

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022. Т. 31. № 5. С. 43–53
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022; 31(5):43-53

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.844.2

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2022.31.05.43-53>

Особенности реализации автоматических установок сдерживания пожара

Леонид Тимофеевич Танклевский^{1, 2}, Александр Алексеевич Таранцев^{2, 3} ✉, Александр Иванович Бондар⁴, Иван Дмитриевич Балабанов¹

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Санкт-Петербург, Россия

³ Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴ Департамент образовательной и научно-технической деятельности Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье уточнены области применения автоматических установок сдерживания пожара и подлежащие их защите объекты, обоснованы основные принципы их разработки. С учетом теплового нагружения конструкций предложены рациональные гидравлические схемы размещения оросителей водяных автоматических установок сдерживания пожара для помещений большой и малой площади.

Цель и задачи. Разработка рекомендаций по применению автоматических установок сдерживания пожара и подлежащие их защите объекты.

Материалы и методы. В процессе работы проводились теоретические и экспериментальные исследования развития пожара при подаче воды установками с различной интенсивностью.

Результаты и их обсуждение. В результате исследования впервые были разработаны общетехнические требования к водяным автоматическим установкам сдерживания пожара и методы их испытаний.

Выводы. Разработана первая редакция указанного ГОСТ «Установки сдерживания пожара водяные автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний», разослана на отзыв причастным организациям, в результате чего с учетом их мнений и предложений создана согласованная редакция ГОСТ.

Ключевые слова: автоматическое водяное пожаротушение; огнетушащие вещества; гидравлические схемы; опасные факторы пожара; нормативный документ

Для цитирования: Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бондар А.И., Балабанов И.Д. Особенности реализации автоматических установок сдерживания пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 5. С. 43–53. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.05.43-53

✉ Александр Алексеевич Таранцев, e-mail: t__54@mail.ru

Aspects of implementation of automatic fire containment systems

Leonid T. Tanklevskiy^{1, 2}, Alexander A. Tarantsev^{2, 3} ✉, Alexander I. Bondar⁴, Ivan D. Balabanov¹

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Saint Petersburg, Russian Federation

³ Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

⁴ Department of Educational and Scientific and Technical Activities of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The authors specify the areas of application of automatic fire-prevention systems and the objects that they protect; they also substantiate the main principles of their design and development. Rational hydraulic sprinkler arrangement patterns are designed for automatic water fire-containment systems to be installed in large and small premises, depending on the thermal loading of structures.

Goal and objectives. Development of recommendations on the use of automatic fire-containment systems and the objects that they protect.

Materials and methods. Fire development patterns were subjected to theoretical and experimental research conducted during variable intensity water supply.

Results and their discussion. As a result of this research, general engineering requirements for automatic water fire-containment systems and their testing methods were first developed.

Conclusions. The first edition of GOST (All-Russian State Standard) "Automatic water fire-containment systems. General engineering requirements. Testing methods" were addressed to the organizations concerned with this area of knowledge; their opinions and suggestions were contributed to another approved edition of this GOST (All-Russian State Standard).

Keywords: automatic water firefighting; extinguishing agents; hydraulic circuits; fire hazards; regulatory document

For citation: Tanklevskiy L.T., Tarantsev A.A., Bondar A.I., Balabanov I.D. Aspects of implementation of automatic fire containment systems. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(5):43-53. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.05.43-53 (rus).

✉ Alexander Alekseevich Tarantsev, e-mail: t__54@mail.ru

Введение

Важную роль в решении задач обеспечения пожарной безопасности объектов различного назначения играют установки пожарной автоматики, призванные обеспечить оперативное обнаружение возгорания и его эффективную ликвидацию на ранней стадии развития. Для решения этих задач широко применяются водяные автоматические установки пожаротушения (АУП).

Тем не менее можно выделить группу защищаемых объектов, в помещениях которых целесообразность применения классических АУП оказывается неочевидной [1, 2]. Это, например, объекты:

- исторического и культурного наследия, выставочные комплексы, а также офисы и больницы, где ущерб от воздействия жидких огнетушащих веществ (ОТВ) может оказаться сопоставимым или даже превышать ущерб от первичных опасных факторов пожара (ОФП) — пламени, повышенной температуры и др. [3].

Кроме того, можно выделить другую группу объектов, в которых использование полноценной АУП может оказаться нецелесообразным, например объекты:

- с низкой пожарной нагрузкой и высокой степенью огнестойкости ограждающих конструкций;
- на которых организована добровольная пожарная дружина или которые расположены вблизи пожарной части, когда обеспечивается оперативное прибытие пожарных расчетов и подача стволов на тушение;
- объекты, на которых значительная часть помещений с низкой пожарной опасностью оборудуется АУП только вследствие требования п. 4.5 свода правил СП 486: «Если площадь помещений, подлежащих оборудованию АУП, составляет 40 % и более от общей площади этажей здания, сооружения, следует предусматривать оборудование здания, сооружения в целом АУП...».

Введение в Федеральный закон № 123 понятия «Автоматические установки сдерживания пожара» (АУСП) позволяет в ряде случаев отказаться от использования АУП и сформировать новые подходы к автоматической пожарной защите вышеперечисленных объектов.

Материалы и методы

Следует отметить, что содержащаяся в статье 117 ФЗ № 123 информация об АУСП изложена крайне нечетко, что определило многолетнее игнорирование соответствующего понятия и отсутствие их практической реализации. В частности, формулировка п. 1, из которой следует, что АУСП «...должны обеспечивать снижение скорости увеличения площади пожара и образования его ОФП», порождает множество вопросов. Какова цель «снижения скорости увеличения площади пожара»? «Снижение скорости увеличения площади пожара» до какой величины является приемлемым? Является ли локализация (снижение до нуля скорости увеличения площади пожара) реализацией функции сдерживания? Применительно к ОФП, статья 117 ФЗ № 123 требует снижения скорости их образования или так же, как и в случае площади пожара, снижения скорости увеличения образования ОФП? Как оценить скорость образования ОФП?

