

## Об особенностях применения автоматических установок сдерживания пожара

© А. И. Бондар<sup>1</sup>, Е. А. Мешалкин<sup>2</sup>, Л. Т. Танклевский<sup>3</sup>,  
А. А. Таранцев<sup>4, 5</sup>, С. Г. Цариченко<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Управление оперативного реагирования и координации деятельности главных управлений МЧС России по Северо-Западному федеральному округу, Главное Управление МЧС России по Санкт-Петербургу (Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, 85)

<sup>2</sup> ООО «Гефест групп» (Россия, 107113, г. Москва, ул. Маленковская, 32, стр. 3)

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

<sup>5</sup> Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я Линия В. О., 13)

<sup>6</sup> ООО «АТЛАС» (Россия, 115191, г. Москва, ул. Новая Заря, 6)

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Обеспечение необходимого уровня пожарной безопасности объектов различных классов достигается применением автоматических установок тушения пожара — дренчерных, спринклерных и др. Такие установки, подавая огнетушащие вещества (например, воду) с требуемой интенсивностью, способны локализовать и ликвидировать пожар. Однако существует значительный класс объектов, для которых требуется не потушить пожар, а сдержать его распространение до прибытия пожарных подразделений. Это обусловлено как особенностями конструктивно-функционального назначения защищаемых объектов, так и ограничениями на применение огнетушащих веществ (воды). Такие объекты оборудуются автоматическими установками сдерживания пожара.

**Проблема.** Если для известных автоматических установок пожаротушения установлены требования по интенсивности подачи огнетушащих веществ, по площади, защищаемой одним оросителем, и по другим параметрам, то для автоматических установок сдерживания пожара такие требования сформулированы в самом общем виде. Это затрудняет проектирование и эксплуатацию таких установок.

**Пути решения** данной проблемы следующие: а) установление перечня помещений и зданий, которые целесообразно оснастить автоматическими установками сдерживания пожара; б) определение рабочей интенсивности подачи огнетушащих веществ для сдерживания пожара; в) оценка необходимого времени работы автоматической установки сдерживания пожара; г) оценка запаса огнетушащих веществ. В связи с этим в статье представлены расчетные выражения и примеры количественной оценки времени активации системы, интенсивности подачи огнетушащих веществ для сдерживания пожара, запаса огнетушащих веществ. Кроме того, приведена информация по классификации автоматических установок пожаротушения и примерный перечень объектов, подлежащих защите автоматическими установками сдерживания пожара.

**Выводы.** На основе изложенного материала могут быть сформулированы основные требования к проектированию автоматических установок сдерживания пожара, для чего целесообразно разработать специальный нормативный документ.

**Ключевые слова:** скорость распространения пожара; автоматическое пожаротушение; время сдерживания пожара; огнетушащие вещества; интенсивность подачи.

**Для цитирования:** 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. — Т. 28, № 6. — С. 71–79. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79.

✉ Таранцев Александр Алексеевич, e-mail: t\_54@mail.ru

## About features of application of automatic fire containment installations

© Alexander I. Bondar<sup>1</sup>, Evgeniy A. Meshalkin<sup>2</sup>, Leonid T. Tanklevskiy<sup>3</sup>,  
Alexander A. Tarantsev<sup>4, 5</sup>, Sergey G. Tsarichenko<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Department of Rapid Response and Coordination of Main Departments of Emercom of Russia in North-Western Federal District, Main Department of Emercom of Russia in Saint Petersburg (Reki Moyki Emb., 85, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation)

- <sup>2</sup> LLC "Gefest group" (Malenkovskaya St., 32, bld. 3, Moscow, 107113, Russian Federation)
- <sup>3</sup> Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Polytechnicheskaya St., 29, St. Petersburg, 195251, Russian Federation)
- <sup>4</sup> Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)
- <sup>5</sup> Solomenko's Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (12-ya Line Vasilyevskogo Ostrova, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation)
- <sup>6</sup> LLC "ATLAS" (Novaya Zarya St., 6, Moscow, 115191, Russian Federation)

## ABSTRACT

**Introduction.** Ensuring the necessary level of fire safety of objects of different classes is achieved by the use of automatic fire extinguishing installations — drencher, sprinkler, etc. Such installations, feeding extinguishing agents (eg, water) with the required intensity, are designed to localize and eliminate the fire. But there is a significant class of objects for which it is required not to extinguish the fire, but to contain its spread until the arrival of fire departments. This is due to both the features of the structural and functional purpose of the protected objects, and restrictions on the use of extinguishing agents (water). Such facilities are equipped with automatic fire containment installations.

**Problem.** If the known automatic fire extinguishing systems set out the requirements according to intensity of extinguishing substances in a protected area with one sprinkler and other parameters for silent automatic fire containment installations such requirements are formulated in General terms. This complicates the design and subsequent operation of automatic fire containment systems.

**Ways to solve this problem** are: a) establishment of a list of premises and buildings that are appropriate to equip automatic fire containment installations; b) determination of the working intensity of the supply of extinguishing agents to contain the fire; c) assessment of the required operating time of the automatic fire containment installation; d) assessment of the pass of extinguishing agents. In this regard, the article provides relevant theoretical expressions and examples of quantitative estimation of activation time system, a flow rate of extinguishing agents to suppress fire, stock fire-extinguishing agents. Also information on classification of automatic fire extinguishing installations and the approximate list of the objects which are subject to protection by automatic fire containment installations is given.

