fire extinguishing ability of ATGFED is determined.

**Keywords:** fire in electrical cabinets; initiator hearth; model fire centre; fire chamber; thermoactivation; fire chamber; thermoactivation

**Acknowledgments.** The research was funded by Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), (MGSU Advanced Civil Engineering School development programme).

**For citation:** Korolchenko O.N., Polyakov D.V., Kovaleva S.A. Determination of fire extinguishing ability of autonomous thermoactivated gas fire extinguishing devices. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(5):61-71. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.05.61-71 (rus).

✉ Olga Nikolaevna Korolchenko, e-mail: O. Korolchenko@ikbs-mgsu.ru

## Введение

Пожарная безопасность зданий, сооружений, локальных элементов инженерных систем остается актуальной проблемой несмотря на существование различных видов систем пожаротушения. Ни одна из систем не способна обеспечить полную безопасность объектов. Так, например, спринклерные и дренчерные установки не всегда в состоянии сдержать распространение пламени до прибытия пожарных подразделений [1]. Для объектов, находящихся в труднодоступной местности, предлагается применение модулей газового пожаротушения, использующих в качестве тушащего агента сжиженный углекислый газ или фреон [2]. Эффективность систем пожаротушения зависит от типа системы, обслуживания, соответствия стандартам [3] и физических основ их работы, таких как конструктивное исполнение, инерционность, продолжительность подачи средств пожаротушения [4]. Кроме того, продолжается изучение механизмов развития пожара: большая часть пожаров начинается с когерентного плавучего потока газа, поднимающегося над локализованным объемом, в котором происходит горение [5], а при тушении вблизи твердых веществ конвективный тепловой поток достигает максимального значения, после чего затухает из-за прекращения химических реакций [6]. Предлагаются также способы повышения эффективности существующих методов обнаружения: например, комбинация датчи-

ков дыма и температуры может обнаружить пожар на очень ранней стадии и предоставить данные для его локализации [7]. Эффективность тушения повышают за счет модернизации систем пожаротушения, например, путем смешивания сжатого воздуха с водно-пенным раствором либо применения роботизированных систем пожаротушения [8, 9].

В последнее время электроустановки приобрели новый вектор внедрения — в электромобилях. Формируется концепция технических решений для комплектования оперативных пожарных и аварийно-спасательных формирований для тушения пожаров электромобилей [10]. Согласно статистике наблюдается увеличение количества пожаров, связанных с нарушением правил устройства и эксплуатации электрооборудования [11]. Отмечается также, что нарушение правил эксплуатации электрооборудования является второй по распространенности причиной пожаров в РФ после неосторожного обращения с огнем. Для защиты объектов с электронным оборудованием применяют как генераторы огнетушащего аэрозоля (ГОА) [12], установки тонкораспыленной воды [13], так и установки газового пожаротушения [14, 15].

Для локализации возгораний в электротехнических шкафах в последнее время все большее распространение получают автономные термоактивируемые устройства газового пожаротушения

(АТУГП) [16]. Примеры таких устройств приведены в патентах<sup>1, 2</sup>.

При этом мы наблюдаем некоторый юридический казус. Технический регламент ЕЭС<sup>3</sup> предъявляет требование к автономным устройствам пожаротушения обеспечивать подачу огнетушащего вещества (ОТВ) с требуемыми (нормируемыми) характеристиками при их срабатывании от воздействия одного или нескольких опасных факторов пожара. Перечень продукции, в отношении которой подача таможенной декларации сопровождается представлением документа об оценке соответствия<sup>4</sup>, также включает в себя автономные устройства пожаротушения, а перечень документов по стандартизации, обеспечивающих соблюдение требований ТР<sup>3</sup>, в разделе «Устройства пожаротушения автономные» содержит документы<sup>5, 6, 7, 8</sup> [17]. Таким образом, мы имеем следующее: автономные термоактивируемые устройства газового пожаротушения производятся, подлежат обязательному подтверждению соответствия в виде сертификации, но нормативные требования к ним и методы испытаний отсутствуют. Так как ТР ЕАЭС 043/2017<sup>3</sup> предусматривает возможность в случае отсутствия стандартов применять для подтверждения соответствия технические решения, то производители, органы по сертификации и испытательные лаборатории пользуются этой возможностью. Технические решения разрабатываются на основании действующих стандартов и содержат методы испытаний, которые разработаны для другой продукции, но применимы для рассматриваемых устройств.

<sup>1</sup> RU 210431 U1. Автономная установка пожаротушения (заявка 2021120428 от 12.07.2021; опубл. 15.04.2022. Бюл. № 11).

<sup>2</sup> RU 214139 U1. Автономное устройство пожаротушения монокапсульного типа направленного действия (заявка 2022122988 от 26.08.2022; опубл. 12.10.2022. Бюл. № 29).

<sup>3</sup> О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения (ТР ЕАЭС 043/2017) : Технический регламент ЕЭС.

<sup>4</sup> Об утверждении перечня продукции, в отношении которой подача таможенной декларации сопровождается представлением документа об оценке соответствия (сведений о документе об оценке соответствия) требованиям технического регламента Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» : Решение Коллегии ЕЭК от 08.10.2019 № 170.

<sup>5</sup> ГОСТ Р 53284–2009. Техника пожарная. Генераторы огнетушащего аэрозоля. Общие технические требования. Методы испытаний.

<sup>6</sup> ГОСТ Р 56459–2015. Устройства пожаротушения автономные с применением термоактивируемых микрокапсулированных газовыделяющих огнетушащих веществ. Общие технические требования. Методы испытаний.

<sup>7</sup> СТ РК 1489–2006. Техника пожарная. Генераторы огнетушащего аэрозоля. Общие технические требования. Методы испытаний.

<sup>8</sup> ГОСТ 34635–2020. Техника пожарная. Генераторы огнетушащего аэрозоля. Общие технические требования и методы испытаний.