Содержащаяся в п. 2 статьи 117 ФЗ № 123 рекомендация, определяющая сферу применения АУСП в «помещениях, в которых применение других автоматических установок пожаротушения нецелесообразно или технически невозможно», также оставляет нераскрытыми ряд вопросов. Как определить целесообразность применения АУП? Как быть, если вывод о нецелесообразности АУП противоречит требованиям о ее необходимости, содержащимся в соответствующем своде правил СП 486? Что конкретно понимается под технической невозможностью? Имеется ли в виду чрезмерная сложность, высокая стоимость реализации? Или что-то иное?

Требование п. 3 статьи 117: «Вид огнетушащих веществ, используемых в автоматических установках сдерживания пожара, определяется особенностями объекта защиты, вида и размещения пожарной нагрузки», на первый взгляд, выглядит очевидным, но только если не задумываться о том, как, например, газовые, порошковые или аэрозольные установки обеспечат не тушение, а «снижение скорости увеличения площади пожара и образования ОФП». Иными словами, единственный вид ОТВ, пригодный для использования в АУСП, — это вода (или вода с какими-либо добавками).

Для того чтобы, сохраняя суть понятия АУСП, устранить отмеченную нечеткость формулировок, был разработан проект ГОСТ Р «Установки сдерживания пожара водяные автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний». В частности, определено, что основное требование к АУСП заключается в ограничении площади пожара до начала тушения первыми прибывшими пожарными подразделениями в размерах, при которых пожар будет гарантированно ими потушен без повышения номера (ранга пожара) и привлечения дополнительных сил и средств. Для этого, согласно положениям пожарной тактики [3, 4], должно выполняться условие:

$$S_c < S_t, \quad (1)$$

а величина S_t может быть определена по выражению:

$$S_t = \frac{nq}{I}, \quad (2)$$

где n — число стволов, подаваемых на тушение;

q — расход ОТВ (воды) из ствола, л/с;

I — требуемая интенсивность его подачи.

Например, если известно, что первое прибывшее пожарное подразделение может подать два ($n = 2$) ствола «Б» ($q = 3,7$ л/с) на тушение пожара в административном здании 5-й степени огнестойкости ($I = 0,15$ л/(м² · с)), согласно (2): $S_t = 2 \cdot 3,7/0,15 = 49,33$ м². Из этого следует, что оросители АУСП должны быть расположены так, чтобы сдерживать пожар на площади, не превышающей 49,33 м².

Выполнение условия (1), помимо высокой оперативности прибытия пожарных подразделений, может быть достигнуто как путем ограждения площади защищаемого помещения или дверных (оконных) проемов спринклерами АУСП, так и предварительным смачиванием пожарной нагрузки на возможном пути распространения пожара.

Оценка теплового нагружения строительных конструкций помещения

Поскольку первые прибывшие пожарные подразделения могут не сразу подать стволы на туше-

ние по причине проведения разведки, боевого развертывания и спасения людей, следует учитывать, что пожар может развиваться до защищаемой площади:

$$S_c = \pi(vt)^2, \quad (3)$$

где v — скорость распространения пламени, м/с,

t — время, с.

Тогда температура T у перекрытия над очагом пожара, согласно [5], будет равна:

$$T = T_0 + 16,9 \frac{(S_c Q)^{2/3}}{H^{5/3}}, \quad (4)$$

где T_0 — начальная температура в помещении, °С;

Q — удельная тепловая мощность пожарной нагрузки, кВт/м²;

H — высота помещения, м.

Например, при $T_0 = 20$ °С, $Q = 210$ кВт/м², $H = 5$ м и $S_c = 49$ м² из (4) получаем:

$$T = 20 + 16,9 \frac{(49 \cdot 210)^{2/3}}{5^{5/3}} = 566,9 \text{ °С},$$

что свидетельствует о значительном тепловом нагружении перекрытия. Для некоторых защищаемых помещений с ограниченным пределом огнестойкости ограждающих конструкций это может потребовать такой расстановки оросителей АУСП [6–10], чтобы пожар был сдержан на меньшей площади.

Схемы размещения оросителей

Наиболее рациональной схемой расположения оросителей АУСП для помещений больших площадей может быть такая, которая разделяет защищаемую площадь на условные квадратные зоны, чтобы в пределах любой из них пожар был сдержан дренчерными оросителями или вскрывшимися спринклерными оросителями с управляемым запуском до начала тушения первыми прибывшими пожарными подразделениями. Реализовать такую схему расположения оросителей можно при выполнении условия (1). Пример секторной схемы размещения оросителей АУСП в помещении с управляемой активацией ветвей оросителей при различных площадях сдерживания пожара указан на рис. 1, обозначенных штриховкой (в левой верхней части — 117 м², в правой верхней части — 73,6 м², в правой нижней части — 49 м²). Благодаря управляемому запуску оросителей [11] можно существенно снизить расход воды, а также контролировать работу системы сдерживания пожара. Формирование сдерживающих зон происходит за счет площадей орошения.

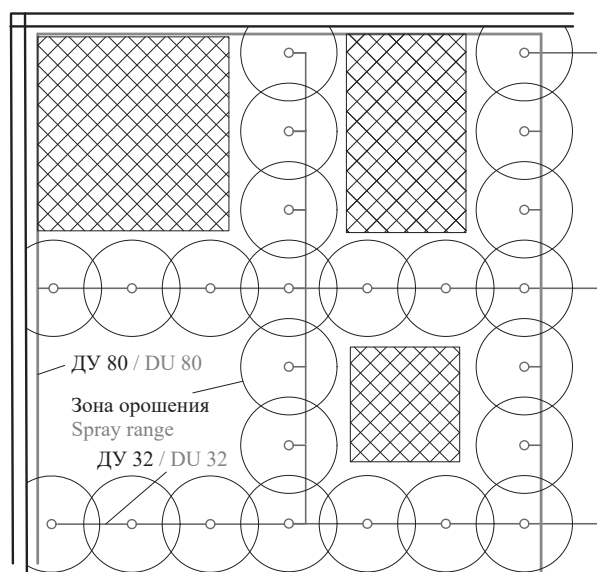


Рис. 1. Секторная схема размещения оросителей АУСП в помещении с управляемой активацией ветвей оросителей при различных площадях сдерживания пожара

Fig. 1. The sectoral pattern of arrangement of fire extinguishing sprinklers in a room featuring controlled activation of branches of sprinklers for cases of different fire containment areas

