

Роботизированные установки пожаротушения. Параметры эффективного тушения

Юрий Иванович Горбань¹✉, Сергей Георгиевич Немчинов¹, Сергей Георгиевич Цариченко², Аристарх Альбертович Туровский¹

¹ ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР», г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Появление пожарных роботизированных стволов (ПРС), составляющих основу роботизированных установок пожаротушения (РУП), значительно расширило функциональные возможности ствольной пожарной техники, применяемой при тушении пожаров, и, соответственно, повлияло на параметры тушения. Целью статьи является обоснование параметров эффективного тушения РУП.

Параметры эффективного тушения. Основное преимущество РУП заключается в обнаружении очага возгорания в ранней стадии и тушении его всем расходом огнетушащего вещества (ОТВ) путем адресной подачи на очаг возгорания струи ОТВ по баллистической траектории. При этом создается высокая интенсивность орошения, позволяющая быстро ликвидировать очаг возгорания, что значительно повышает эффективность пожаротушения и снижает ущерб от пожара. Нормы для традиционных автоматических установок пожаротушения (АУП) включают в себя нормативные параметры тушения по интенсивности орошения i_n , общему расходу Q_n и времени тушения t_n . Тушение на площади S_f производится при постоянной нормативной интенсивности орошения i_n , при этом расход на тушение Q_f будет величиной переменной, зависящей от площади тушения. Особенностью РУП, в отличие от традиционных АУП, является то, что расход является величиной постоянной, а интенсивность орошения и время тушения — величинами переменными. В статье рассмотрено влияние отличительных особенностей РУП на параметры тушения, актуальные проблемы эффективного применения РУП и дано обоснование оптимальных параметров РУП с учетом дифференцированного подхода применительно к РУП. Приводятся расчетные данные по фактическим параметрам пожаротушения РУП с учетом оценки по фактическим результатам испытаний. Показана возможность алгоритмизации работы РУП (останов тушения и проверки качества тушения) исходя из условия локализации и ликвидации возгорания на ранней стадии развития пожара.

Выводы. Совершенствование технических средств и алгоритмов работы РУП позволяет провести пересмотр имеющихся параметров тушения с введением новых параметров. Применение новых параметров РУП значительно повысит эффективность по таким показателям как уменьшение расхода, сокращение времени тушения, уменьшение ущерба от пожара.

Ключевые слова: расход; интенсивность; время развития пожара; время тушения; быстроедействие; площадь пожара; площадь орошения; роботизированные пожарные стволы

Для цитирования: Горбань Ю.И., Немчинов С.Г., Цариченко С.Г., Туровский А.А. Роботизированные установки пожаротушения. Параметры эффективного тушения // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32. № 4. С. 58–67. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.04.58-67

✉ Горбань Юрий Иванович, e-mail: info@efer.pro

Robotic fire-extinguishing systems. Effective extinguishing parameters

Yuriy I. Gorban¹✉, Sergey G. Nemchinov¹, Sergey G. Tsarichenko², Aristarch A. Turovskiy¹

¹ “Engineering Centre of Fire Robots Technology “FR” LLC, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russian Federation

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The emergence of robotic fire monitors (RFM), which form the basis of robotic fire suppression systems (RFSS), has significantly expanded the functionality of fire monitors used in extinguishing fires, and, accordingly, affected the extinguishing parameters. The purpose of the article is to substantiate the parameters of effective fire suppression by RFSS.

Effective extinguishing parameters. Firefighting monitors are used for extinguishing most of the fires. The development of robotic fire monitors (RFM) has significantly expanded the functionality of technology, which has become the basis of robotic fire suppression systems (RFSS).

The main advantage of the RFSS is the ability to detect the source of ignition at an early stage and extinguish it with the entire flow of the fire extinguishing agent (FEA) by targeted supply of a jet of FEA to the source of ignition along a ballistic trajectory. This creates a high intensity of irrigation, which allows a quick elimination of the source of fire, which significantly increases the efficiency of fire extinguishing and reduces damage from fire. Standards for traditional automatic fire suppression systems (AFSS) include standard extinguishing parameters for irrigation intensity i_n , total flow rate Q_n and extinguishing time t_n . Extinguishing on the area S_t is carried out at a constant normative intensity of irrigation i_n , while the flow rate of extinguishing Q_t will be a variable value depending on the extinguishing area. A feature of RFSS, in contrast to traditional AFSS, is that the flow rate is a constant value, and the irrigation intensity and extinguishing time are variable values. The article considers the influence of the distinctive features of the RFSS on the extinguishing parameters, the actual issues of the effective application of the RFSS, and provides a rationale for the optimal parameters of the RFSS, taking into account a differentiated approach in relation to the RFSS. The calculated data are given on the actual parameters of fire extinguishing of the RFSS, taking into account the assessment based on the actual test results. The possibility of algorithmization of the operation of the RFSS (stopping the extinguishing and checking the quality of the extinguishing) based on the condition of localization and elimination of fire at an early stage of fire development is shown.

Conclusions. Improving the technical means and algorithms for the operation of the RFSS allows to review the existing extinguishing parameters with the including of new parameters. The use of new parameters of the RFSS will significantly increase efficiency in terms of such as reducing flow rate, reducing extinguishing time, and reducing damage from a fire.

Keywords: flow rate; intensity; fire spreading time; extinguishing time; performance; fire area; irrigation area; robotic fire monitors

For citation: Gorban Yu.I., Nemchinov S.G., Tsarichenko S.G., Turovskiy A.A. Robotic fire-extinguishing systems. Effective extinguishing parameters. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2023; 32(4):58-67. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.04.58-67 (rus).