Технические решения, разработанные для целей подтверждения соответствия автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения требованиям ТР<sup>3</sup>, содержат подтверждаемые технические характеристики и методы испытаний. Характеристики, как правило, указываются следующие: классы загораний и пожаров по ГОСТу<sup>9</sup>, защищаемый объем, температура эксплуатации, максимальное напряжение защищаемого оборудования, снаряженная масса, масса ОТВ, габаритные размеры. Для подтверждения соответствия указанных характеристик применяют методы испытаний, указанные в ГОСТах<sup>6, 5</sup> (ГОСТ<sup>5</sup> отменен в 2023 г. в связи с вступлением в силу ГОСТа<sup>8</sup>) и ГОСТ 34635-2020<sup>8</sup>.

В литературе неоднократно указывалось на необходимость для безотказной работы установок пожаротушения совершенствовать методы огневых испытаний [18, 19], а также проводить натурные испытания для определения огнетушащих характеристик устройств пожаротушения [20].

Одним из основных испытаний является определение огнетушащей способности автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения. Для устройств с защищаемым объемом до 180 дм<sup>3</sup> эти исследования проводят в огневых камерах по ГОСТ<sup>6</sup>, применяемых для автономных устройств пожаротушения с использованием термоактивируемых микрокапсулированных газовыделяющих ОТВ, в простонародье называемых пиростикерами. Данный стандарт предусматривает использовать для каждого устройства отдельную огневую камеру с соответствующим объемом и нормирует модельные очаги пожара (МОП) для камер разного объема. Для устройств с защищаемым объемом свыше 180 дм<sup>3</sup> эти исследования проводят в огневых камерах<sup>8</sup>, применяемых для генераторов огнетушащего аэрозоля. Именно этот вариант рассмотрим подробнее.

Для определения огнетушащей способности ГОА применяют огневую камеру — условно герметичное испытательное помещение из негорючего материала, объем которого должен быть равен сумме максимальных объемов защищаемых условно герметичных помещений для всех одновременно испытываемых ГОА одного типоразмера, при этом отношение длины к ширине и длины к высоте должно находиться в пределах от 1:1 до 2:1. В огневой камере устанавливают не менее четырех МОП класса В (рис. 1): два очага — на высоте относительно пола на уровне 10 % и по одному — на уровнях 50 и 90 % от высоты камеры. Так как общая высота МОП класса В составляет 210 мм, то минимальная высота камеры должна быть 2100 мм (лучше 2200 мм), чтобы были выпол-

<sup>9</sup> ГОСТ 27331–87 (СТ СЭВ 5637–86). Пожарная техника. Классификация пожаров.

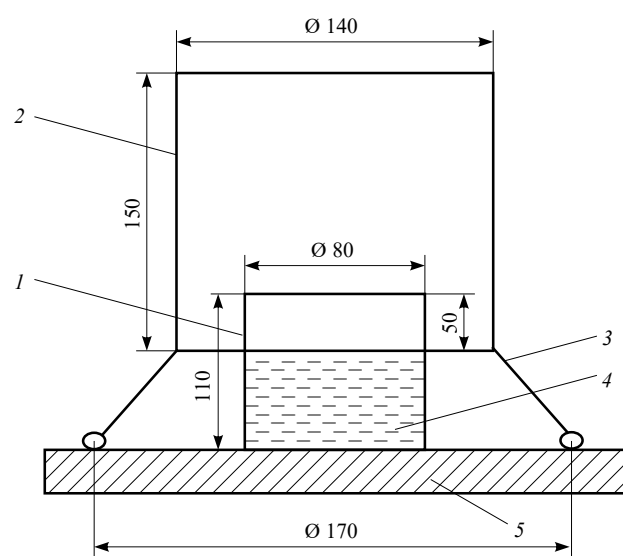


Рис. 1. Модельный очаг пожара класса В: 1 — горелка; 2 — защитный экран; 3 — опорные стержни экрана; 4 — горючая жидкость; 5 — опора

Fig. 1. Model fire centre of class B: 1 — burner; 2 — protective screen; 3 — screen support rods; 4 — flammable liquid; 5 — support

нены требования по их размещению. Следовательно, исходя из требований по соотношению сторон, минимальный размер камеры должен составлять  $2,2 \times 2,2 \times 1,1$  м (высота  $\times$  длина  $\times$  ширина), а ее минимальный объем —  $5,3 \text{ м}^3$ .

Аналогичная ситуация с размерами огневой камеры для испытаний с применением очага подкласса

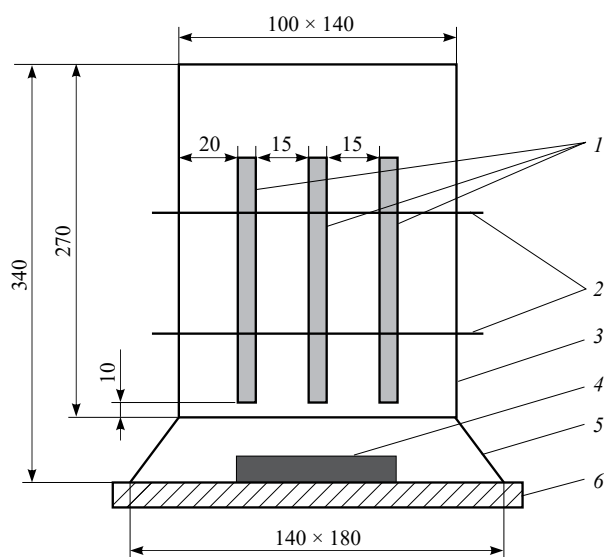


Рис. 2. Модельный очаг пожара подкласса А2: 1 — полимерные пластины; 2 — направляющие стержни для пластин очага; 3 — защитный экран; 4 — противень для зажигания полимерных пластин очага; 5 — опорные стержни защитного экрана в количестве 3 шт.; 6 — опора

Fig. 2. Model fire centre of subclass A2: 1 — polymer plates; 2 — guide rods for hearth plates; 3 — protective screen; 4 — tray for ignition of hearth polymer plates; 5 — support rods of the protective screen in number of 3 pieces; 6 — support

А2. Три МОП высотой 340 мм (рис. 2) устанавливаются вертикально таким образом, чтобы их нижние торцы находились на расстоянии от пола, равном 10, 50 и 90 % высоты. Тогда минимальный размер камеры должен быть  $3,5 \times 3,5 \times 1,75$  м (высота  $\times$  длина  $\times$  ширина), а ее минимальный объем —  $21,4 \text{ м}^3$ . Результаты испытаний считают положительными, если в двух экспериментах из трех получены положительные результаты. При положительном результате в первых двух испытаниях третье испытание не проводят. При этом следует обратить внимание, что ГОСТ Р 53284<sup>5</sup> не содержал конструкции очага подкласса А2, а только определял размеры полимерных пластин, что позволяло использовать камеру объемом  $5,3 \text{ м}^3$ .