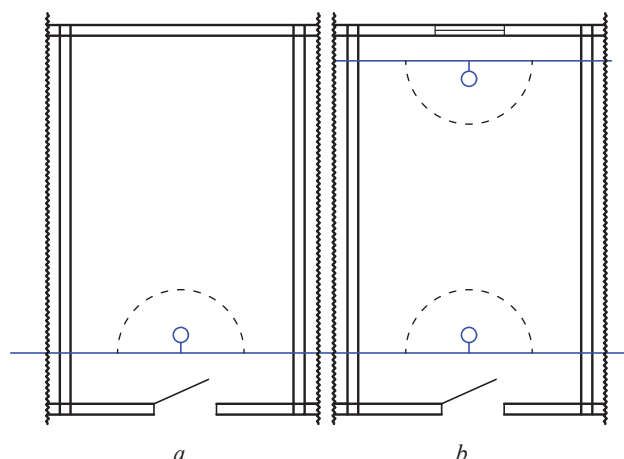


Рис. 2. Схемы размещения оросителей АУСП в помещениях с дверью и окном

Fig. 2. The pattern of arrangement of fire extinguishing sprinklers in a room that has a door and a window

Например, на рис. 1 приведены схемы размещения оросителей АУСП с шагом 3,5 м при различных вариантах площадей сдерживания пожара (предполагается, что огнетушащая интенсивность оросителей АУСП достаточна для сдерживания пожара на такой площади). Данную площадь способно потушить первое прибывшее подразделение, поэтому схема размещения оросителей была сформирована так, чтобы сектора формировались вокруг таких площадей.

При наличии помещений небольшой площади с незначительной пожарной нагрузкой для сдерживания в них пожара целесообразно так размещать

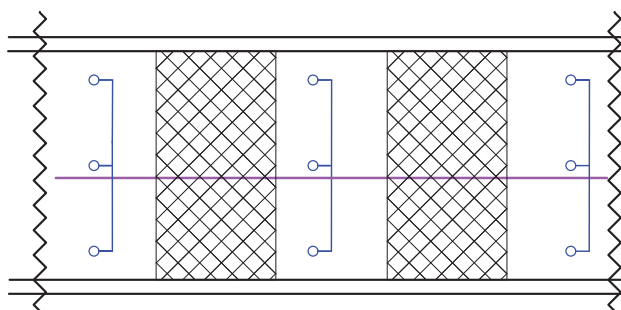


Рис. 3. Схема размещения оросителей АУСП при сдерживании пожара в помещениях протяженной формы посредством разделения помещения на зоны

Fig. 3. The pattern of arrangement of fire extinguishing sprinklers in case of fire containment in long rooms divided into zones

оросители АУСП, чтобы они защищали или только дверь (рис. 2, а), или и дверь, и окно (рис. 2, б), если фасад дома не должен быть поврежден ОФП.

При протяженной форме защищаемого помещения его целесообразно разделять оросителями АУСП на зоны (рис. 3) (штриховкой обозначены площади пожара, каждую из которых способно потушить пожарное подразделение), в пределах которых выполняется условие (1).

Результаты и их обсуждение

Для подтверждения эффекта сдерживания пожара смачиванием пожарной нагрузки был проведен ряд экспериментов на базе НИИ перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности (НИИПИиИТвОБЖ) в составе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. В ходе испытаний был разработан модельный очаг (рис. 4), состоящий из четырех модельных очагов 2А, где четвертый отделен от трех экраном для свободного горения. Задача оставшихся трех была в рассмотрении эффекта сдерживания нормативной тушащей интенсивностью. Установлен факт резкого замедления скорости распространения на 1 м горения за счет смачивания водой его части, что подтверждает эффективность сдерживания пожара.

Во втором испытании рассматривался эффект сдерживания ОФП для безопасной эвакуации людей и использование системы АУСП. Для испытаний использовался модельный стенд с помещениями, имитирующими офис и коридор (рис. 5).

В данном эксперименте был использован модельный очаг 0,1А. Для замера уровней ОФП были задействованы газоанализатор МАГ-6 П и регистратор термопар «Интеграф» (рис. 6).

Поскольку наибольшую опасность при эвакуации людей при пожаре могут представлять окись

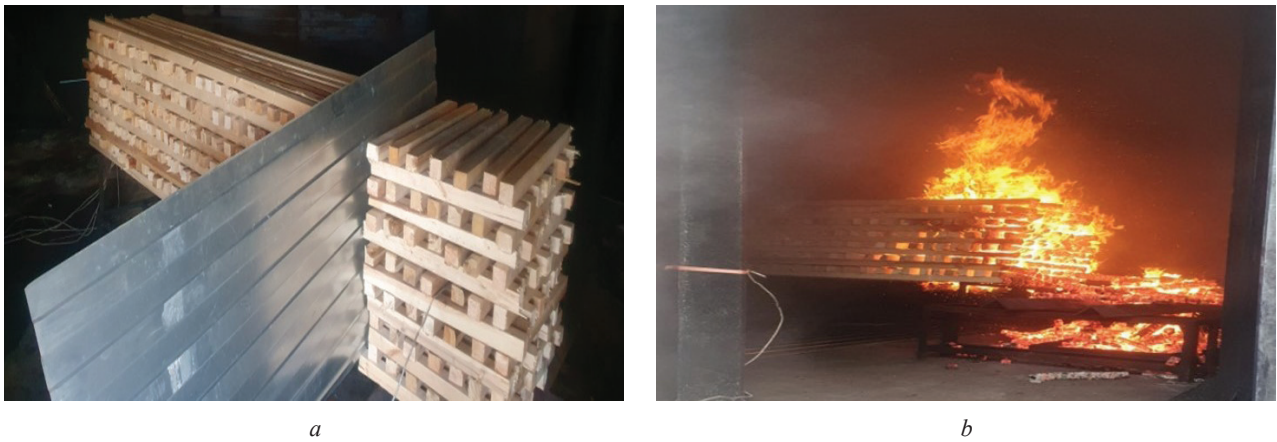


Рис. 4. Огневой эксперимент на модельном очаге пожара (а), разделенном на смоченную (слева) и сухую (справа) зоны и процесс горения (b)

Fig. 4. The fire experiment conducted using a model fire seat (a), divided into wet (left) and dry (right) zones, and the combustion process (b)