✉ Yuriy Ivanovich Gorban, e-mail: info@efer.pro

Введение

Повышение эффективности пожаротушения — приоритетная задача пожарного дела. Ствольная пожарная техника — самая массовая и наиболее применяемая техника для тушения пожаров. Пожарные роботизированные стволы (ПРС) значительно расширили функциональные возможности ствольной техники и стали основой роботизированных установок пожаротушения (РУП)¹. Основные понятия, устройство и область применения РУП представлены в монографии [1], в статьях [2, 3], а тенденции развития пожарной робототехники в России в статьях [4, 5] и в других странах в статьях [6–8].

Принцип действия РУП заключается в обнаружении очага возгорания на ранней стадии и тушении его всем расходом огнетушащего вещества (ОТВ) путем адресной подачи на очаг возгорания струи ОТВ по баллистической траектории, что отражено в известных публикациях [9, 10] и изобретениях^{2,3} [11].

РУП создают высокую интенсивность орошения, позволяющую быстро ликвидировать очаг

возгорания, что значительно повышает эффективность пожаротушения и снижает ущерб от пожара. Высокие технические показатели и большие функциональные возможности РУП позволили широко применять их для защиты значимых объектов страны, что отражено в монографии [1]. К работам по роботизированным установкам пожаротушения в нашей стране проявлен интерес и в зарубежных странах [12–14].

Нормативные документы для РУП в общем виде представлены в своде правил для автоматических установок пожаротушения (АУП) СП 485.1311500.2020⁴ и, конкретно для РУП производства компании ЭФЭР, в ведомственных нормах ВНПБ 39–20⁵. Известны также стандарты США FM 142.1 для лафетных стволов с программным управлением⁶. В общепринятых стандартах даны нормативные параметры тушения по интенсивности орошения i_n , к общему расходу Q_n и времени тушения t_n . Тушение на площади S_t производится при постоянной нормативной интенсивности орошения i_n , при этом расход на тушение Q_t

¹ ГОСТ Р 53326–2009. Техника пожаротушения. Установки пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытаний. Введ. 01.01.2010 г. М.: Стандартинформ, 2009.

² Пат. 2128536. Российская Федерация. МПК А62С 37/00 (1995.01). Роботизированная установка пожаротушения / Горбань Ю.И. № 97101104/12; заявл. 22.01.1997; опубл. 10.04.1999.

³ А.с. 370950 СССР. МПК А62С 37/04 (2000.01). Устройство для наведения огнетушащей струи на очаг пожара / Меишман Л.М. № 1488694/29–14; заявл. 02.11.1970; опубл. 22.11.1973. Бюл. № 12.

⁴ СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования: приказ МЧС России от 31.08.2020 № 628. Введ. 01.03.2021.

⁵ ВНПБ 39–20. Роботизированная установка пожаротушения. Нормы и правила проектирования. М.: ВНИИПО МЧС России, 2020. 65 с.

⁶ FM 142.1. Approval Standard for Fire Protection Monitor Assemblies. FM Approvals LLC, 2018. 28 p.

будет величиной переменной, зависящей от площади тушения:

$$Q_T = i_n S_T \text{ при } i_n = \text{const.} \quad (1)$$

Отличительной особенностью РУП от традиционных АУП является то, что расход является величиной постоянной, а интенсивность орошения и время тушения — величинами переменными.

В связи с тем, что нормы для традиционных АУП не учитывают особенности РУП и не позволяют эффективно использовать технические возможности РУП, вопрос определения параметров эффективного тушения РУП является актуальным. Сравнительные оценки РУП и традиционных спринклерных АУП приведены в статье [15].

Целью данной статьи является определение параметров эффективного тушения РУП с учетом дифференцированного подхода, учитывающего технические возможности РУП, обоснование этих параметров, рассмотрение методики расчетов и критериев оценки эффективности тушения РУП.

Введение новых параметров для РУП, которые в настоящее время не отражены в действующих нормах для установок пожаротушения в достаточной мере, позволит наиболее полно использовать значительное преимущество РУП по сокращению времени тушения, уменьшению общего расхода и снижению ущерба от пожара.

Основные параметры тушения РУП

Рассмотрим основные понятия, определения, исследованные факты по параметрам тушения РУП, а также проанализируем закономерности, которые должны быть соблюдены при постановке задач и обосновании показателей.

Расход и средняя интенсивность орошения

Согласно ГОСТ Р 53326¹, для РУП введены параметры тушения, в которых общий расход РУП определяется номинальным расходом $Q_{\text{ном}}$ ПРС, которым производится тушение, а интенсивность орошения — средней интенсивностью орошения $i_{\text{ср}}$, получаемой при орошении строчным сканированием, определяемой как отношение расхода $Q_{\text{ном}}$ ПРС, с учетом коэффициента потерь K при подаче ОТВ, к площади тушения S_T :

$$i_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ном}} \cdot K}{S_T} \text{ при } Q_{\text{ном}} = \text{const.} \quad (2)$$

Из формулы видно, что при постоянном расходе $Q_{\text{ном}}$ средняя интенсивность орошения $i_{\text{ср}}$ меняется в зависимости от площади тушения S_T .