При использовании данной методики получаем, что для определения огнетушащей способности автономных устройств с защищаемым объемом  $200 \text{ дм}^3$  для тушения МОП класса В на огневую камеру объемом  $5,3 \text{ м}^3$  необходимо одновременно разместить 27 устройств, а эксперимент повторить минимум 2 раза. Для тушения МОП подкласса А2 на огневую камеру объемом  $21,4 \text{ м}^3$  необходимо одновременно разместить уже 107 устройств и т.д. Но есть и еще одна проблема, связанная с тем, что у АТУГП, как правило, отсутствует возможность принудительного пуска. Их активация происходит за счет теплового потока от МОП, и при одновременном размещении двух и более автономных устройств в испытательной камере нет возможности обеспечить их одновременное срабатывание, что негативно отражается на стабильности результатов. Таким образом, получается, что методика определения огнетушащей способности генераторов огнетушащего аэрозоля непригодна для автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения.

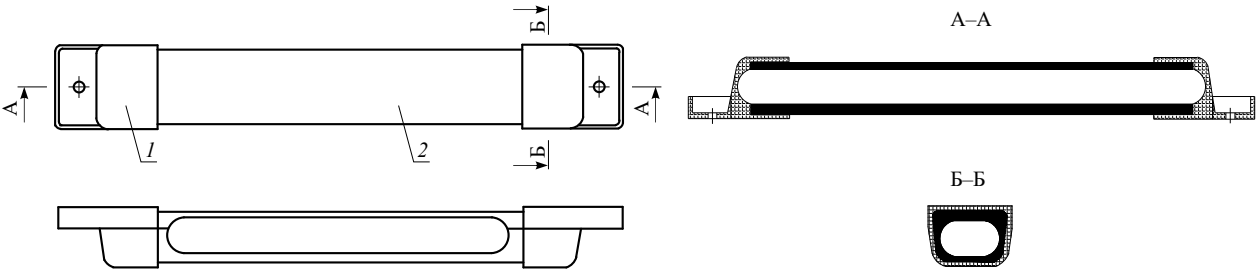
**Цель** настоящей статьи — разработать методику определения огнетушащей способности автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения. Для этого необходимо:

- разработать конструкцию огневой камеры, позволяющей корректно проводить определение огнетушащей способности;
- обеспечить термоактивацию автономных устройств;
- провести апробацию предложенной методики.

## Материалы и методы

Для определения огнетушащей способности использовались автономные термоактивируемые устройства газового пожаротушения в виде герметично закрытой с обоих торцов полимерной трубки, заполненной газовым огнетушащим веществом в жидкой фазе (рис. 3).

Для проведения испытаний были взяты устройства с защищаемым объемом от 50 до  $2000 \text{ дм}^3$  с шагом 100. Эксперимент проводился в огневой камере с изменя-



**Рис. 3.** Общий вид автономного термоактивируемого устройства газового пожаротушения: 1 — полимерная капсула с газовым огнетушащим веществом; 2 — кронштейны для крепления  
**Fig. 3.** General view of autonomous thermoactivated gas fire extinguishing device: 1 — polymer capsule with gas extinguishing agent; 2 — mounting brackets

мым внутренним объемом (далее – камера), изготовленной из негорючего материала в виде шкафа с двумя дверцами. В дверцах выполнены вставки из закаленного стекла, защищенные с наружной стороны металлической сеткой. Огневая камера имеет следующие (внутренние) размеры (глубина × ширина × высота): 800 × 1200 × 2100 мм. Для изменения внутреннего объема огневой камеры используются перегородки также из негорючего материала (две вертикальные и две горизонтальные). Конструкция огневой камеры с изменяемым объемом содержит расположенные на нижней грани (на дне) шкафа проемы, выполненные в виде отверстий диаметром (35,00<sup>+0,35</sup>) мм в количестве 100 шт. (в зависимости от установленного объема) с возможностью их открытия и закрытия. В задней стенке и горизонтальных перегородках огневой камеры устроены дополнительные проемы с возможностью регулирования площади открытия для регулировки воздухообмена. Количество отверстий в разграниченном отделении огневой камеры зависит от объема огневой камеры в соответствии с табл. 1.

Фактический объем огневой камеры соответствует максимально допустимому объему, для которого устройство пожаротушения обеспечивает огнетушащую способность согласно ТД, или превышает его не более чем на 5 %.

Для камер высотой до 1000 мм использовался один модельный очаг пожара, расположенный по центральной оси на середине высоты огневой камеры.

Для огневой камеры высотой от 1000 мм применялся один модельный очаг пожара класса В и один очаг-инициатор, используемый для инициирования устройства пожаротушения (рис. 4).