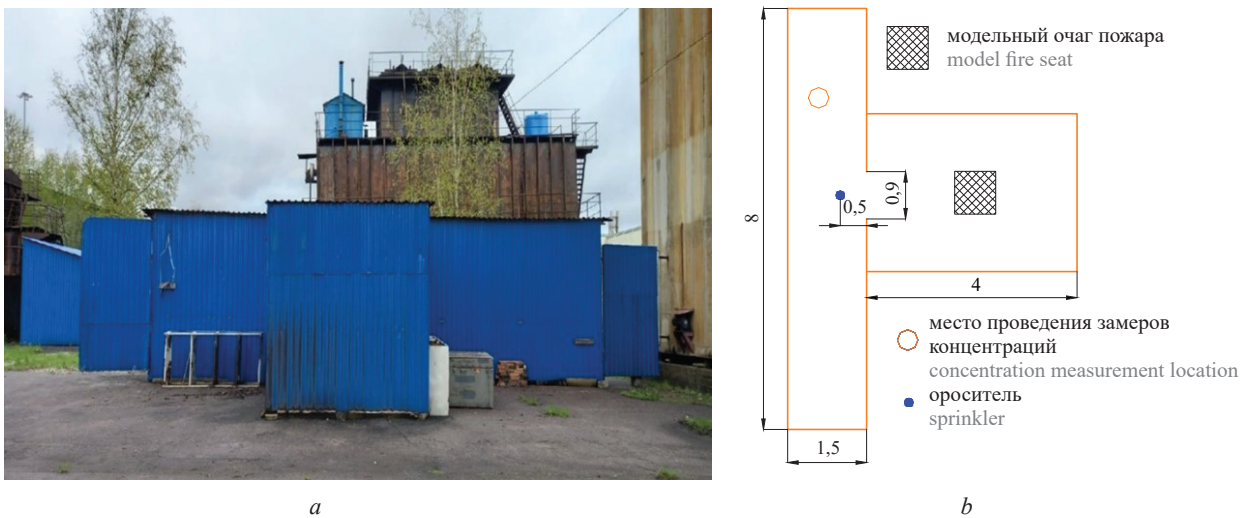


Рис. 5. Стенд для проведения натурных испытаний (а) и схема размещения оросителя и модельного очага (b)

Fig. 5. A test bench for full-scale tests (a) and the layout of the sprinkler and the model fire seat (b)

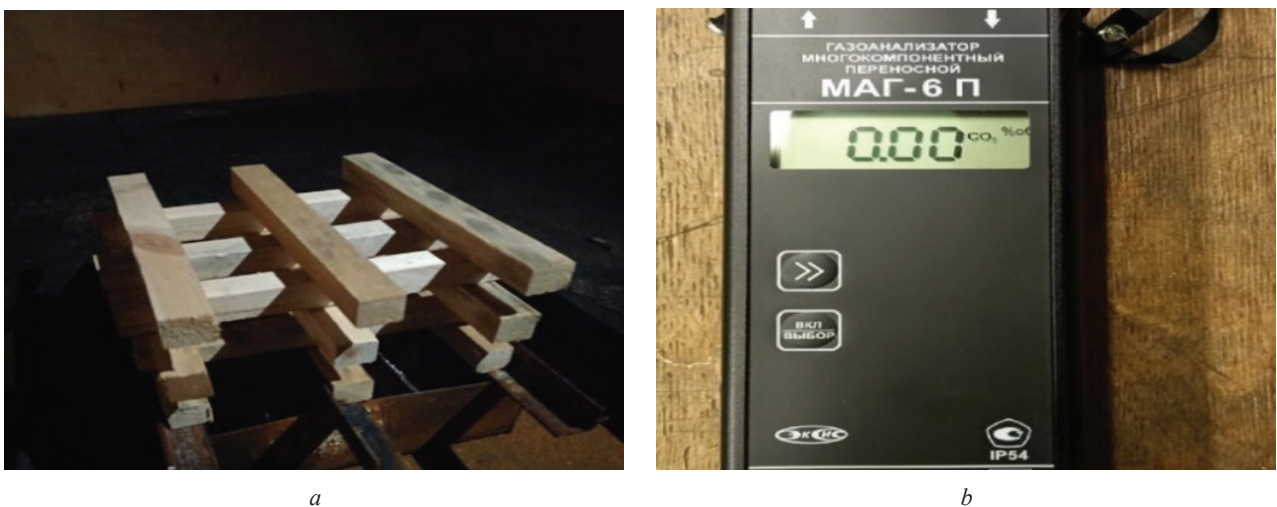


Рис. 6. Модельный очаг (а); газоанализатор (b)

Fig. 6. A model fire seat (a); a gas analyzer (b)

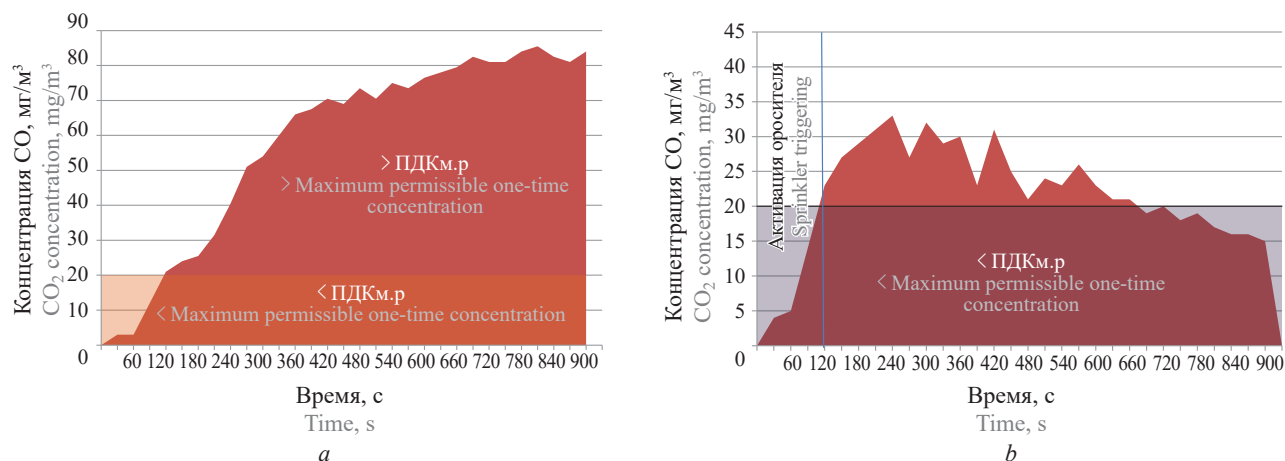


Рис. 7. Динамика концентрации окиси углерода при свободном развитии пожара (а) и при срабатывании АУСП (b)