Средняя интенсивность орошения $i_{\text{ср}}$ по ГОСТ Р 53326¹ должна быть не менее нормативной интен-

сивности орошения i_n , установленной для дренчерных установок пожаротушения:

$$i_{\text{ср}} \geq i_n. \quad (3)$$

Если во всей защищаемой зоне интенсивность орошения $i_{\text{ср}}$ больше i_n , то расход может быть уменьшен до величины, при которой соблюдается условие (3), учитывая, что в соответствии с Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее — Технический регламент) главным требованием для АУП является соблюдение нормативной интенсивности орошения i_n на всей защищаемой площади. Расход $Q_{\text{ном}}$ ПРС при этом будет меньше или равен нормативному расходу Q_n , установленному СП 485.1311500.2020⁴:

$$Q_{\text{ном}} \leq Q_n. \quad (4)$$

Требуемый объем ОТВ

При тушении объем ОТВ V_T должен быть меньше или равен нормативному объему ОТВ V_n на площади тушения S_T :

$$V_T \leq V_n. \quad (5)$$

Нормативный объем ОТВ V_n на площади тушения S_T рассчитывается по нормативной интенсивности орошения i_n за нормативное время t_n по аналогии с методикой расчета ОТВ при выездах на пожары⁷ и в соответствии с действующими ТУ на РУП, Приложение Г⁸:

$$V_n = i_n \cdot S_T \cdot t_n. \quad (6)$$

Время тушения

Расчетный параметр по времени тушения t_T для РУП является величиной переменной и определяется по нормативному объему V_n на площади тушения S_T , см. ТУ на РУП, Приложение Г⁸:

$$t_T = \frac{V_n}{Q_{\text{ном}}}. \quad (7)$$

Этот параметр характеризует быстрдействие тушения, является показателем эффективности пожаротушения.

Через время тушения t_T , установленное для площади S_T , и при отсутствии горения, подтверждаемое РУП, вводится останов тушения.

⁷ Методика проведения пожарно-тактических расчетов. Интернет-проект Fireman.club. URL: taty-polzovateley/metodika-provedeniya-pozharno-takticheskix-raschetov/ (дата обращения: 15.06.2023).

⁸ ТУ 4854-005-16820082-2005, с Изм. 5 2021 г. Роботизированные установки пожаротушения.

При этом обеспечивается непрерывный поиск очага возгорания в контролируемой зоне. При появлении повторного возгорания или выявлении второго очага осуществляется его тушение. При этом общая длительность тушения в зависимости от наличия очага возгорания по времени должна быть не менее нормативного времени тушения t_n по СП 485.1311500.2020⁴.

Время развития пожара до начала тушения

Время свободного развития пожара, мин, до начала тушения $t_{св}$ для пожарных расчетов⁷ включает в себя:

$$t_{св} = t_{обн} + t_c + t_{сб} + t_{сл} + t_{б,р}, \quad (8)$$

где $t_{обн}$ — время развития пожара с момента его возникновения до момента его обнаружения (2 мин — при наличии АПС или АУП; 2–5 мин — при наличии круглосуточного дежурства, 5 мин — во всех остальных случаях);

t_c — время сообщения о пожаре в пожарную охрану (1 мин — если телефон находится в помещении дежурного; 2 мин — если телефон в другом помещении);

$t_{сб} = 1$ мин — время сбора личного состава по тревоге;

$t_{сл}$ — время следования пожарного подразделения (2 мин на 1 км пути);

$t_{б,р}$ — время боевого развертывания (3 мин при подаче 1-го ствола; 5 мин в других случаях).

В общей сложности время от начала пожара до начала тушения составит от 10 до 22 мин.

Даже за 10 мин пожар, например по древесине, может развиваться до площади в 1000 м². Вот почему важно применение автоматических установок пожаротушения, к которым относятся РУП, способных приступить к пожаротушению сразу же после обнаружения возгорания и времени активации $t_{акт}$ технических средств. В этом случае время свободного развития пожара $t_{св}$ для помещений, оборудованных РУП, с учетом того, что $t_{обн} = t_{изв} + t_{ппк}$, определится по формуле:

$$t_{св} = t_{изв} + t_{ппк} + t_{акт}, \quad (9)$$

где $t_{изв}$ — инерционность извещателей системы пожарной сигнализации принимается по ГОСТ 26342–84 (действующий статус подтвержден в 2023 г.) из следующего ряда:

- для оптических дымовых извещателей: 1; 3; 5; 10; 20; 30 с;
 - для извещателей пламени: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0 с;
 - для тепловых извещателей: 5; 10; 30; 60; 90; 120 с;
- $t_{ппк} = 10$ с — время срабатывания приемно-контрольного прибора.

Определим $t_{акт}$ РУП, которое включает в себя:

$$t_{акт} = t_m + t_{нав} + t_{ид}, \quad (10)$$

где t_m — время мониторинга высокотемпературных источников излучения:

$$t_m = \frac{Y_c}{V_m}; \quad (11)$$

Y_c — сектор поиска ПРС;

V_m — угловая скорость мониторинга;

$$t_{нав} = \frac{Y_{нав}}{V_{нав}}; \quad (12)$$

$t_{нав}$ — время наведения на обнаруженный очаг возгорания;

$Y_{нав}$ — сектор наведения ПРС;

$V_{нав}$ — угловая скорость наведения;

$t_{ид} \leq 15$ с — время идентификации возгорания по признакам пламени.

Для РУП время активации $t_{акт}$ от команды на инициализацию до начала тушения составляет: $t_{акт} \leq 40$ с.

Таким образом, время свободного развития пожара по формуле (9) составит:

- для РУП с дымовыми извещателями $t_{св} = 80$ с;
- для РУП с извещателями пламени $t_{св} = 55$ с.