**Conclusions.** Thus, on the basis of the above material can be formulated the basic requirements for the design of automatic fire containment systems, for which it is advisable to develop a special regulatory document.

**Keywords:** fire propagation speed; automatic fire extinguishing; fire containment time; extinguishing agents; sprinkling intensity.

**For citation:** A. I. Bondar, E. A. Meshalkin, L. T. Tanklevskiy, A. A. Tarantsev, S. G. Tsarichenko. About features of application of automatic fire containment installations. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 6, pp. 71–79 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79.

✉ Alexander Alekseevich Tarantsev, e-mail: t\_54@mail.ru

## Общие положения

Важным элементом системы пожарной безопасности ряда объектов являются автоматические установки пожаротушения (АУП) ([1, 2], ГОСТ 12.3.046–91, ГОСТ 12.4.009–83), предназначенные для локализации или тушения и ликвидации пожара согласно ГОСТ 12.4.009–83 и срабатывающие при превышении опасными факторами пожара (ОФП) [2] пороговых значений.

Современные АУП, как отечественные, так и зарубежные [3], достаточно разнообразны и классифицируются по конструктивному исполнению (спринклерные, дренчерные, спринклерно-дренчерные); по виду огнетушащего вещества (ОТВ) (водяные, пенные, газовые, порошковые, аэрозольные и др.); по способу тушения (поверхностные, объемные, локально-объемные и локально-поверхностные); по степени инерционности; по продолжительности подачи ОТВ; по способу пуска (ручной, автоматический и др.); по исполнению (модульные, стационарные, роботизированные и др.).

## Автоматические установки сдерживания пожара

Тем не менее, помимо известных АУП, в Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности (далее — ФЗ № 123) оговорена необходимость создания нового вида — автоматических установок сдерживания пожара (АУСП). Согласно ст. 117 ФЗ № 123 АУСП должны:

- обеспечивать снижение скорости увеличения площади пожара и образования ОФП;
- применяться в тех случаях, когда применение других АУП нецелесообразно или технически невозможно.

Как и в известных АУП, вид ОТВ, используемых в АУСП, определяется особенностями объекта защиты, видом и размещением пожарной нагрузки. Будучи новым, понятие АУСП на протяжении более 10 лет действия ФЗ № 123 практически не упоминалось в нормативных документах по пожарной безопасности.

В связи с этим цель настоящей статьи — обоснование необходимости и целесообразности примене-

ния АУСП. Задачей статьи является конкретизация требований к АУСП по перечню защищаемых объектов, по виду ОТВ и интенсивности его подачи, по времени сдерживания пожара и т. п. с учетом обеспечения надежности срабатывания и минимизации тем самым уровня риска [4–6].

### Основные требования к АУСП

Исходные предпосылки, обуславливающие целесообразность оборудования АУСП в помещениях (зданиях), могут быть следующими:

а) ущерб от вторичного ОФП (т. е. излишне примененного ОТВ — пролитой воды) может превышать ущерб от первичных ОФП (пламени, теплового излучения и др.) [7];

б) запас ОТВ (воды) ограничен, например в засушливых районах или в районах с экстремально низкими температурами [8];

в) на объекте имеется пожарная часть (ПЧ) [9] или добровольная пожарная дружина (ДПД) [10], что обеспечивает начало тушения за минимальное время и до прибытия дополнительных пожарных подразделений;

г) на защищаемом объекте находятся вещества, материалы, оборудование и т. п., контакт которых с применяемым ОТВ нежелателен или опасен [11];

д) спринклерная АУП, ранее установленная на объекте на такой высоте, с которой она не способна эффективно ликвидировать пожар [12], по факту переходит в разряд АУСП;

е) АУСП должна сработать таким образом, чтобы согласно Боевому уставу\*:

- площадь пожара на момент прибытия первого пожарного подразделения (при отсутствии объектовой ПЧ и ДПД) была не больше той, которую может потушить звено газодымозащитной службы (ГДЗС) [13];
- ОФП на путях эвакуации должны сдерживаться до момента окончания эвакуации (это характерно для исторических зданий с ненормативными путями эвакуации) [14–18];
- не наступил предел огнестойкости какой-либо из строительных конструкций до локализации пожара [19];

ж) АУСП на объектах класса функциональной пожарной опасности Ф 5 (ФЗ № 123) должны при необходимости образовывать завесы, предотвращающие или ограничивающие развитие и распространение ОФП из зоны горения (пламя, искры, токсичные продукты горения) в остальные части помещения, здания, сооружения.

Исходя из этих предпосылок, в соответствующий перечень могут войти:

- объекты исторического и культурного наследия, театры, музеи [7], выставочные комплексы и т. п.;
- энергетические и другие предприятия, где нужно тушить пожар класса Е без обесточивания оборудования [11];
- некоторые помещения лечебных и научных учреждений;
- помещения больших площадей при отсутствии противопожарных преград (в том числе склады с высокостеллажным хранением продукции [20–25], подземные автостоянки, цеха, животноводческие комплексы);
- объекты в районах с холодным климатом [8];
- эвакуационные пути в специализированных и типовых зданиях, сооружениях и т. п.