Fig. 7. A change in the carbon monoxide concentration for the case of a freely fire (a) and when the fire extinguishing system is triggered (b)

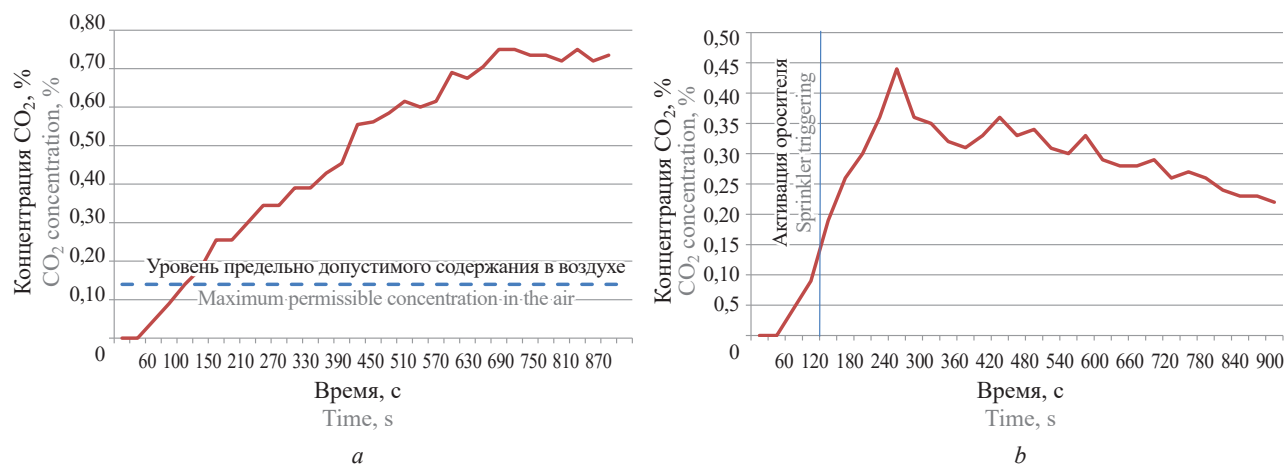


Рис. 8. Динамика концентрации двуокиси углерода при свободном развитии пожара (а) и при срабатывании АУСП (b)

Fig. 8. A change in the carbon dioxide concentration for a freely developing fire (a) and for the case of an automatically triggered fire extinguishing system (b)

и двуокись углерода (CO и CO_2), в ходе экспериментов измерялась их концентрация как при свободном развитии пожара, так и при срабатывании оросителей АУСП. На рис. 7, а представлена динамика концентрации CO при свободном развитии пожара, на рис. 7, б — при срабатывании АУСП на 3-й минуте пожара. На рис. 8 аналогично представлена динамика концентрации CO_2 при свободном развитии пожара и при срабатывании АУСП. Как следует из рис. 7 и 8, оборудование помещений АУСП позволяет сдерживать рост ОФП и обеспечить тем самым эвакуацию людей при пожаре.

Также в ходе проведения испытаний был замечен эффект сдерживания задымления в пределах помещения, что позволило обосновать эффективность вышеприведенных схем размещения оросителей АУСП. При этом АУСП позволяет не только сдерживать ОФП, но и не препятство-

вать эвакуации ввиду ограниченности расхода ОТВ из оросителей.

Предложения по применению АУСП

Как определено в своде правил СП 485, решение о применении в защищаемых помещениях автоматической пожарной сигнализации (АПС) или АУП определяется некоторым условным критерием S_k — чаще всего это такой показатель, как защищаемая площадь S (но в некоторых случаях, согласно п. 8.2 табл. 1 СП 486, это высота здания или, согласно п. 4 табл. 2 СП 486, объем кабельного сооружения или др.). Примеры величин S_k для наземных автостоянок закрытого типа и зданий предприятий торговли приведены в таблице.

Если соблюдается условие $S < S_k$, то допустимо использовать только АПС, а при $S \geq S_k$ — АУП. Учитывая значительную разницу в стоимости АПС и АУП, может возникать некоторый пара-

Примеры величин критерия S_k для некоторых защищаемых объектов в соответствии с табл. 1 (п.п. 4.1.2 и 12.1) [10]
 Examples of values of criterion S_k for some protected objects according to Table 1 (sections 4.1.2 and 12.1) [10]

Наземные автостоянки закрытого типа, $N_3 = 1$ Closed-type surface parking lots, $N_F = 1$			Одноэтажные здания предприятий торговли Single-story commercial buildings			
СтО DFR	ККПО CSFH	Критерий S_k — общая площадь здания (пожарного отсека) Criterion S_k is the total area of a building (the fire compartment)	N_3 N_F	Размещение торгового зала Arrangement of retail space	Критерий S_k — площадь Criterion S_k is the area	
I, II, III	C0	7000 м ² / м ²	1	в цокольном, заглублен- ном более чем на 0,5 м, или подвальном этажах in the basement, located at the distance of 0.5 m below the ground surface, or in the cellar	торгового зала — 200 м ² The sales area is 200 m ²	
	C1	3600 м ² / м ²				
IV	C0	2000 м ² / м ²			в наземной части здания in the above-ground part of the building	здания — 3500 м ² The building — 3,500 м ²
	C1					
	C2, C3	1000 м ² / м ²	2	в наземной части здания in the above-ground part of the building	здания — 4000 м ² The building — 4,000 м ²	

Примечание: СтО — степень огнестойкости; ККПО — класс конструктивной пожарной опасности; N_3 — количество этажей.
 Note: DFR is the degree of fire resistance; CSFH is the class of structural fire hazard; N_F is the number of floors.