Площадь пожара

Площадь пожара $S_{п}$ определяется с учетом его свободного развития за время $t_{св}$. При круговом развитии пожара в центре помещения площадь пожара будет равна площади круга ($k = 1$), в случае пристенного развития пожара площадь пожара будет равна площади полукруга ($k = 0,5$). В зависимости от линейной скорости распространения пожара $v_{л}$ для начальной стадии с коэффициентом 0,5 (Приложение В СП 485.1311500.2020⁴):

$$S_{п} = k \cdot \pi \cdot R^2 = k \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot v_{л} \cdot t_{св})^2. \quad (13)$$

Определим расстояние R , пройденное фронтом пламени, за время $t_{св}$ для РУП.

Примем значение высокой линейной скорости распространения пламени, например, для хвойной древесины $V_{л.в} = 0,059$ м/с и средней скорости $V_{л.с} = 0,04$ м/с из таблицы В1 СП 485.1311500.2020⁴, тогда по формуле (13) получаем:

$R_v = 0,5 \cdot V_{л.в} \cdot t_{св} = 0,5 \cdot 0,059 \cdot 80 = 2,36$ м — для высокой скорости;

$R_c = 0,5 \cdot V_{л.с} \cdot t_{св} = 0,5 \cdot 0,04 \cdot 80 = 1,6$ м — для средней скорости.

Площадь свободного развития пожара будет составлять:

- при высокой линейной скорости пожара:

$$S_{п} = k \cdot \pi \cdot R_v^2 = 1 \cdot 3,14 \cdot 2,36^2 = 17,5 \text{ м}^2;$$

- при средней линейной скорости пожара:

$$S_{\Pi} = 1 \cdot 3,14 \cdot 1,6^2 = 8,0 \text{ м}^2.$$

Условие эффективности установки пожаротушения

Площадь свободного развития пожара S_{Π} не должна превышать площадь развития пожара $S_{\Pi,а}$ за время активации $t_{\text{акт}}$ установки пожаротушения, определяемое началом пожаротушения, в соответствии с условием эффективности, установленным в СП 485.1311500.2020², Приложение В1, п. В1.1:

$$S_{\Pi} < S_{\Pi,а}. \quad (14)$$

Соответственно, время свободного развития пожара $t_{\text{св}}$ должно быть меньше времени введения технических средств или времени активации $t_{\text{акт}}$:

$$t_{\text{акт}} < t_{\text{св}}. \quad (15)$$

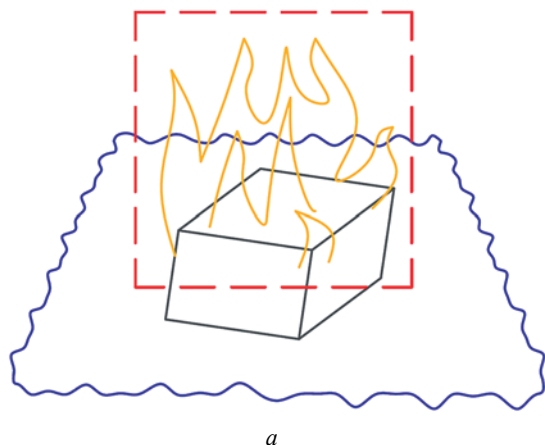
Площадь пожара, измеряемая РУП

Координаты очага возгорания и площади пожара определяются извещателями наведения ПРС, которые выдают данные о площади пожара S_{Π} (на рис. 1 показано красным пунктиром). Со стороны ПРС фиксируется все пламя S_{Π} , заключенное в прямоугольник со сторонами $L_{\Pi} \times H_{\Pi}$. Устройство управления РУП по данным с разных ПРС определяет непосредственно площадь горящей поверхности очага пожара $S_{\Pi,г}$:

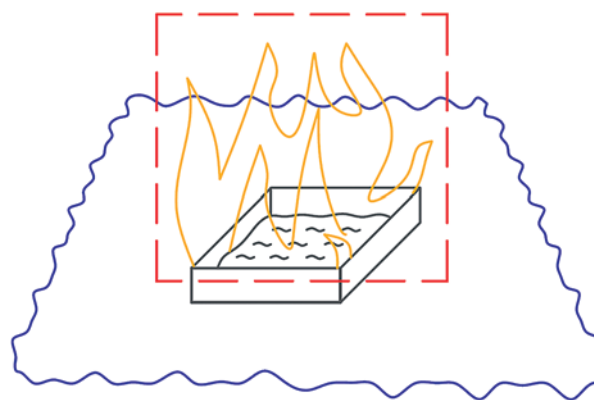
$$S_{\Pi,г} = L_{\Pi,г} \cdot H_{\Pi,г}. \quad (16)$$

Эти данные сравниваются с допустимой площадью за время активации $S_{\Pi,а}$ с соблюдением условия:

$$S_{\Pi,г} < S_{\Pi,а}. \quad (17)$$



a



b

Рис. 1. Общий вид со стороны ПРС очага и зоны орошения: *a* — пожар класса А; *b* — пожар класса В
Fig. 1. General view of the source of ignition and the irrigation zone by the RFM: *a* — class A fire; *b* — class B fire