Кроме того, в п. А.5 Приложения А СП 5.13130 [1] указано, что “если площадь помещений, подлежащих оборудованию системами автоматического пожаротушения, составляет 40 % и более от общей площади здания, сооружения, следует предусматривать оборудование здания, сооружения в целом системами автоматического пожаротушения” (за исключением помещений с мокрыми процессами, венткамер, насосных водоснабжения, бойлерных и других помещений, в которых отсутствуют горючие материалы, а также помещений категорий В4 и Д по пожарной опасности и лестничных клеток). Остальные 60 % площадей могут быть защищены АУСП.

### Оценка параметров АУСП

Что касается требования СП 5.13130 [1] о “снижении скорости увеличения площади пожара” при применении АУСП, то согласно положениям пожарной тактики [26–30] при тушении по площади пожара класса А (горение твердых горючих материалов по ФЗ № 123) снижение скорости распространения пожара  $V$  (м/с) достигается подачей ОТВ (воды) с расходом  $q_v$  (кВт/м<sup>2</sup>) и интенсивностью  $I$  (л/(м<sup>2</sup>·с)), которая может быть ниже нормативной  $I_n$  (например, для помещений группы 1 культурно-зрелищных учреждений  $I_n = 0,08$  л/(м<sup>2</sup>·с) [1]). Для определения  $V$  можно воспользоваться выражением [27]:

$$V \approx V_n (1 - I/I_n), \quad (1)$$

где  $V_n$  — нормативная (табличная) скорость распространения пламени по пожарной нагрузке, м/с; согласно [26] для зданий  $V_n = 0,5 \div 1,5$  м/мин  $\approx 0,008 \div 0,025$  м/с.

Из выражения (1) следует, что при  $I = 0$  пожар развивается свободно, т. е.  $V = V_n$ , а при  $I \geq I_n$  пожар может быть локализован и потушен, т. е.  $V \leq 0$ .

Полагая, что пожар имеет круговую форму, его площадь  $S_{\text{пож}}$  (м<sup>2</sup>) можно оценить из выражения

$$S_{\text{пож}} \geq \pi \{ (V_n t_a)^2 + [V(t - t_a)]^2 \}, \quad (2)$$

\* Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ (приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444).

где  $t$ ,  $t_a$  — текущее время и время активации оросителя АУСП (в течение времени  $t_a$  пожар развивается свободно), отсчитываемые от начала возгорания, с.

Порядок определения величины  $t_a$ , приведенный в работе [12], сводится к решению трансцендентного уравнения относительно  $X$ :

$$T_n = T_0 + k_T [X + \exp(-X) - 1], \quad (3)$$

где  $T_n$  — пороговая температура активации АУСП, К;  $T_0$  — начальная температура в защищаемом помещении, К;

$X(t_a)$  — параметр, зависящий от искомой величины  $t_a$ ;  $X(t_a) = 0,75k_f t_a^{4/3}$ ;

$k_f$ ,  $k_T$  — коэффициенты, зависящие от тепловой инерционности колбы  $K$  (с·м)<sup>0,5</sup>, высоты помещения  $H$  (м), удельной тепловой мощности очага пожара  $q$  (кВт/м<sup>2</sup>), скорости  $V_n$  и расстояния между осью оросителя и осью конвективной колонки  $r$  (м):

$$k_T = KV_n \sqrt{q} \begin{cases} 28,77H^{-1,25}r^{-0,25} & \text{при } H < 5,577r; \\ 90,42H^{-23/12}r^{5/12} & \text{при } 5,577r < H \leq 6,775r; \\ 40,77H^{-1,5} & \text{при } H > 6,775r; \end{cases} \quad (4)$$

$$k_f = \frac{(qV_n^2)^{1/6}}{K} \begin{cases} 1,186H^{-1/6} & \text{при } H > 6,675r; \\ 0,534H^{0,25}r^{-5/12} & \text{при } H \leq 6,675r. \end{cases} \quad (5)$$

Решение трансцендентного уравнения (3) может быть осуществлено графически с использованием номограммы на рис. 1 или при  $(T_n - T_0)/k_T > 4$  приближенно:

$$X \approx 1 + (T_n - T_0)/k_T. \quad (6)$$

Например, АУСП защищает выставочный зал высотой  $H = 5$  м,  $q = 213$  кВт/м<sup>2</sup> и  $V_n = 0,016$  м/с,  $K = 50$  (с·м)<sup>0,5</sup>, оросители расположены с шагом 4 м. Тогда при  $r = 2,8$  м (очаг пожара между оросителями — худший случай) коэффициенты  $k_T$  и  $k_f$  находим из выражений (4) и (5):

$$k_T = 50 \cdot 0,016 \sqrt{213} \frac{28,77}{5^{1,25} 2,8^{0,25}} \approx 9,09;$$

$$k_f = \frac{(213 \cdot 0,016^2)^{1/6}}{50} 0,534 \frac{5^{0,25}}{2,8^{5/12}} \approx 0,0064.$$