Очаг-инициатор выполнен в виде противня из негорючего материала высотой 30 мм и размером 300 × 60 мм, заполненного горючей жидкостью (бензин<sup>10</sup> или н-гептан<sup>11</sup>). Количество горючей жидкости

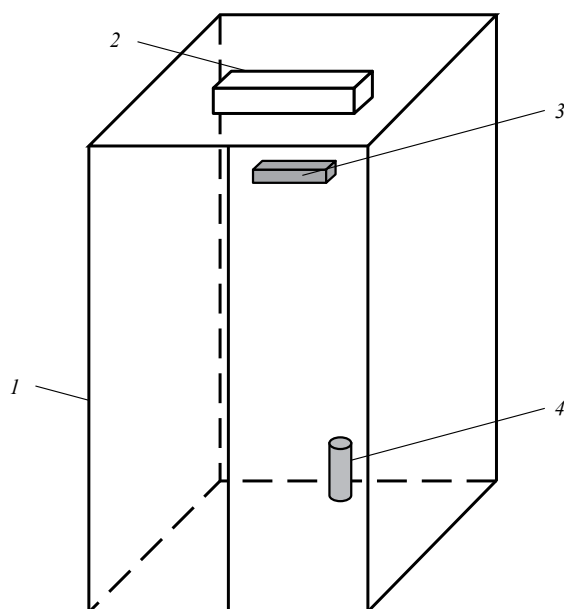
в очаге-инициаторе составляло (75 ± 5) г для обеспечения свободного горения горючей жидкости в течение (120 ± 30) с. Очаг-инициатор устанавливали по центральной оси на высоте (300 ± 50) мм от верхнего торца очага до устройства пожаротушения, закрепленного в верхней части огневой камеры.

**Таблица 1.** Зависимость количества отверстий от объема огневой камеры  
**Table 1.** Dependence of the number of holes on the volume of the fire chamber

| Объем огневой камеры, дм <sup>3</sup><br>Fire chamber volume, dm <sup>3</sup> | Размер разграниченного отделения, мм<br>Size of delimited compartment, mm | Количество отверстий<br>Number of openings |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 200                                                                           | 400 × 600 × 840                                                           | 10                                         |
| 300                                                                           | 400 × 600 × 1250                                                          | 15                                         |
| 400                                                                           | 600 × 600 × 1150                                                          | 20                                         |
| 500                                                                           | 800 × 600 × 1050                                                          | 25                                         |
| 600                                                                           | 800 × 600 × 1250                                                          | 30                                         |
| 700                                                                           | 800 × 600 × 1500                                                          | 35                                         |
| 800                                                                           | 800 × 600 × 1700                                                          | 40                                         |
| 900                                                                           | 800 × 600 × 1900                                                          | 45                                         |
| 1000                                                                          | 800 × 600 × 2100                                                          | 50                                         |
| 1100                                                                          | 800 × 1200 × 1150                                                         | 55                                         |
| 1200                                                                          | 800 × 1200 × 1250                                                         | 60                                         |
| 1300                                                                          | 800 × 1200 × 1400                                                         | 65                                         |
| 1400                                                                          | 800 × 1200 × 1500                                                         | 70                                         |
| 1500                                                                          | 800 × 1200 × 1600                                                         | 75                                         |
| 1600                                                                          | 800 × 1200 × 1700                                                         | 80                                         |
| 1700                                                                          | 800 × 1200 × 1800                                                         | 85                                         |
| 1800                                                                          | 800 × 1200 × 1900                                                         | 90                                         |
| 1900                                                                          | 800 × 1200 × 2000                                                         | 95                                         |
| 2000                                                                          | 800 × 1200 × 2100                                                         | 100                                        |

<sup>10</sup> Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 51105–2020. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Бензин неэтилированный. Технические условия.

<sup>11</sup> ГОСТ 25828–83. Гептан нормальный эталонный. Технические условия.



**Рис. 4.** Общий вид огневой камеры с изменяемым внутренним объемом и размещенными в ней модельным очагом пожара и очагом-инициатором: 1 — огневая камера с изменяемым внутренним объемом; 2 — устройство газового пожаротушения автономное термоактивируемое; 3 — очаг-инициатор; 4 — модельный очаг пожара

**Fig. 4.** General view of the fire chamber with a variable internal volume and a model fire centre and initiator: 1 — fire chamber with variable internal volume; 2 — autonomous thermoactivated gas fire extinguishing device; 3 — initiator hearth; 4 — model fire centre

Модельный очаг пожара (см. рис. 1 и 2) расположен таким образом, чтобы нижний торец находился на расстоянии от пола, равном 10 % от высоты камеры, и на расстоянии 50 мм от задней стенки. Очаг-инициатор установлен по центральной оси на высоте  $(300 \pm 50)$  мм от верхнего торца очага до устройства пожаротушения, закрепленного в верхней части огневой камеры.

Перед началом огневых испытаний проводилась проверка воздухообмена в огневой камере. Метод проверки предусматривает контроль изменения массы горючего вещества МОП в результате свободного горения и последующего самотушения в огневой камере при отсутствии устройства пожаротушения. Цель проверки — убедиться, что постоянно открытые проемы и плотность конструктивных элементов огневой камеры обеспечивают достаточный воздухообмен, при котором потеря массы сгораемой части МОП составляет не менее 90 %.

После проверки воздухообмена проводились испытания по определению огнетушащей способности. Поджигали подготовленный и взвешенный МОП, размещенный в огневой камере, и измеряли время с момента зажигания МОП до его тушения с помощью устройства пожаротушения. Тушение МОП определялось визуально по прекращению пламенного горения и интенсивного дымовыделения из камеры.

Затем огневая камера выдерживалась в закрытом положении 3 мин, в течение которых фиксировалось наличие или отсутствие повторного загорания. После каждого огневого испытания проводилась очистка камеры от остатков горючего материала и продуктов сгорания, а также ее проветривание и охлаждение с открытой дверцей не менее 2 ч.

Таким образом проводились испытания трех образцов устройств для тушения пожара класса В и подкласса А2.

Результаты каждой пары огневых опытов считались положительными, если в каждом опыте:

- время тушения МОП не превышало 5 мин;
- в течение 3 мин после тушения не происходило повторного воспламенения.

Результаты огневых испытаний по проверке огнетушащей способности устройства пожаротушения для МОП каждого класса пожара считают положительными, если в трех последовательно проведенных парах огневых опытов получены положительные результаты.