Минимальная площадь пожара

Минимальная площадь пожара $S_{\Pi,м}$, которая по техническим требованиям, в соответствии с утвержденной ВНИИПО МЧС РФ «Программой и методикой испытаний»⁹, должна быть для РУП не менее приведенной площади $S_{\Pi,м} = 18,7 \text{ м}^2$ модельного очага пожара класса А, ранга 4А по ГОСТ Р 51017–2009, Приложение Б¹⁰, с пожарной нагрузкой 2402 МДж (рис. 2). Площадь свободного развития пожара S_{Π} должна быть не более минимальной площади пожара $S_{\Pi,м}$:

$$S_{\Pi} < S_{\Pi,м}. \quad (18)$$

Площадь сдерживания пожара

В соответствии с требованиями Технического регламента, ст. 116, РУП должны обеспечивать обнаружение и ликвидацию или ограничение распространения пожара за пределы очага. Если площадь свободного развития пожара S_{Π} больше минимальной площади пожара $S_{\Pi,м}$:

$$S_{\Pi} > S_{\Pi,м}, \quad (19)$$

то РУП переводится в режим сдерживания пожара, при котором производится тушение по периметру очага пожара (технические решения по сдерживанию пожара АУП приведены в статье [16]).

Параметры тушения строчным сканированием

РУП производит пожаротушение сканированием строчными струями (рис. 3). Тушение сканирующими

⁹ Программа и методика испытаний АБМИ.00.000.ПМ. Огневые испытания. Определение параметров ликвидации пожара стационарными пожарными роботизированными стволами, входящими в состав роботизированных установок пожаротушения. М. : ВНИИПО, 2014.

¹⁰ ГОСТ Р 51017–2009. Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Введ. 01.01.2010. М. : Стандартинформ, 2009.



Рис. 2. Огневые испытания на модельном очаге по программе и методике испытаний АБМИ.112.00.000 ПМ
Fig. 2. Fire tests on a model hearth according to the program and test methodology ABMI.112.00.000 PM

струями рассмотрено в работе «Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов в роботизированных установках пожаротушения» [17].

Тушение производится в растре $S_T = L \cdot H$ (рис. 4), пошаговым перемещением строк, с величиной шага h , учитывающей размещение строки в зоне высокой интенсивности орошения струи.

Площадь тушения в растре сканирования S_T должна покрывать площадь горящей поверхности $S_{пг}$ и учитывать погрешность наведения dL и dH (рис. 5).

Погрешности наведения dL и dH определяются отклонением струи от площади горения очага $L_{п.г} \times H_{п.г}$ (рис. 5). Расчеты струи, направленной по баллистической траектории по координатам цели от извещателей наведения, выполняются по программе «Баллистика», концепция которой представлена в монографии [1]. С учетом погрешности наведения площадь тушения в растре S_T будет:

$$S_{т.р} = H \cdot L = (2dH + H_{п.г}) \cdot (2dL + L_{п.г}). \quad (20)$$

Линейные погрешности dL и dH близки друг к другу и определяются по формуле:

$$dL = dH = \frac{2\pi R_3}{360 \cdot d_{угл}}. \quad (21)$$

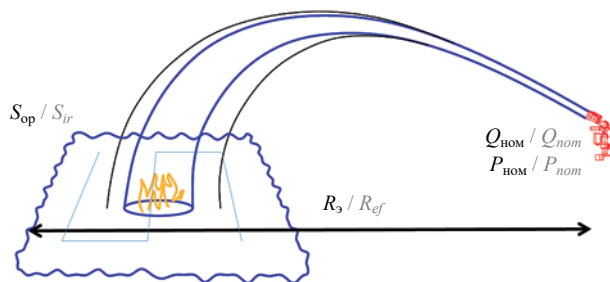


Рис. 3. Тушение строчным сканированием
Fig. 3. Extinguishing by line scanning

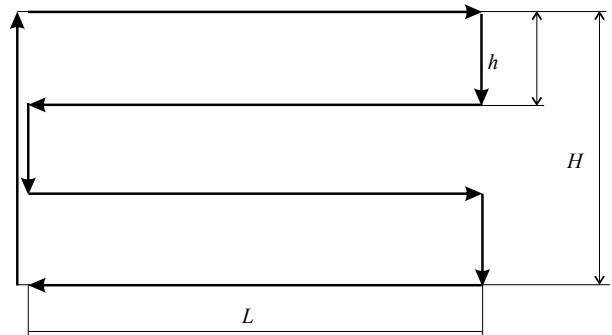


Рис. 4. Параметры раstra сканирования
Fig. 4. Scan raster parameters

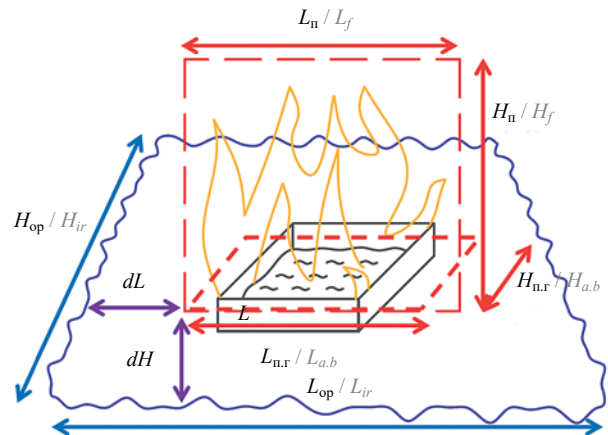


Рис. 5. Параметры площади пожара и площади тушения
Fig. 5. Parameters of fire area and extinguishing area

По ГОСТ Р 53326¹, угловая погрешность позиционирования $d_{угл} = 2^\circ$, при этом учитывается, что на границе зоны орошения перемещение при реверсе останавливается и струя рассматривается как стационарная. R_3 — эффективная дальность при данном угле наведения.