Полагая, что  $T_n = 60$  °С,  $T_0 = 20$  °С,  $(T_n - T_0)/k_T = (60 - 20)/9,09 \approx 4,4 > 4$ , из (6) находим:  $X \approx 1 + 4,4 = 5,4$ . Тогда

$$t_a = \left( \frac{X}{0,75k_f} \right)^{0,75} = \left( \frac{5,4}{0,75 \cdot 0,0064} \right)^{0,75} \approx 194,25 \text{ с} \approx 3,24 \text{ мин.}$$

Учитывая, что звено ГДЗС, подав пожарный ствол Б с расходом  $q_B \approx 3,7$  л/с через время  $t_1$  после начала возгорания, может потушить пожар площадью

$$S_B = q_B/I_n, \quad (7)$$

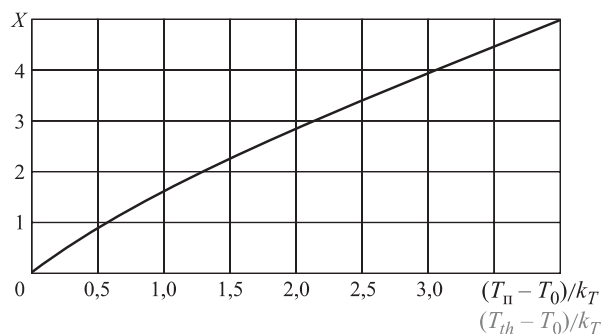


Рис. 1. Номограмма, используемая для решения уравнения (3)

Fig. 1. Nomogram for the solution of the equation (3)

из выражений (1) и (2) можно получить интенсивность подачи ОТВ  $I$ , необходимую для сдерживания пожара:

$$I = I_n \left[ 1 - \frac{1}{t_1 - t_a} \sqrt{\frac{S_B}{\pi V_n^2} - t_a^2} \right]. \quad (8)$$

Очевидно, время сдерживания пожара  $t_c$  (с) должно быть не менее времени подачи ствола  $t_1$  (с) пожарным подразделением:  $t_c \geq t_1$ .

Требуемый запас ОТВ (воды)  $Q$  (л) для АУСП в зависимости от заданного времени  $t_c$  и расхода  $q_{\text{АУСП}}$  может быть найден как произведение:

$$Q = t_c q_{\text{АУСП}}. \quad (9)$$

Выражение (9) применимо также для решения обратной задачи — определения критического времени  $t_c$  при ограниченном объеме  $Q$  и заданном расходе  $q_{\text{АУСП}}$ .

Время подачи первого ствола звеном ГДЗС можно определить в соответствии с требованиями ст. 76 ФЗ № 123: “Дислокация подразделений пожарной охраны на территориях поселений и городских округов определяется исходя из условия, что время прибытия первого подразделения к месту вызова в городских поселениях и городских округах не должно превышать 10 минут, а в сельских поселениях — 20 минут”. В то же время согласно базе данных ВНИИПО МЧС России средние показатели составляют соответственно менее 8 и 16 мин. Время боевого развертывания звена ГДЗС можно определить исходя из требований Боевого устава с учетом этажности здания, его степени огнестойкости и других факторов.

Таким образом, АУСП должна сдерживать пожар не менее времени  $t_c$ , после чего ответственность за локализацию и ликвидацию пожара согласно Боевому уставу ложится на прибывших должностных лиц пожарной охраны — руководителя тушения пожара, начальников боевых участков и пр.

Полагая, что звено ГДЗС прибывшего дежурного караула сможет подать первый ствол Б через время  $t_1 = 12$  мин = 720 с от начала пожара в выста-



вочном зале и потушить пожар площадью  $S_B = 3,7/0,08 = 46,25 \text{ м}^2$ , из (8) с учетом данных предыдущего примера находим интенсивность подачи воды АУСП:

$$I = 0,08 \left[ 1 - \frac{1}{720 - 194,25} \sqrt{\frac{46,25}{\pi \cdot 0,016^2} - 194,25^2} \right] \approx 0,0586 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Учитывая, что АУСП выставочного зала должна сдерживать пожар на площади  $46,25 \text{ м}^2$  в течение 720 с, необходимо иметь запас воды  $Q = 720 \cdot 0,0586 \cdot 46,25 = 1951,38 \text{ л}$ , или не менее  $2 \text{ м}^3$ .

Для иллюстрации на рис. 2 приведен сопоставительный график динамики изменения площади пожара и расхода ОТВ при применении АУП и АУСП. Корректность вышеприведенных оценок может быть подтверждена при имитационном моделировании [31, 32].

Кроме того, АУСП могут применяться для осаждения дыма, снижения температуры в помещениях и повышения пределов огнестойкости строительных конструкций и противопожарных преград за счет их орошения. При этом могут эффективно применяться специальные оросители [33].

Сдерживание образования (распространения) ОФП, например, применением водяных завес от АУСП может относиться к установленному ст. 37 ФЗ № 123 виду противопожарной преграды с условным пределом огнестойкости. По аналогии с признаками согласно ч. 2 ст. 35 ФЗ № 123 и временами (в минутах) достижения предельных состояний могут быть предложены следующие обозначения: С 15, С 30, С 45... Это означает, что АУСП будет сдерживать пожар 15, 30, 45... мин в зависимости от интенсивности и продолжительности подачи воды.