докс. Например, стоит увеличить площадь торгового зала в цокольном этаже, заглубленном более чем на 0,5 м, или подвальном этаже на 1 м² с 200 до 201 м², то даже при незначительной пожарной нагрузке приходится применять дорогостоящую АУП. А при искусственном снижении площади S с 200 м² до 199 м², даже при увеличении пожарной нагрузки можно вместо АУП применять менее дорогостоящую АПС.

Выход из такой ситуации может заключаться в применении АУСП. Введя условный коэффициент $0 < k < 1$, определяемый, например, экспертными методами, можно ось показателя S разделить на 3 диапазона: первый — $0 < S < S_k k$; второй — $S_k k \leq S \leq (2 - k)S_k$; третий — $S > (2 - k)S_k$. Если показатель S находится в 1-м диапазоне, следует применять АПС; если во 2-м — следует применять АУСП; если в 3-м — АУП.

Например, для одноэтажной наземной автостоянки, находящейся в здании закрытого типа IV степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности C2, полагая $k = 0,8$, при $S < 800$ м² можно ограничиться оборудованием АПС, при 800 м² $\leq S \leq 1200$ м² целесообразно использовать АУСП, а при $S > 1200$ м² автостоянку необходимо защищать АУП.

С применением АУСП может быть устранен и другой парадокс, заключающийся в требовании п. 4.5: «Если площадь помещений, подлежащих оборудованию АУП ($S_{АУП}$), составляет 40 % и более от общей площади этажей здания, сооружения,

следует предусматривать оборудование здания, сооружения в целом АУП...», что для многих объектов экономически нецелесообразно. Тогда эту площадь следует защищать АУСП.

Это может позволить оптимизировать противопожарную защиту многих объектов с использованием АУСП.

Выводы

Таким образом, в статье рассмотрены вопросы размещения оросителей АУСП в различных типах защищаемых помещений — большой и малой площади, вытянутой формы и др. Рассмотрены различные модели пожара — интегральная, зонная, полевая и пожарно-тактическая, позволяющие оценить динамику ОФП в помещении и возможность применения задач АУСП. Также аналогичным вопросам посвящены работы отечественных и зарубежных исследователей [11–32].

Сформулированы основные требования к АУСП и показана необходимость создания специального нормативного документа — ГОСТ «Установки сдерживания пожара водяные автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний». Требования к функциональному назначению установок АУСП:

- снижение скорости увеличения площади распространения пожара и мощности тепловыделения пожара;
- ограничения площади пожара.

Также показана возможность оптимизации противопожарной защиты объектов с применением АУСП. В дальнейшем планируется для реализации схем размещения оросителей АУСП рассмотреть вопросы активации оросителей, а также разработать проект нормативного документа в части требований к проектированию АУСП. Для развития данной тема-

тики было предложено внести изменения в СП 485 и 486. В данные нормативные документы необходимо добавление систем АУСП для разграничения существующих систем АПС и АУП, что позволит существенно уменьшить опасность от возникшего пожара на объекте, когда нормативный стандарт требует установку только систем АПС.

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. Т. 28. № 6. С. 71–79. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.71-79
2. Зыбина О.А., Танклевский Л.Т., Таранцев А.А. О проблеме разработки автоматических установок сдерживания пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 4 (52). С. 67–72. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41807858>
3. Повзик Я.С. Пожарная тактика. М. : ЗАО «Спецтехника», 2004. 416 с.
4. Терещев В.В., Подгруппин А.В. Пожарная тактика. Основы тушения пожара. Екатеринбург : Калан, 2008. 512 с.
5. Alpert R.L. Ceiling jet flows // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 3rd ed. NFPA, 2002. Pp. 2-18–2-31. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_14
6. Собратьев С.В. Установки пожаротушения автоматические : справочник. 3-е изд. с изм. М. : ЗАО «Спецтехника», 2003. 400 с.
7. Сафронов В.В., Аксенова Е.В. Выбор и расчет параметров установок пожаротушения и сигнализации. Орел : ОрлГТУ, 2004. 57 с.
8. 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. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23092679>
9. Илюшов Н.Я. Автоматические установки пожаротушения. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. 134 с.
10. Воронков О.Ю. Расчет, монтаж и эксплуатация автоматических установок пожаротушения : учеб. пос. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. 140 с.
11. Бабилов И.А., Танклевский А.Л., Таранцев А.А. О способе определения группы принудительно активируемых оросителей при возникновении пожара в помещении // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 3 (51). С. 34–41. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41212640>
12. Xin Yibing, 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. 2016. Vol. 53. Issue 5. Pp. 1847–1884. DOI: 10.1007/s10694-017-0662-2
13. Груданова О.В., Таранцев А.А., Королева Л.А. Об экономической оценке двух путей модернизации автоматических установок пожаротушения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2007. № 1. С. 38–42.
14. Мешман Л.М., Цариченко С.Г., Былинкин В.А., Алешин В.В., Губин Р.Ю. Проектирование водяных и пенных автоматических установок пожаротушения / под общ. ред. Н.П. Копылова. М. : ВНИИПО МЧС РФ, 2002. 413 с.
15. Drysdale D. The pre-flashover compartment fire // An introduction to fire dynamics. 3rd ed. 2011. Pp. 349–386. DOI: 10.1002/9781119975465.ch9
16. Williams F.A. Mechanisms of fire spread // Symposium (International) on Combustion. 1977. Vol. 16. Issue 1. Pp. 1281–1294.
17. De Ris J.N. Spread of a laminar diffusion flame // Symposium (International) on Combustion. 1969. Vol. 12. Issue 1. Pp. 241–252.
18. Fernandez-Pello A.C. A theoretical model for the upward laminar spread of flames over vertical fuel surfaces // Combustion Flame. 1978. Vol. 31. Pp. 135–148.
19. 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
20. Frey A.E., Tien J.S. Near-limit flame spread over paper samples // Combustion Flame. 1976. Vol. 26. Issue 1. Pp. 257–267.
21. Quintiere J.G. The effects of angular orientation on flame spread over thin materials // Fire Safety Journal. 2001. Vol. 36. Issue 3. Pp. 291–312.
22. Kobayashi Y., Terashima K., Oiwa R., Tokoro M., Takahashi S. Opposed-flow flame spread over carbon fiber reinforced plastic under variable flow velocity and oxygen concentration: the effect of in-plane thermal isotropy and anisotropy // Proceedings of the Combustion Institute. 2021. Vol. 38. Issue 3. Pp. 4857–4866. DOI: 10.1016/J.PROCI.2020.06.380
23. Gong J., Zhou X., Li J., Yang L. Effect of finite dimension on downward flame spread over PMMA slabs: experimental and theoretical study // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015.