Определим площадь тушения очага возгорания при свободном развитии пожара на высокой линейной скорости горения, при $S_{п} = 17,5 \text{ м}^2$, для 3-й группы помещений по пожароопасности с параметрами:

$$i_{п} = 0,24 \text{ л/с}; V_{п} = 0,059 \text{ м/с}; R_3 = 50 \text{ м}.$$

Согласно табл. 6.1 СП 485.1311500.2020⁴, для 3-й группы помещений общий расход водяной АУП должен составлять не менее 60 л/с, но с учетом опытных данных принимаем расход для РУП $Q = 40 \text{ л/с}$.

Примем для упрощения площадь $S_{п} = 17,5 \text{ м}^2$ со сторонами $H_{п.г} = L_{п.г} = 4,2 \text{ м}$, тогда:

$$dH = dL = \frac{2\pi R_3}{360 \cdot d_{угл}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{360 \cdot 2} = 1,7 \text{ м}.$$

Площадь тушения на дальности 50 м будет составлять:

$$S_T = (2dL + L_{п.г})^2 = (2 \cdot 1,7 + 4,2)^2 = 57,8 \text{ м}^2.$$

Интенсивность орошения на площади тушения, принимая во внимание коэффициент потерь $K = 0,5$, будет составлять:

$$i_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ном}} \cdot K}{S_{\text{т}}} = \frac{40 \cdot 0,5}{57,8} = 0,35 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2.$$

Эффективная дальность

Площадь падения эффективной части струи РУП на поверхность определяется по эяуром орошения (рис. 6). Сечение струи в плоскости падения имеет форму неправильного эллипса с расширенным фронтом впереди и вытянутой хвостовой частью. Интенсивность орошения неравномерная. В головной части эллипса наиболее высокая интенсивность орошения.

Эффективная дальность струи $R_{\text{э}}$ (рис. 6) определяется расстоянием до точки дальней границы эффективной зоны орошения, нижняя граница которой определяется глубиной тушения или шагом сканирования h . При сканировании струей в полосе на глубину этой зоны (h) средняя интенсивность орошения $i_{\text{ср}}$ должна быть не меньше нормируемой $i_{\text{н}}$ на площади, не менее минимальной площади тушения $S_{\text{т.м}}$. При этом на максимально удаленной границе пятна орошения зоны эффективной интенсивности (на эяуре — красным) показана эффективная дальность. Эффективная дальность определяет схему расстановки ПРС на объекте защиты с условием обеспечения орошения каждой точки защищаемого помещения не менее чем двумя ПРС.

Минимальная площадь тушения

Минимальная площадь тушения $S_{\text{т.м}}$ определяется минимальной площадью пожара $S_{\text{п.м}} = H_{\text{п.м}} \cdot L_{\text{п.м}}$ с учетом погрешностей наведения dL и dH , см. рис. 5, на эффективной дальности $R_{\text{э.м}}$, при которой на площади тушения $S_{\text{п.м}}$ соблюдается условие $i_{\text{ср}} \geq i_{\text{н}}$:

$$S_{\text{т.м}} = H \cdot L = (2dH + H_{\text{п.м}}) \cdot (2dL + L_{\text{п.м}}). \quad (22)$$

Примем для упрощения расчетов $H_{\text{п.м}} = L_{\text{п.м}}$ и $dH = dL$, тогда $H = L$.

Для площади пожара $S_{\text{п.м}} = 18,7 \text{ м}^2$ (согласно [7]): $H_{\text{п.м}} = L_{\text{п.м}} = 4,3 \text{ м}$.

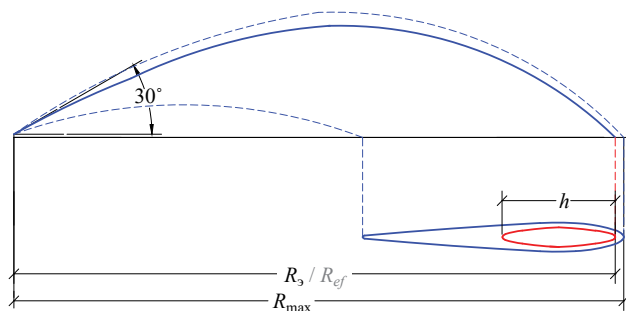


Рис. 6. Эяюра орошения ПРС

Fig. 6. Diagram of irrigation by RFM

Рассмотрим удаленный участок для 3-й группы помещений по СП 485.1311500.2020⁴ с параметрами:

$$i_{\text{н}} = 0,24 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2, V_{\text{л}} = 0,059 \text{ м/с}, R_{\text{эм}} = 55 \text{ м}.$$

Расход при этом примем не 60 л/с, а 40 л/с: $Q = 40 \text{ л/с}$.

$$dL = \left(\frac{2\pi R_{\text{эм}}}{360} \right) \cdot d_{\text{угл}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 55}{360 \cdot 2} = 1,9 \text{ м}.$$

Расчетная площадь орошения будет:

$$S_{\text{т.м}} = (2dL + L)^2 = (2 \cdot 1,9 + 4,3)^2 = 65,6 \text{ м}^2.$$

Определим интенсивность орошения $i_{\text{ср}}$ на площади $S_{\text{т.м}}$ по формуле (2), принимая во внимание коэффициент потерь $K = 0,5$:

$$i_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ном}} \cdot K}{S_{\text{т}}} = \frac{40 \cdot 0,5}{65,6} = 0,31 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2,$$

при $i_{\text{н}} = 0,24 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$.