В соответствии с СП 5.13130 [1] для блокирования распространения ОФП (ФЗ № 123) водяными завесами требуется интенсивность подачи воды АУП, равная  $1 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2\text{)}$ . Если же необходимо сдерживать воздействие теплового (лучистого) потока, то требуемый расход воды  $q_3$  (л/с) может быть оценен из выражения согласно [6]:

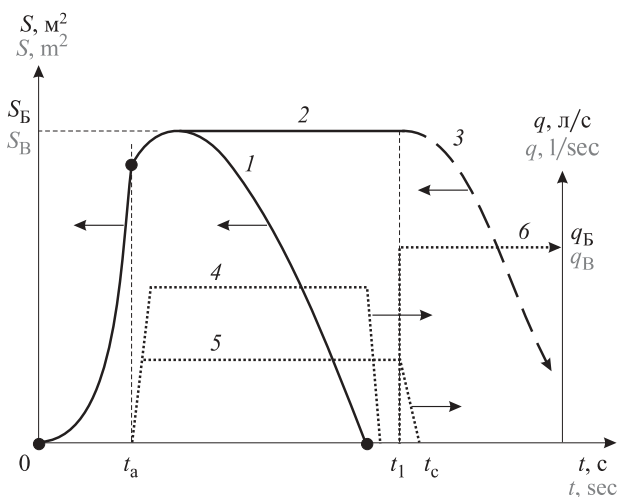
$$q_3 = k \varepsilon_{\text{п}} \varepsilon_{\text{в}} \frac{\sigma (T_{\text{п}}^4 - T_{\text{в}}^4)}{r_{\text{п}} + C_{\text{в}} \Delta T}, \quad (10)$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий соотношение площадей пламени и воды, коэффициент облученности [34] и развитость поверхностей, а также случайные факторы;  $k > 1$ ;

$\varepsilon_{\text{п}}, \varepsilon_{\text{в}}$  — степени черноты пламени и воды соответственно;

$\sigma$  — постоянная Стефана–Больцмана,  $\text{кВт/(м}^2 \cdot \text{К}^4\text{)}$ ;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-11} \text{ кВт/(м}^2 \cdot \text{К}^4\text{)}$ ;



**Рис. 2.** Сопоставительный график изменения площади пожара (1–3) и расхода ОТВ (4–6) на тушение пожара с применением АУП (1, 4) и АУСП (2, 5), при подаче ствола (3, 6)

**Fig. 2.** Comparative graph of changes in the area of fire (1–3) and consumption of fire extinguishing agent (4–6) to extinguish the fire with the use of automatic fire extinguishing (1, 4) and automatic fire containment (2, 5), when feeding the fire barrel (3, 6)

$T_{\text{п}}, T_{\text{в}}$  — температуры соответственно пламени и воды, К;

$r_{\text{п}}$  — удельная теплота парообразования воды,  $\text{кДж/кг}$ ;  $r_{\text{п}} \approx 2200 \text{ кДж/кг}$ ;

$C_{\text{в}}$  — удельная теплоемкость воды,  $\text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ ;  $C_{\text{в}} \approx 4,2 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ ;

$\Delta T$  — разность между температурой кипения воды и ее начальной температурой, К.

Предварительная оценка с учетом выражения (10) для различных вариантов завес показала, что интенсивность подачи воды для сдерживания теплового излучения при пожарах классов А и В (ФЗ № 123) может быть ниже вышеуказанной величины, время сдерживания будет обуславливаться временем подачи воды, а ее общий запас  $Q$  — определяться по выражению (9).

## Выводы

Таким образом, обоснование необходимости и целесообразности применения АУСП для некоторого класса защищаемых объектов является достаточно новым направлением в области пожарной автоматики. Дальнейшее развитие этого направления целесообразно проводить в рамках НИОКР МЧС России с последующим созданием соответствующего нормативного документа — стандарта, свода правил.