- Vol. 91. Pp. 225–234. DOI: 10.1016/j.ijheat-masstransfer.2015.07.091
24. Gao S., Zhu G., Gao Y., Zhou J. Experimental study on width effects on downward flame spread over thin PMMA under limited distance condition // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2018. Vol. 13. P. 100382. DOI: 10.1016/j.csite.2018.100382
 25. Илюшов Н.Я. Автоматические установки пожаротушения. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. 134 с.
 26. 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. P. 042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/042012
 27. Drysdale D. An introduction to fire dynamics. Chichester : John Wiley and Sons, 1985. 424 p.
 28. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Application of the thermal pyrolysis model to predict flame spread over continuous and discrete fire load // *Fire Safety Journal*. 2019. Vol. 108. P. 102825. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102825
 29. Маркус Е.С., Снегирев А.Ю., Кузнецов Е.А., Танклевский Л.Т., Аракчеев А.В. Численное моделирование распространения пламени по дискретной совокупности горючих материалов // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2019. Т. 28. № 4. С. 29–41. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.29-41
 30. Маркус Е.С., Кузнецов Е.А., Снегирев А.Ю. Естественно-конвективное турбулентное диффузионное пламя у вертикальной поверхности // *Физика горения и взрыва*. 2018. № 3 (54). С. 36–46. DOI: 10.15372/FGV20180304
 31. Snegirev A., Markus E., Kuznetsov E., Harris J., Wu T. On soot and radiation modeling in buoyant turbulent diffusion flames // *Heat and Mass Transfer*. 2018. Vol. 54. Issue 8. Pp. 2275–2293. DOI: 10.1007/s00231-017-2198-x
 32. Снегирев А.Ю., Коковина Е.С., Цой А.С., Талалов В.А., Степанов В.В. Интеграция моделей турбулентного пламени и пиролиза горючего материала: горение термопластиков // *Труды XXXI Сибирского теплофизического семинара*. Новосибирск 17–19 ноября 2014 г., Новосибирск, 2014. С. 226–233.

REFERENCES

1. Bondar A.I., Meshalkin E.A., Tanklevsky 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 (rus).
2. Zybina O.A., Tanklevsky L.T., Tarantsev A.A. On the problem of development of automatic fire containment systems. *Problems of Risk Management in the Technosphere*. 2019; 4(52):67-72. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41807858> (rus).
3. Povzik Ya.S. *Fire tactics*. Moscow, CJSC “Spetstekhnika” Publ., 2004; 416. (rus).
4. Terebnev V.V., Podgrushny A.V. *Fire tactics. Basics of fire extinguishing*. Ekaterinburg, Kalan Publ., 2008; 512. (rus).
5. Alpert R.L. Ceiling jet flows. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 3rd ed. NFPA, 2002; 2-18-2-31. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_14
6. Sobur S.V. *Automatic fire extinguishing installations : handbook*. 3rd ed., rev. Moscow, CJSC “Spetstekhnika” Publ., 2003; 400. (rus).
7. Safronov V.V., Aksenova E.V. *Selection and calculation of parameters of fire extinguishing and alarm systems*. Orel, OrlSTU, 2004; 57. (rus).
8. Tarantsev A.A., Tanklevsky L.T., Snegirev A.Yu., Tsoi A.S., Kopylov S.N., Meshman L.M. Assessment of the sprinkler installation efficiency. *Pozharnaya Bezопасnost’/Fire Safety*. 2015; 1:72-79. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23092679> (rus).
9. Ilyushov N.Ya. *Automatic fire extinguishing installations*. Novosibirsk, NSTU Publishing House, 2016; 134. (rus).
10. Voronkov O.Yu. *Calculation, installation and operation of automatic fire extinguishing systems : training manual*. Omsk, Publishing House of OmSTU, 2016; 140. (rus).
11. Babikov I.A., Tanklevsky A.L., Tarantsev A.A. Determination method of sprinklers with electrical activation in case of internal fire. *Problems of Risk Management in the Technosphere*. 2019; 3(51):34-41. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41212640> (rus).
12. Xin Yibing, 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*. 2016; 53(5):1847-1884. DOI: 10.1007/s10694-017-0662-2
13. Grudanov O.V., Tarantsev A.A., Koroleva L.A. On the economic assessment of two ways to modernize automatic fire extinguishing systems. *Problems of Risk Management in the Technosphere*. 2007; 1: 38-42. (rus).
14. Meshman L.M., Tsarichenko S.G., Bylinkin V.A., Aleshin V.V., Gubin R.Yu. Design of water and foam automatic fire extinguishing systems. N.P. Kopylova (ed.). Moscow, VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, 2002; 413. (rus).
15. Dougal Drysdale. The Pre-Flashover Compartment Fire. *An introduction to fire dynamics*. 3rd ed. 2011; 349-386. DOI: 10.1002/9781119975465.ch9
16. Williams F.A. Mechanisms of fire spread. *Symposium (International) on Combustion*. 1977; 16(1):1281-1294.