Для стволов с расходом 40 л/с по расчетным данным на минимальной площади тушения $S_{\text{т.м}} = 65,6 \text{ м}^2$ условие $i_{\text{ср}} > i_{\text{н}}$ соблюдено. Таким образом, при нормативном значении общего расхода 60 л/с значение нормативной интенсивности орошения на площади тушения может быть обеспечено и при применении ПРС с расходом 40 л/с.

Эффективная дальность $R_{\text{э}}$ на удаленной площади $S_{\text{т.м}}$ при условии $i_{\text{ср}} \geq i_{\text{н}}$ подтверждается испытаниями. По эффективной дальности $R_{\text{э.м}}$ определяются размеры защищаемой зоны при проектировании, и этот показатель включается в технические характеристики ПРС.

Выводы

За более чем 30-летний опыт применения роботизированных установок пожаротушения как самостоятельного вида АУП эти установки так и не имеют достаточной нормативной базы по параметрам применения. РУП со своими multifunctional возможностями позволяют существенно улучшить параметры пожаротушения по уменьшению расхода и времени пожаротушения. Это достигается за счет тушения всем расходом очага возгорания в начальной стадии с высокой интенсивностью орошения и повышения быстродействия РУП. Применение новых параметров РУП позволяет значительно повысить эффективность по таким показателям, как уменьшение расхода, сокращение времени тушения и уменьшение ущерба от пожара. Однако следует сделать оговорку в пользу прогрессивных решений. Повышение эффективности пожаротушения

РУП напрямую зависит от технических средств, составляющих данную установку. Качество струи (возможность подачи наибольшего объема ОТВ на наибольшее расстояние), погрешности обнаружения координат и площади очага пожара, погреш-

ности наведения струи ОТВ на очаг, возможности алгоритмизации РУП под изменения обстановки на пожаре — это составляющие повышения эффективности пожаротушения РУП в сравнении с установленными на данный момент параметрами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горбань Ю.И. Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. М. : Пожнаука, 2013. 352 с.
2. Мешман Л.М., Верещагин С.Н. Современная пожарная робототехника: Обзорная информация. М. : ГИЦ МВД СССР, 1988. 42 с.
3. Мешман Л.М., Пивоваров В.В., Гомозов А.В., Верещагин С.Н. Пожарная робототехника: Состояние и перспективы использования. Обзорная информация. М. : ВНИИПО МВД СССР, 1992. 82 с.
4. Корсунский В. Разработка противопожарных роботов в России // Мир и безопасность. 2007. № 3. С. 42–46.
5. Горбань Ю.И., Цариченко С.Г. Роботизированные установки пожаротушения — современные технологии пожаротушения с российским приоритетом // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Vol. 31. Issue 5. С. 54–66. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.05.54-66
6. Shanee Honig, Tal Oron-Gilad. Understanding and resolving failures in human-robot interaction: Literature review and model development // Frontiers in Psychology. 2018. Vol. 9. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00861
7. Liu P., Yu H., Cang S., Vladareanu L. Robot-assisted smart firefighting and interdisciplinary perspectives // 2016 22nd International Conference on Automation and Computing (ICAC). Colchester, University of Essex, UK, 7–8 September 2016. DOI: 10.1109/ICAC.2016.7604952
8. Tan Chee Fai, Liew S.M., Alkahari M.R., Ranjit S.S.S., Said M.R., Chen W. et al. Fire fighting mobile robot: state of the art and recent development // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2013. Vol. 7. Issue 10. Pp. 220–230.
9. Горбань Ю.И., Немчинов С.Г. Пожарные роботы в пожарной автоматике: научно-технические исследования, алгоритмы поведения и дизайн // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. № 5. С. 82–88. URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/925/611>
10. Weselow A.I., Meschman L.M. Automatischer Brand- und Explosionschutz. Berlin : Staatsverlag DDR, 1979. 200 s.
11. Patent EU, No. 2599525, IPC A62C 31/00 (2006.01), A62C 35/68 (2006.01). An automated fire-fighting complex integrating a television system. Gorban Yu.I. No. 11815812.0, appl. July 14, 2011; publ. December 30, 2015. Bull. 2015/53.
12. Gorban Yu.I. Fire robots // Industrial Fire Journal. 2016. Vol. 103. Pp. 12–13.
13. Jensen G. Fire fighting systems: Comparison of performances of interior and exterior applications at large wood buildings. KAPROJECT. Test report A075349. Final. Trondheim : COWI AS, 2018. 26 p.
14. Jensen G. Performance test series on exterior and interior water based fire suppression systems — Technical specification. COWI on behalf of KA. 2016.
15. Горбань Ю.И. От спринклеров к пожарным мини-роботам // Пожарная автоматика. Средства спасения : межотраслевой специализированный журнал. 2018. С. 44–45.
16. 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
17. Мешман Л.М., Былинкин В.А., Горбань Ю.И., Горбань М.Ю., Фокичева К.Ю. Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов в роботизированных установках пожаротушения. Часть 1. Предпосылки создания РУП и специфические особенности тушения пожаров ПРС // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2019. Т. 28. № 3. С. 70–88. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.03.70-88

REFERENCES

1. Gorban Yu.I. *Firefighting robots, fire monitors and handline nozzles in fire automatics and fire protection*. Moscow, Pozhnauka Publ., 2013; 352. (rus).
2. Meshman L.M., Vereshchagin S.N. *Modern fire robotics: Overview*. Moscow, Main Information Center of the Ministry of Internal Affairs USSR Publ., 1988; 42. (rus).
3. Meshman L.M., Pivovarov V.V., Gomozev A.V., Vereshchagin S.N. *Fire robotics. State and prospects of use: Overview*. Moscow, VNIIPPO Publ., 1992; 82. (rus).