Настоящая статья носит в какой-то степени дискуссионный характер и предполагает высказывание мнений и внесение предложений со стороны специалистов в области пожарной безопасности, направленных на решение проблемы формулировки требований к проектированию и эксплуатации АУСП.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 5.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071148> (дата обращения: 12.10.2019).
2. СТО 420541.004 (ВНПБ 40–16). Автоматические установки пожаротушения АУП-ГЕФЕСТ. Проектирование. — М. : МЧС России, 2016. — 52 с.
3. NFPA 13. Standard for the installation of sprinkler systems. — Quincy, Massachusetts : NFPA, 2019. — 496 p.
4. Крымский В. В., Панков А. Е. Система риск-контроллинга промышленного предприятия // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. — 2014. — № 2(192). — С. 114–122.
5. Мешман Л. М., Губин Р. Ю., Дидяев А. Г., Танклевский Л. Т., Танклевский А. Л. Методы испытаний на работоспособность водяных и пенных АУП // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 28–50. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.28-50.
6. Senkiv S. V., Savoshinsky O. P., Arakcheev A. V., Tanklevsky L. T. Development of methods for instrumental diagnostics of control devices for fire alarm systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2019. — No. 272, Article Number 032013. — 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032013.
7. Присадков В. И., Еремина Т. Ю., Богданов А. В., Сушкова О. В., Тихонова Н. В. Требуемый уровень пожарной безопасности музеев — объектов культурного наследия // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 42–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.42-49.
8. Алешков М. В., Безбородько М. Д., Ольховский И. А., Двоенко О. В. История развития технических средств борьбы с пожарами, приспособленных для работы в условиях низких температур // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 11. — С. 77–83. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.77-83.
9. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения (с изм. № 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071155> (дата обращения: 12.10.2019).
10. О добровольной пожарной охране : Федер. закон от 06.05.2011 № 100-ФЗ. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_113763/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113763/) (дата обращения: 10.10.2019).
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — Изд. 7-е. — М. : Изд-во НИЦ ЭНАС, 2002.
12. Таранцев А. А., Танклевский Л. Т., Снегирев А. Ю., Цой А. С., Копылов С. Н., Мешман Л. М. Оценка эффективности спринклерной установки пожаротушения // Пожарная безопасность. — 2015. — № 1. — С. 72–79.
13. Об утверждении Правил проведения личным составом федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения в непригодной для дыхания среде : приказ МЧС РФ от 09.01.2013 № 3. URL: <http://base.garant.ru/70340860/> (дата обращения: 10.10.2019).
14. Семин А. А., Фомин А. М., Холицевников В. В. Проблема организации безопасной эвакуации пациентов лечебных учреждений при пожаре // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 7-8. — С. 74–88. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88.
15. Слюсарев С. В., Самошин Д. А. Параметры движения маломобильных детей для определения расчетного времени эвакуации из зданий с их массовым пребыванием // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 4. — С. 43–55. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.
16. Самошин Д. А., Холицевников 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.
17. Холицевников В. В., Серков Б. Б. Значимость автоматических систем противопожарной защиты для обеспечения безопасности людей в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 9. — С. 44–53. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.44-53.
18. Еремина Т. Ю., Юг А. Некоторые аспекты основ подготовки методических рекомендаций по организации учебной эвакуации детей различного возраста // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 6–12. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.6-12.
19. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М. : Пожнаука, 2001. — 382 с.
20. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities // Journal of Physics: Conference Series. — 2018. — Vol. 1107. — Article Number 042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/042012.

21. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Fire growth in a high-rack storage // Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (Saint Petersburg, Russia, 21–26 April, 2019). — Saint Petersburg : SPbPU Publ., 2019. — Vol. 2. — P. 796–807. DOI: 10.18720/SPbPU/2/k19-70.
22. Meredith K. V., Chatterjee P., Wang Y., Xin Y. Simulating sprinkler based rack storage fire suppression under uniform water application // Proceedings of the Seventh International Seminar Fire and Explosion Hazards (Providence, RI, USA, 5–10 May 2013). Research Publ., 2013, pp. 511–520. DOI: 10.3850/978-981-07-5936-0\_07-08.
23. Wang Y., Meredith K. V., Zhou X., Chatterjee P., Xin Y., Chaos M., Ren N., Dorofeev S. B. Numerical simulation of sprinkler suppression of rack storage fires // Fire Safety Science. — 2014. — Vol. 11. — P. 1170–1183. DOI: 10.3801/iafss.fss.11-1170.
24. Ren N., de Vries J., Zhou X., Chaos M., Meredith K. V., Wang Y. Large-scale fire suppression modeling of corrugated cardboard boxes on wood pallets in rack-storage configurations // Fire Safety Journal. — 2017. — Vol. 91. — P. 695–704. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.04.008.
25. Guedri K., Borjini M. N., Jeguirim M., Brilhac J.-F., Saïd R. Numerical study of radiative heat transfer effects on a complex configuration of rack storage fire // Energy. — 2011. — Vol. 36, Issue 5. — P. 2984–2996. DOI: 10.1016/j.energy.2011.02.042.
26. Теребнев В. В. Справочник руководителя тушения пожара. — М. : ПожКнига, 2004. — 248 с.
27. Ищенко А. Д., Ключ В. В., Польшко С. В., Таранцев А. А. О построении уточненного совмещенного графика для расчета сил и средств для тушения пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2-3. — С. 82–92. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.82-92.
28. Wex F., Schryen G., Feuerriegel S., Neumann D. Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units // European Journal of Operational Research. — 2014. — Vol. 235, No. 3. — P. 697–708. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.10.029.
29. Thompson M. P., Rodriguez y Silva F., Calkin D. E., Hand M. S. A review of challenges to determining and demonstrating efficiency of large fire management // International Journal of Wildland Fire. — 2017. — Vol. 26, No. 7. — P. 562–573. DOI: 10.1071/WF16137.
30. O'Connor C. D., Calkin D. E., Thompson M. P. An empirical machine learning method for predicting potential fire control locations for pre-fire planning and operational fire management // International Journal of Wildland Fire. — 2017. — Vol. 26, No. 7. — P. 587–597. DOI: 10.1071/wf16135.
31. McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Vanella M. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide / NIST Special Publication 1018-6. — Gaithersburg, Maryland : National Institute of Standards and Technology, 2018.
32. Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview (SMV). URL: <https://pages.nist.gov/fds-smv> (дата обращения: 05.10.2019).
33. Borodinecs A., Sergeev V., Vatin N. Low pressure water-mist nozzle with a swirl worm screw inserts // MATEC Web of Conferences. — 2018. — Vol. 245, Article Number 11001. — 6 p. DOI: 10.1051/mateconf/201824511001.
34. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент : справочник / Под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. — М. : Энергоиздат, 1982. — 512 с.