## Результаты и их обсуждение

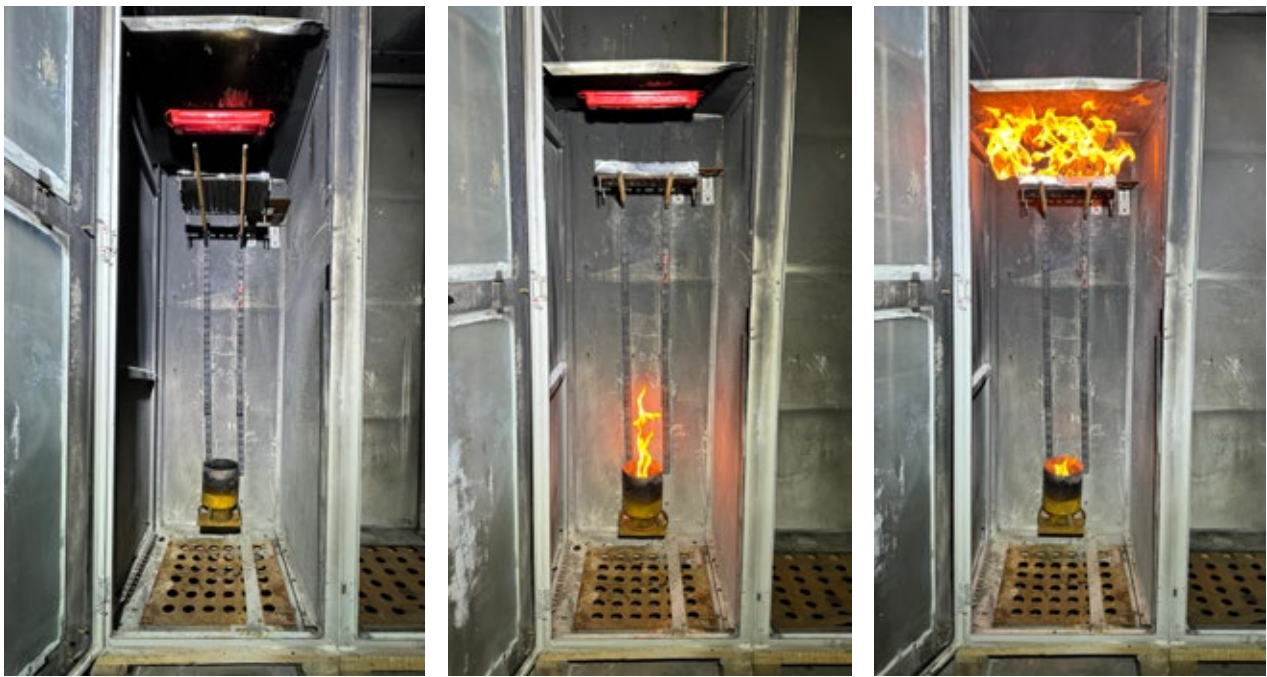
Согласно описанной методике были проведены испытания автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения, предназначенных для различных защищаемых объемов. Перед началом испытаний проводилась проверка воздухообмена в огневых камерах. Результаты проверки, приведенные в табл. 2, показывают, что воздухообмен в камере обеспечивает потерю массы сгораемой части МОП не менее 90 %.

Затем проводилась проверка огнетушащей способности устройства пожаротушения для МОП каждого класса пожара. Устройства АТУГП 50 и АТУГП 150 испытывались в огневых шкафах<sup>6</sup>,

**Таблица 2.** Результаты проверки воздухообмена в огневых камерах

**Table 2.** Results of air exchange test in fire chambers

| Объем камеры, дм <sup>3</sup><br>Chamber volume, dm <sup>3</sup> | Высота камеры, мм<br>Chamber height, mm | Потеря массы, %, МОП<br>Weight loss, %, MFS |    |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|----|
|                                                                  |                                         | A2                                          | B  |
| 50                                                               | 790                                     | 94                                          | 93 |
| 150                                                              | 890                                     | 93                                          | 93 |
| 200                                                              | 840                                     | 93                                          | 93 |
| 300                                                              | 1250                                    | 93                                          | 93 |
| 400                                                              | 1150                                    | 94                                          | 93 |
| 600                                                              | 1250                                    | 93                                          | 94 |
| 800                                                              | 1700                                    | 93                                          | 93 |
| 1200                                                             | 1250                                    | 93                                          | 94 |
| 1600                                                             | 1700                                    | 93                                          | 94 |
| 2000                                                             | 2100                                    | 94                                          | 94 |



**Рис. 5.** Определение огнетушащей способности автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения  
**Fig. 5.** Determination of extinguishing capacity of autonomous thermoactivated gas extinguishing devices

а устройства АТУГП 200 – АТУГП 2000 — в огневой камере с изменяемым внутренним объемом (рис. 5).

Результаты испытаний приведены в табл. 3 (указаны средние значения для трех опытов).

Для всех испытанных устройств время тушения МОП не превысило 5 мин, повторное возгорание в течение 3 мин после тушения отсутствовало. Из табл. 3 видно, что максимальное время тушения 125 и 122 с для А2, 79 и 80 с — для В показали соответственно АТУГП 150 и АТУГП 200.

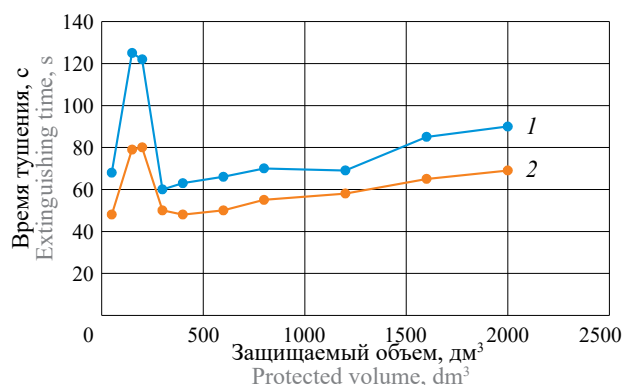
Это обусловлено тем, что их испытания проводились в камерах высотой соответственно 890 и 840 мм на одном модельном очаге пожара, расположенном по центральной оси на середине высоты огневой камеры. При этом расстояние от МОП до устройств пожаротушения было максимальным по сравнению с другими испытанными образцами. При испытании образцов с защищаемым объемом 300 дм³ и более дополнительно использовался очаг-инициатор, расположенный по центральной оси на высоте 300 мм от верхнего торца очага до устройства пожаротушения. С увеличением объема огневой камеры происходило плавное увеличение времени тушения, что хорошо видно на рис. 6.