4. Korsunskiy V. Development of firefighting robots in Russia. *Mir i bezopasnost/Peace and security*, 2007; 3:42-46. (rus).
5. Gorban Yu.I., Tsarichenko S.G., Robotic fire suppression systems — modern firefighting technologies with Russian priority. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(5):54-66. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.05.54-66 (rus).
6. Honig S., Oron-Gilad T. Understanding and resolving failures in human-robot interaction: Literature review and model development. *Frontiers in Psychology*. 2018; 9. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00861
7. Liu P., Yu H., Cang S., Vladareanu L. *Robot-assisted smart firefighting and interdisciplinary perspectives*. 2016 22nd International Conference on Automation and Computing (ICAC). Colchester, University of Essex, UK, September 7–8, 2016. DOI: 10.1109/ICAC.2016.7604952
8. Tan Chee Fai, Liew S.M., Alkahari M.R., Ranjit S.S.S., Said M.R., Chen W. et al. Fire fighting mobile robot: state of the art and recent development. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2013; 7(10):220-230.
9. Gorban Yu.I., Nemchinov S.G. Fire-fighting robots are in the fire automation: science and technology studies, the behavior of algorithms and design. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 5:82-88. URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/925/611> (rus).
10. Weselow A.I., Meschman L.M. *Automatischer Brand- und Explosionschutz*. Berlin, Staatsverlag DDR, 1979; 200.
11. Patent EU, No. 2599525, IPC A62C 31/00 (2006.01), A62C 35/68 (2006.01). *An automated fire-fighting complex integrating a television system*. Gorban Yu.I. No. 11815812.0, appl.: July 14, 2011; publ. December 30, 2015. Bull. 2015/53.
12. Gorban Yu.I. Fire robots. *Industrial Fire Journal*. 2016; 103:12-13.
13. Jensen G. *Fire fighting systems: Comparison of performances of interior and exterior applications at large wood buildings. KAPROJECT. Test report A075349. Final*. Trondheim, COWI AS, 2018; 26.
14. Jensen G. *Performance test series on exterior and interior water based fire suppression systems — Technical specification*. COWI on behalf of KA, 2016.
15. Gorban Yu.I. From sprinklers to firefighting mini robots. *Pozharnaya avtomatika. Sredstva spaseniya/Fire automatics. Means of Rescue: An Interdisciplinary Specialized Journal*, 2018; 44-45. (rus).
16. 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).
17. Meshman L.M., Bylinkin V.A., Gorban Yu.I., Gorban M.Yu., Fokicheva K.Yu. Topical issues of direction of robotic fire monitors to the fire source in robotic fire suppression systems. Part 1. Prerequisites for the creation of RFSS and specific features of extinguishing fires by FRM. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(3):70-88. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.03.70-88 (rus).

Поступила 05.06.2023, после доработки 19.06.2023;

принята к публикации 27.06.2023

Received June 5, 2023; Received in revised form June 19, 2023;

Accepted June 27, 2023

Информация об авторах

ГОРБАНЬ Юрий Иванович, академик НАНПБ, председатель совета директоров, главный специалист по пожарной робототехнике, ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР», Республика Карелия, 185031, г. Петрозаводск, ул. Заводская (Северная промзона р-он), 4; ORCID: 0000-0002-4452-6798; e-mail: info@efer.pro

НЕМЧИНОВ Сергей Георгиевич, генеральный директор, ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР», Республика Карелия, 185031, г. Петрозаводск, ул. Заводская (Северная промзона р-он), 4; ORCID: 0000-0002-8669-1724; e-mail: info@efer.pro

ЦАРИЧЕНКО Сергей Георгиевич, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Москва, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8669-1724; e-mail: info@efer.pro

Information about the authors

Yuriy I. GORBAN, Academician of the National Academy of Fire Safety Sciences, Chairman of the Board of Directors, Chief Specialist in Fire Robotics, “Engineering Centre of Fire Robots Technology “FR” LLC, Zavodskaya St., 4, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185031, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4452-6798; e-mail: info@efer.pro

Sergey G. NEMCHINOV, General Director, “Engineering Centre of Fire Robots Technology “FR” LLC, Zavodskaya St., 4, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185031, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8669-1724; e-mail: info@efer.pro

Sergey G. TSARICHENKO, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8669-1724; e-mail: info@efer.pro

лавское шоссе, 26; РИНЦ ID: 181475; Scopus AuthorID: 181475; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

ТУРОВСКИЙ Аристарх Альбертович, главный специалист по НИОКР, ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР», Республика Карелия, 185031, г. Петрозаводск, ул. Заводская (Северная промзона р-он), 4; ORCID: 0009-0005-9336-6654; e-mail: aa.turovskiy@efer.pro

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ration; ID RISC: 181475; Scopus AuthorID: 181475; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

Aristarkh A. TUROVSKIY, Chief R&D Specialist, “Engineering Centre of Fire Robots Technology “FR” LLC, Zavodskaya St., 4, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185031, Russian Federation; ORCID: 0009-0005-9336-6654; e-mail: aa.turovskiy@efer.pro

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.