## REFERENCES

1. Set of rules 5.13130.2013. *Systems of fire protection. Automatic fire-extinguishing and alarm systems. Designing and regulations rules* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071148> (Accessed 12 October 2019).
2. Standard of the organization 420541.004. *Automatic fire-extinguishing systems AUP-Gefest. Design*. Moscow, Emercom of Russia Publ., 2016. 52 p. (in Russian).
3. NFPA 13. *Standard for the installation of sprinkler systems*. Quincy, Massachusetts, NFPA, 2019. 496 p.
4. V. V. Krimskiy, A. E. Pankov. System of risk controlling industrial enterprises. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki / St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2014, no. 2(192), pp. 114–122 (in Russian).
5. L. M. Meshman, R. Yu. Gubin, A. G. Didyaev, L. T. Tanklevskiy, A. L. Tanklevskiy. Test methods on the operability of water and foam automatic fire extinguishing systems. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 28–50 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.28-50.
6. S. V. Senkiv, O. P. Savoshinsky, A. V. Arakcheev, L. T. Tanklevsky. Development of methods for instrumental diagnostics of control devices for fire alarm systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, no. 272, article number 032013. 6 p. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032013032013.

7. V. I. Prisadkov, T. Yu. Eremina, A. V. Bogdanov, O. V. Sushkova, N. V. Tikhonova. Required fire safety level for museums — cultural heritage objects. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 42–49 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.42-49.
8. M. V. Aleshkov, M. D. Bezborodko, I. A. Olkhovskiy, O. V. Dvoenko. History of the development of technical means to fight fire, adapted for work at low temperatures. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 11, pp. 77–83 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.77-83.
9. Set of rules 11.13130.2009. *Location of fire service divisions. Procedure and methods of determination (with changes no. 1)* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071155> (Accessed 12 October 2019).
10. *About voluntary fire protection*. Federal Law of the Russian Federation on 6 May 2011 No. 100-FZ (in Russian). Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_113763/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113763/) (Accessed 10 October 2019).
11. *Rules of the device of electroinstallations (RDE)*. 7<sup>th</sup> ed. Moscow, NTs ENAS Publ., 2002 (in Russian).
12. A. A. Tarantsev, L. T. Tanklevskiy, A. Yu. Snegirev, A. S. Tsoy, S. N. Kopylov, L. M. Meshman. Assessment of the sprinkler installation efficiency. *Pozharnaya bezopasnost/Fire Safety*, 2015, no. 1, pp. 72–79 (in Russian).
13. About the approval of Rules of carrying out by staff of Federal fire service of the State fire service of emergency and rescue works at suppression of fires with use of means of individual protection of respiratory organs and sight in the environment unsuitable for breath. Order of Emercom of Russia on 9 January 2013 No. 3 (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/70340860/> (Accessed 10 October 2019).
14. A. A. Semin, A. M. Fomin, V. V. Kholshchevnikov. Problem of organization of safe evacuation of health-care institution patients in case of fire. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 7-8, pp. 74–88 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.74-88.
15. S. V. Slyusarev, D. A. Samoshin. Parameters of the movement children with limited mobility for definition of an evacuation time estimate from buildings with their mass stay. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 43–55 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.
16. D. A. Samoshin, V. V. Kholshchevnikov. Problems of regulation of time to start evacuation. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 37–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.
17. V. V. Kholshchevnikov, B. B. Serkov. Importance of automatic fire protection systems to ensure the safety of people in high-rise buildings. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 9, pp. 44–53 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.44-53.
18. T. Yu. Eremina, A. Jug. Some aspects of evaluation guidelines on evacuation training for variously-aged children. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 6–12 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.6-12.
19. V. M. Roytman. *Inzhenernyye resheniya po otsenke ognestoykosti proektiruemyykh i rekonstruiruemyykh zdaniy* [Engineering solutions for evaluation of fire resistance of designed and reconstructed buildings] Moscow, Pozhnauka Publ., 2001. 382 p. (in Russian).
20. E. Markus, A. Snegirev, E. Kuznetsov, L. Tanklevskiy. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1107, article number 042012. 6 p. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/04201.
21. E. Markus, A. Snegirev, E. Kuznetsov, L. Tanklevskiy. Fire growth in a high-rack storage. In: *Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (St. Petersburg, Russia, 21–26 April 2019)*. Saint Petersburg, SPbPU Publ., 2019, vol. 2, pp. 796–807. DOI: 10.18720/SPBPU/2/k19-70.
22. K. V. Meredith, P. Chatterjee, Y. Wang, Y. Xin. Simulating sprinkler based rack storage fire suppression under uniform water application. In: *Proceedings of the Seventh International Seminar Fire and Explosion Hazards (Providence, RI, USA, 5–10 May 2013)*. Research Publ., 2013, pp. 511–520. DOI: 10.3850/978-981-07-5936-0\_07-08.
23. Y. Wang, K. V. Meredith, X. Zhou, P. Chatterjee, Y. Xin, M. Chaos, N. Ren, S. B. Dorofeev. Numerical simulation of sprinkler suppression of rack storage fires. *Fire Safety Science*, 2014, vol. 11, pp. 1170–1183. DOI: 10.3801/iafss.fss.11-1170.
24. N. Ren, J. de Vries, X. Zhou, M. Chaos, K. V. Meredith, Y. Wang. Large-scale fire suppression modeling of corrugated cardboard boxes on wood pallets in rack-storage configurations. *Fire Safety Journal*, 2017, vol. 91, pp. 695–704. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.04.008.
25. K. Guedri, M. N. Borjini, M. Jeguirim, J.-F. Brilhac, R. Saïd. Numerical study of radiative heat transfer effects on a complex configuration of rack storage fire. *Energy*, 2011, vol. 36, issue 5, pp. 2984–2996. DOI: 10.1016/j.energy.2011.02.042.