Нужно также отметить, что время тушения очагов подкласса А2 несколько больше, чем очагов класса В. Это связано со скоростью нарастания температуры в зоне установки устройства пожаротушения при горении очагов А2 и В (рис. 7). Представленные на рис. 7 данные получены при установке МОП таким образом, чтобы верхняя кромка очага находилась на расстоянии

**Таблица 3.** Результаты испытаний по проверке огнетушащей способности устройства пожаротушения для МОП подкласса А2 и класса В

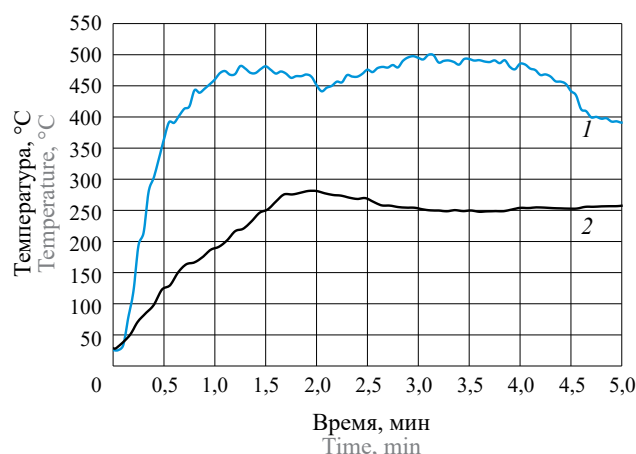
**Table 3.** Fire extinguishing device extinguishing capacity test results for MFS subclass A2 and class B

| Модель<br>Model           | Время тушения,<br>с, МОП<br>Extinguishing<br>time, s, MFS |    | Повторное возгорание<br>в течение 3 мин после<br>тушения<br>Re-ignition within 3 min<br>after extinguishing |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | A2                                                        | B  |                                                                                                             |
| АТУГП 50<br>ATGFED 50     | 68                                                        | 48 | Отсутствует<br>Absent                                                                                       |
| АТУГП 150<br>ATGFED 150   | 125                                                       | 79 |                                                                                                             |
| АТУГП 200<br>ATGFED 200   | 122                                                       | 80 |                                                                                                             |
| АТУГП 300<br>ATGFED 300   | 60                                                        | 50 |                                                                                                             |
| АТУГП 400<br>ATGFED 400   | 63                                                        | 48 |                                                                                                             |
| АТУГП 600<br>ATGFED 600   | 66                                                        | 50 |                                                                                                             |
| АТУГП 800<br>ATGFED 800   | 70                                                        | 55 |                                                                                                             |
| АТУГП 1200<br>ATGFED 1200 | 69                                                        | 58 |                                                                                                             |
| АТУГП 1600<br>ATGFED 1600 | 85                                                        | 65 |                                                                                                             |
| АТУГП 2000<br>ATGFED 2000 | 90                                                        | 69 |                                                                                                             |



**Рис. 6.** Зависимость времени тушения МОП А2 (1) и В (2) от защищаемого объема автономными термоактивируемыми устройствами газового пожаротушения

**Fig. 6.** Dependence of extinguishing time of MFS A2 (1) and B (2) on the protected volume by autonomous thermoactivated gas fire extinguishing devices



**Рис. 7.** Зависимость температуры, создаваемой МОП, от времени: 1 — н-гептан; 2 — полипропилен

**Fig. 7.** Time dependence of the temperature generated by MFS: 1 — n-heptane; 2 — polypropylene

300 мм от термоэлектрического преобразователя, применяемого для измерения температуры.

## Выводы

В ходе работы проведен анализ существующих методик определения огнетушащей способности автономных устройств пожаротушения. Выявлено, что методику определения огнетушащей способности генераторов огнетушащего аэрозоля невозможно применять для автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения. Это связано с тем, что у АТУГП, как правило, отсутствует возможность принудительного пуска: их активация происходит за счет теплового потока от МОП. Кроме того, при одновременном размещении двух и более автономных устройств в испытательной камере нет возможности обеспечить их одновременное срабатывание, что негативно отражается на стабильности результатов. А методика для автономных устройств пожаротушения с применением термоактивируемых микрокапсулированных газовыделяющих огнетушащих веществ предназначена для устройств с защищаемым объемом до 180  $\text{dm}^3$  и не распространяется на большие объемы.

Разработанная методика позволяет определять огнетушащую способность для каждой единицы устройства в отдельности, создавая условия проведения испытаний, максимально приближенные к условиям эксплуатации.

Предложена конструкция огневой камеры с изменяющимся объемом, позволяющая корректно проводить определение огнетушащей способности устройств с защищаемым объемом от 200 до 2000  $\text{dm}^3$ .

Для обеспечения стабильного срабатывания применен очаг-инициатор, обеспечивающий термоактивацию автономных устройств.

Серия испытаний для автономных термоактивируемых устройств показала, что огнетушащая способность испытанных АТУГП с защищаемым объемом от 50 до 2000  $\text{dm}^3$  находится в диапазоне от 48 до 125 с.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бондар А.И., Мешалкин Е.А., Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Цариченко С.Г. Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2019. № 28 (6). С. 71–79. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79. EDN BSRSQZ.
2. Квасов М.В., Легкова И.А., Никифоров А.Л. Разработка бюджетных систем пожаротушения для объектов индивидуального жилищного строительства // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 72–78. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-byudzhetnyh-sistem-pozharotusheniya-dlya-obektov-individualnogo-zhilishnogo-stroitelstva> (дата обращения: 09.09.2024).
3. Агафонов В.В., Бухтояров Д.В., Казаков А.В., Копылов С.Н., Голубчиков В.Б., Житков А.В., Голубев А.Д. Повышение эффективности и безопасности практического применения средств аэрозольного пожаротушения // XXIX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: мат. конф. (г. Балашиха, 5 июля 2017 г.). В 2 ч. Ч. 2. Балашиха: ВНИИПО, 2017. С. 341–344.
4. Жвакин М.В., Оруджова О.Н. Физические основы работы современных систем пожаротушения // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 1. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_37034768\\_69250314.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_37034768_69250314.pdf) (дата обращения: 09.09.2024). EDN YYIZHF.
5. Heskestad G. Fire plumes, flame height, and air entrainment // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Springer, New York, NY, 2016. Pp. 396–428. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0\_13