17. De Ris J.N. Spread of a laminar diffusion flame. *Symposium (International) on Combustion*. 1969; 12(1):241-252.
18. Fernandez-Pello A.C. A theoretical model for the upward laminar spread of flames over vertical fuel surfaces. *Combustion Flame*. 1978; 31:135-148.
19. 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
20. Frey A.E. et al. Near-limit flame spread over paper samples. *Combust. Flame*. 1976; 26(1):257-267.
21. Quintiere J.G. The effects of angular orientation on flame spread over thin materials. *Fire Safety Journal*. 2001; 36(3):291-312.
22. Kobayashi Y., Terashima K., Oiwa R., Tokoro M., Takahashi S. Opposed-flow flame spread over carbon fiber reinforced plastic under variable flow velocity and oxygen concentration: the effect of in-plane thermal isotropy and anisotropy. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2021; 38(3):4857-4866. DOI: 10.1016/J.PROCI.2020.06.380
23. Gong J., Zhou X., Li J., Yang L. Effect of finite dimension on downward flame spread over PMMA slabs: experimental and theoretical study. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015; 91: 225-234. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.07.091
24. Gao S., Zhu G., Gao Y., Zhou J. Experimental study on width effects on downward flame spread over thin PMMA under limited distance condition. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2018; 13:100382. DOI: 10.1016/j.csite.2018.100382
25. Ilyushov N.Ya. *Automatic fire extinguishing installations*. Novosibirsk, NSTU Publishing House, 2016; 134. (rus).
26. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevsky L. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018; 1107:042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/042012 FIREANDEXPLOSIONS SAFETY 2021 VOLUME 30 No.141
27. Drysdale D. *An introduction to fire dynamics*. Chichester, John Wiley and Sons, 1985; 424.
28. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevsky L. Application of the thermal pyrolysis model to predict flame spread over continuous and discrete fire load. *Fire Safety Journal*. 2019; 108:102825. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102825
29. Markus E.S., Snegirev A.Yu., Kuznetsov E.A., Tanklevsky L.T., Arakcheev A.V. Simulation of flame spread over discrete fire load. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(4): 29-41. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.29-41 (rus).
30. Markus E.S., Kuznetsov E.A., Snegirev A.Yu. Natural convection turbulent diffusion flame near a vertical surface. *Combustion, Explosion and Shock Waves*. 2018; 3(54):36-46. DOI: 10.15372/FGV20180304 (rus).
31. Snegirev A., Markus E., Kuznetsov E., Harris J., Wu T. On soot and radiation modeling in buoyant turbulent diffusion flames. *Heat and Mass Transfer*. 2018; 54(8):2275-2293. DOI: 10.1007/s00231-017-2198-x
32. Snegirev A.Yu., Kokovina E.S., Tsoi A.S., Talalov V.A., Stepanov V.V. Integration of models of turbulent flame and pyrolysis of combustible material: combustion thermoplastics. *Proceedings of the XXXI Siberian Thermophysical Seminar. Novosibirsk, November 17–19, 2014*. Novosibirsk, 2014; 226-233. (rus).

Поступила 19.08.2022, после доработки 26.08.2022;
принята к публикации 13.09.2022

Received August 19, 2022; Received in revised form August 26, 2022;
Accepted September 13, 2022

Информация об авторах

ТАНКЛЕВСКИЙ Леонид Тимофеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Высшей школы техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; главный научный сотрудник, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149; PIIIC ID: 181476; Scopus Author ID: 57192367552; ResearcherID: S-1901-2017; ORCID: 0000-0002-2769-0086; e-mail: tanklevskiy@gefest-spb.ru

Information about the authors

Leonid T. TANKLEVSKIY, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Department of Higher School of Technosphere Safety, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Polytechnicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; Chief Researcher, Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; ID RISC: 181476; Scopus Author ID: 57192367552; ResearcherID: S-1901-2017; ORCID: 0000-0002-2769-0086; e-mail: tanklevskiy@gefest-spb.ru

ТАРАНЦЕВ Александр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, 13; профессор, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149; РИНЦ ID: 664653; Scopus Author ID: 57195636448; ResearcherID: K-2087-2018; ORCID: 0000-0003-1561-2483; e-mail: t__54@mail.ru

БОНДАР Александр Иванович, канд. техн. наук, доцент, Департамент образовательной и научно-технической деятельности Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 7; ORCID: 0000-0002-9210-3036; e-mail: ttt_home@mail.ru

БАЛАБАНОВ Иван Дмитриевич, аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; РИНЦ ID: 980446; Scopus Author ID: 57212561809; ResearcherID: GQH-8479-2022; ORCID: 0000-0002-1616-3504; e-mail: bid_home@mail.ru

Вклад авторов:

Танклевский Л.Т. — сформулирована проблема в части необходимости обоснования особенностей реализации АУСП как для сдерживания распространения пламени по пожарной нагрузки, так и по блокированию ОФП. Обоснована необходимость разработки ГОСТ «Автоматические установки сдерживания пожара. Методы испытания».

Таранцев А.А. — проведено количественное обоснование характеристик сдерживания площади распространения горения и сдерживания скорости нагрева перекрытий помещения.

Бондар А.И. — обоснована схема размещения оросителей с целью: а) сдерживания пожара в помещениях больших площадей; б) блокирования ОП в местах расположения дверей и окон помещения; в) разделения помещения протяженной формы на защищаемые зоны.

Балабанов И.Д. — разработана методика проведения эксперимента в части определения скорости распространения пламени на модельном очаге пожара, а также на модельном стенде в части распространения задымления и концентраций ТПГ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Alexander A. TARANTSEV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Laboratory, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, 12-th Line VO, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation; Professor, Saint-Petersburg University of State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; ID RISC: 664653; Scopus Author ID: 57195636448; ResearcherID: K-2087-2018; ORCID: 0000-0003-1561-2483; e-mail: t__54@mail.ru

Alexander I. BONDAR, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Educational and Scientific and Technical Activities of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Davydkovskaya St., 7, Moscow, 121352, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9210-3036; e-mail: ttt_home@mail.ru

Ivan D. BALABANOV, Postgraduate Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Polytechnicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; ID RISC: 980446; Scopus Author ID: 57212561809; ResearcherID: GQH-8479-2022; ORCID: 0000-0002-1616-3504; e-mail: bid_home@mail.ru

Contribution of the authors:

Leonid T. Tanklevskiy — the problem is formulated in terms of the need to substantiate the features of the implementation of the AWP both to contain the spread of flame over the fire load and to block the OFP. The necessity of developing GOST "Automatic fire containment installations. Test methods".

Alexander A. Tarantsev — a quantitative substantiation of the characteristics of containment of the area of combustion propagation and containment of the heating rate of the room floors was carried out.

Alexander I. Bondar — the scheme of placement of sprinklers is justified for the purpose of: a) fire containment in large areas; b) blocking OP in the locations of doors and windows of the room; c) dividing the extended form of the room into protected zones.

Ivan D. Balabanov — a method of conducting an experiment has been developed in terms of determining the flame propagation velocity at a model fire source, as well as at a model stand in terms of smoke propagation and TPG concentrations.

The authors declare no conflict of interests.