26. V. V. Terebnev. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Directory of fire extinguishing manager]. Moscow, PozhKniga Publ., 2004. 248 p. (in Russian).
27. A. D. Ishchenko, V. V. Klyuy, S. V. Polynko, A. A. Tarantsev. About building a revised combined graphics the calculation of forces and means to extinguish the fire. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2-3, pp. 82–92 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.82-92.
28. F. Wex, G. Schryen, S. Feuerriegel, D. Neumann. Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units. *European Journal of Operational Research*, 2014, vol. 235, no. 3, pp. 697–708. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.10.029.
29. M. P. Thompson, F. Rodríguez y Silva, D. E. Calkin, M. S. Hand. A review of challenges to determining and demonstrating efficiency of large fire management. *International Journal of Wildland Fire*, 2017, vol. 26, no. 7, pp. 562–573. DOI: 10.1071/WF16137.
30. C. D. O'Connor, D. E. Calkin, M. P. Thompson. An empirical machine learning method for predicting potential fire control locations for pre-fire planning and operational fire management. *International Journal of Wildland Fire*, 2017, vol. 26, no. 7, pp. 587–597. DOI: 10.1071/wf16135.
31. K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, M. Vanella. *Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018–6*. Gaithersburg, Maryland, National Institute of Standards and Technology, 2018.
32. *Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview (SMV)*. Available at: <https://pages.nist.gov/fds-smv> (Accessed 5 October 2019).
33. A. Borodinecs, V. Sergeev, N. Vatin. Low pressure water-mist nozzle with a swirl worm screw inserts. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 245, article number 11001. 6 p. DOI: 10.1051/mateconf/201824511001.
34. V. A. Grigoryev, B. M. Zorin (ed.). *Teplo- i massoobmen. Teplotekhnicheskiy eksperiment. Spravochnik* [Heat and mass transfer. Thermal experiment. Handbook]. Moscow, Energoizdat, 1982. 512 p. (in Russian).

Поступила 29.10.2019, после доработки 18.11.2019;  
принята к публикации 26.11.2019

Received 29 October 2019; Received in revised form 18 November 2019;  
Accepted 26 November 2019

### Информация об авторах

**БОНДАР Александр Иванович**, канд. техн. наук, начальник управления оперативного реагирования и координации деятельности главных управлений МЧС России по Северо-Западному федеральному округу, Главное Управление МЧС России по Санкт-Петербургу, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-9210-3036; e-mail: bai01@mail.ru

**МЕШАЛКИН Евгений Александрович**, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор ООО “Гефест групп”, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-4237-0598; e-mail: 1027@npopuls.ru

**ТАНКЛЕВСКИЙ Леонид Тимофеевич**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Высшей школы техно-сферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2769-0086; e-mail: tanklevskiy@gefest-spb.ru

**ТАРАНЦЕВ Александр Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России; заведующий лабораторией Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-1561-2483; e-mail: t\_54@mail.ru

**ЦАРИЧЕНКО Сергей Георгиевич**, д-р техн. наук, заместитель генерального директора ООО “АТЛАС”, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko\_s@mail.ru

### Information about the authors

**Alexander I. BONDAR**, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department of Rapid Response and Coordination of Main Departments of Emercom of Russia in North-Western Federal District, Main Department of Emercom of Russia in Saint Petersburg, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9210-3036; e-mail: bai01@mail.ru

**Evgeniy A. MESHALKIN**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, General Director of LLC “Gefest group”, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4237-0598; e-mail: 1027@npopuls.ru

**Leonid T. TANKLEVSKIY**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Department of Higher School of Technosphere Safety, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2769-0086; e-mail: tanklevskiy@gefest-spb.ru

**Alexander A. TARANTSEV**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia; Head of Laboratory of Solomenko’s Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1561-2483; e-mail: t\_54@mail.ru

**Sergey G. TSARICHENKO**, Dr. Sci. (Eng.), Deputy General Director of Open Liability Company “ATLAS”, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko\_s@mail.ru