6. Delichatsios M.A. Surface extinction of flames on solids: some interesting results // Proceedings of the Combustion Institute. 2007. Vol. 31. Issue 2. Pp. 2749–2756. DOI: 10.1016/j.proci.2006.08.032
7. Xin Y., Burchesky K., De Vries J., Magistrale H., Zhou X., D'Aniello S. SMART sprinkler protection for highly challenging fires — Part 1: system design and function evaluation // Fire Technology. 2017. Vol. 53. Pp. 1847–1884. DOI: 10.1007/s10694-017-0662-2
8. Lee J.-W., Lim W.-S., Kim S.-S., Rie D.-H. A study on fire extinguishing performance evaluation of compressed air foam system // Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering. 2012. Vol. 26. Issue 5. Pp. 73–78. DOI: 10.7731/kifse.2012.26.5.073
9. Liu P., Yu H., Cang S., Vladareanu L. Robot-assisted smart firefighting and interdisciplinary perspectives // Proceedings of 22nd International Conference on Automation and Computing (ICAC). University of Essex, Colchester, UK, September 7–8, 2016. Colchester, UK, 2016. Pp. 395–401. DOI: 10.1109/ICAC.2016.7604952
10. Алешков М.В., Иощенко Д.А., Ольховский И.А. Пожары различных видов электроустановок и способы их тушения // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. № 29 (5). С. 51–59. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.05.51-59
11. Корнилов А.А., Бородин А.А., Мосяков М.В. О необходимости применения автономных установок пожаротушения для защиты электрических шкафов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2017. Т. 1. С. 368–373. EDN ZANCZV.
12. Боровков И.А. Способ защиты крупных объектов с электронным оборудованием твердотопливными импульсными генераторами огнетушащего аэрозоля // Территория Нефтегаз. 2021. № 5–6. С. 80–81.
13. Алешков М.В., Гусев И.А. Обеспечение технологии пожаротушения в замкнутых объемах помещений объектов энергетики // Системы безопасности : мат. Междунар. науч.-техн. конф. 2017. № 26. С. 176–179.
14. Пушкин В.А. Применение автономных установок газового пожаротушения для противопожарной защиты приборных и электротехнических шкафов // Территория Нефтегаз. 2006. № 11. С. 38–43. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-avtonomnyh-ustanovok-gazovogo-pozharotusheniya-dlya-protivopozharnoy-zaschity-pribornyh-i-elektrotehnicheskikh-shkafov> (дата обращения: 09.09.2024).
15. Корольченко А.Я., Шилина Е.Н. Газовое пожаротушение // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. № 25 (5). С. 57–65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65
16. Дмитриев О.В., Попов В.И., Пуганов М.В. Применение микрокапсул в тушении пожаров // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 59–65. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-mikrokapsul-v-tushenii-pozharov> (дата обращения: 09.09.2024).
17. Мизина Е.Н., Васильев Г.Н., Егорова Т.Н., Утюгова Н.А. Автономные установки и устройства пожаротушения. Особенности применения и сертификации // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2022. № 1 (11). С. 56–60. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtonomnye-ustanovki-i-ustroystva-pozharotusheniya-osobennosti-primeneniya-i-sertifikatsii> (дата обращения: 09.09.2024).
18. Селиверстов В.И., Саенкова А.Б. Анализ эффективности работы автоматических установок пожаротушения // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXXIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию образования ФГБУ ВНИИПО МЧС России (г. Балашиха, 23–24 августа 2022 г.). Балашиха : ВНИИПО, 2022. С. 241–248.
19. Саркисов С.В., Рузманов М.Д., Потапенко В.В., Булат В.А. Методика и результаты испытаний автоматической системы противопожарной защиты, разработанной для подземных объектов // Военный инженер. 2021. № 4 (22). С. 35–44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-i-rezultaty-ispytaniy-avtomaticheskoy-sistemy-protivopozharnoy-zaschity-razrabotannoy-dlya-podzemnyh-obektov> (дата обращения: 09.09.2024).
20. Танаева М.С., Семиглазов В.А. Разработка автономной системы автоматического пожаротушения для 3D-принтеров // Электронные средства и системы управления : матер. докладов Междунар. науч.-практ. конф. 2018. № 1–2. С. 247–251.

## REFERENCES

1. Bondar A.I., Meshalkin E.A., Tanklevskiy L.T., Tarantsev A.A., Tsarichenko S.G. About features of application of automatic fire containment installations. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(6):71–79. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79. EDN BSRSQZ. (rus).
2. Kvasov M.V., Legkova I.A., Nikiforov A.L. Development of budget fire extinguishing systems for individual housing construction objects. *Modern Problems of Civil Protection*. 2022; 2(43):72–78. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-byudzhethnyh-sistem-pozharotusheniya-dlya-obektov-individualnogo-zhilishchnogo-stroitelstva> (accessed: 09.09.2024). (rus).
3. Agafonov V.V., Bukhtoyarov D.V., Kazakov A.V., Kopylov S.N., Golubchikov V.B., Zhitkov A.V., Golubev A.D. Increasing the efficiency and safety of the practical use of aerosol fire extinguishing agents. *XXIX International Scientific and*

- Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the Federal State Budgetary Institution VNIPO EMERCOM of Russia : conference materials (Balashikha, July 5, 2017). In 2 parts. Part 2. Balashikha, VNIPO, 2017; 341-344. (rus).*
4. Zhvakina M.V., Orudzhova O.N. Physical fundamentals of modern fire extinguishing systems. *International Student Scientific Newsletter*. 2019; 1. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_37034768\\_69250314.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_37034768_69250314.pdf) (accessed: 09.09.2024). EDN YYIZHF. (rus).
  5. Heskestad G. Fire plumes, flame height, and air entrainment. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Springer, New York, NY, 2016; 396-428. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0\_13
  6. Delichatsios M.A. Surface extinction of flames on solids: some interesting results. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2007; 31(2):2749-2756. DOI: 10.1016/j.proci.2006.08.032
  7. Xin Y., Burchesky K., De Vries J., Magistrale H., Zhou X., D'Aniello S. SMART sprinkler protection for highly challenging fires — Part 1: system design and function evaluation. *Fire Technology*. 2017; 53:1847-1884. DOI: 10.1007/s10694-017-0662-2
  8. Lee J.-W., Lim W.-S., Kim S.-S., Rie D.-H. A study on fire extinguishing performance evaluation of compressed air foam system. *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*. 2012; 26(5):73-78. DOI: 10.7731/kifse.2012.26.5.073
  9. Liu P., Yu H., Cang S., Vladareanu L. Robot-assisted smart firefighting and interdisciplinary perspectives. *Proceedings of 22nd International Conference on Automation and Computing (ICAC). University of Essex, Colchester, UK, September 7–8, 2016*. Colchester, UK, 2016; 395-401. DOI: 10.1109/ICoAC.2016.7604952
  10. Aleshkov M.V., Ioshchenko D.A., Olkhovsky I.A. Various electrical fires and firefighting methods. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(5):51-59. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.05.51-59 (rus).
  11. Kornilov A.A., Borodin A.A., Mosyakov M.V. About necessity of application of autonomous fire extinguishing units for protection of electric cabinets. *Problems of Ensuring Safety During Emergency Response*. 2017; 1:368-373. EDN ZANCZV. (rus).
  12. Borovkov I.A. Method of protection of large objects with electronic equipment by solid fuel pulse generators of extinguishing aerosol. *Oil and Gas Territory*. 2021; 5-6:80-81. (rus).
  13. Aleshkov M.V., Gusev I.A. Ensuring technology of fire extinguishing in the closed power engineering facilities. *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Safety Systems"*. 2017; 26:176-179. (rus).
  14. Pushkin V.A. Application of autonomous gas fire extinguishing systems for fire protection of instrument and electrical cabinets. *Oil and Gas Territory*. 2006; 11:38-43. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-avtonomnykh-ustanovok-gazovogo-pozharotusheniya-dlya-protivopozharnoy-zaschity-pribornyyh-i-elektrotehnicheskikh-shkafov> (accessed: 09.09.2024). (rus).
  15. Korolchenko A.Ya., Shilina E.N. Gas extinguishing. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(5):57-65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65 (rus).
  16. Dmitriyev O.V., Popov V.I., Puganov M.V. The use of microcapsules in fire fighting. *Modern Problems of Civil Protection*. 2022; 2(43):59-65. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-mikrokapsul-v-tushenii-pozharov> (accessed: 09.09.2024). (rus).
  17. Mizina E.N., Vasil'ev G.N., Egorova T.N., Utyugova N.A. Autonomous systems and fire extinguishing devices. features of application and certification. *Current Fire Safety Issues*. 2022; 1(11):56-60. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtonomnye-ustanovki-i-ustroystva-pozharotusheniya-osobennosti-primeneniya-i-sertifikatsii> (accessed: 09.09.2024). (rus).
  18. Seliverstov V.I., Saenkova A.B. Analysis of the efficiency of automatic fire extinguishing system. *XXXIV International Scientific and Practical Conference dedicated to the 85th anniversary of the Federal State Budgetary Institution VNIPO EMERCOM of Russia : conference materials (Balashikha, August 23–24, 2022)*. Balashikha, VNIPO, 2022; 241-248. (rus).
  19. Sarkisov S.V., Ruzmanov M.D., Potapenko V.V., Bulat V.A. Methodology and test results of an automatic fire protection system developed for underground facilities. *Military Engineer*. 2021; 4(22):35-44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-i-rezultaty-ispytaniy-avtomaticheskoy-sistemy-protivopozharnoy-zaschity-razrabotannoy-dlya-podzemnykh-obektov> (accessed: 09.09.2024). (rus).
  20. Tanaeva M.S., Semiglazov V.A. Development of an autonomous automatic fire extinguishing system for 3D printers. *Electronic Devices and Control Systems. International Scientific-Practical Conference*. 2018; 1-2:247-251. (rus).

Поступила 18.09.2024, после доработки 27.09.2024;

принята к публикации 30.09.2024

Received September 18, 2024; Received in revised form September 27, 2024;

Accepted September 30, 2024

**Информация об авторах**

**КОРОЛЬЧЕНКО Ольга Николаевна**, руководитель Центра оценки соответствия продукции Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; Scopus AuthorID: 57222118438; ResearcherID: HKW-4366-2023; РИНЦ ID: 1092980; ORCID: 0000-0003-2568-0834; e-mail: O. Korolchenko@ikbs-mgsu.ru

**ПОЛЯКОВ Дмитрий Витальевич**, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ORCID: 0000-0001-8592-3047; e-mail: d.polyakov@ikbs-mgsu.ru

**КОВАЛЕВА Софья Андреевна**, преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; РИНЦ ID: 1258605; ORCID: 0009-0004-2581-6046; e-mail: s.kovaleva@ikbs-mgsu.ru

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about the authors**

**Olga N. KOROLCHENKO**, Head of Product Conformity Assessment Centre, Institute of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; Scopus AuthorID: 57222118438; ResearcherID: HKW-4366-2023; ID RSCI: 1092980; ORCID: 0000-0003-2568-0834; e-mail: O. Korolchenko@ikbs-mgsu.ru

**Dmitry V. POLYAKOV**, Senior Lecturer, Department of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-8592-3047; e-mail: d.polyakov@ikbs-mgsu.ru

**Sofia A. KOVALEVA**, Lecturer, Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1258605; ORCID: 0009-0004-2581-6046; e-mail: s.kovaleva@ikbs-mgsu.ru

**Contribution of the authors:** all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.