

Актуальные проблемы навигации на очаг пожара пожарных роботизированных стволов

в роботизированных установках пожаротушения.

Часть 2. Программы управления ПРС при тушении статическими струями с учетом компоновки ПРС относительно очага пожара*

© **Л. М. Мешман**¹, **В. А. Былинкин**¹, **Ю. И. Горбань**^{2✉},
М. Ю. Горбань², **К. Ю. Фокичева**²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны
МЧС России (Россия, 143903, г. Балашиха Московской обл., мкр. ВНИИПО, 12)

² ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР» (Россия, 185031,
Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Заводская, 4)

РЕЗЮМЕ

Эффективность роботизированных установок пожаротушения в значительной мере зависит от тактики пожаротушения, выбранной для этих программируемых устройств и заключающейся в правильно определенной цели, а это — задача навигации. В этом номере даются заключительные материалы, основанные на огневых испытаниях, проведенных по программе и методике ВНИИПО в 2014–2018 гг. Представлены варианты компоновочных схем ПРС относительно очага пожара. Приведены эпюры орошения статическими навесными или фронтальными струями. Показано, что они зависят от угла атаки струи на защищаемую поверхность. Рассмотрены особенности тушения пожара статическими струями при углах атаки 90° и менее 90°. Приведены параметры пятна соприкосновения струи с поверхностью и орошаемой площади, при которых обеспечивается тушение пожара статическими струями.

Ключевые слова: сканирующие струи; статические струи; угол атаки; эффективная дальность; извещатель наведения; угловые координаты; площадь орошения.

Для цитирования: 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 2. Программы управления ПРС при тушении статическими струями с учетом компоновки ПРС относительно очага пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 4. — С. 63–81. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.63-81.

✉ Горбань Юрий Иванович, e-mail: frgroup@firerobots.ru

1. Компоновка ПРС относительно очага пожара

Некоторые варианты компоновки ПРС относительно очага пожара приведены на рис. 12–15.

То, что каждая точка помещения или защищаемого оборудования должна находиться в зоне действия не менее чем двух ПРС, не означает одновременного воздействия на очаг пожара двух ПРС. Эффективное тушение пожара может быть обеспечено только одним ПРС. Вместе с тем, как свидетельствуют результаты экспериментальных исследований, наиболее эффективное действие РУП наблюдается при одновременной подаче ОТВ из двух противоположно установленных ПРС.

Общий расход огнетушащего вещества и продолжительность непрерывной работы РУП должны

быть не менее указанных в табл. 5.1 СП 5.13130.2009 (далее — СП 5) 5 [40]. Общий расход РУП уточняется с учетом количества ПРС, одновременно задействованных в рабочем режиме, гидравлических потерь в питающем трубопроводе, характера и величины пожарной нагрузки, технологических особенностей объекта, группы помещений 1, 2 или 4 по приложению Б СП 5 [40].

В табл. 5.1 СП 5 [40] указано, что для оросителей общего назначения согласно ГОСТ Р 51043–2002 (Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний) минимальная орошаемая площадь с требуемой интенсивностью орошения составляет 12 м², а для традиционных АУП в зависимости от группы помещений по СП 5 [40] — от 60 до 180 м².

Проекция орошаемого пятна навесных, или фронтальных, или строчных компактных струй, или рас-

* Продолжение. Начало см. журнал «Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety» № 3 за 2019 г.

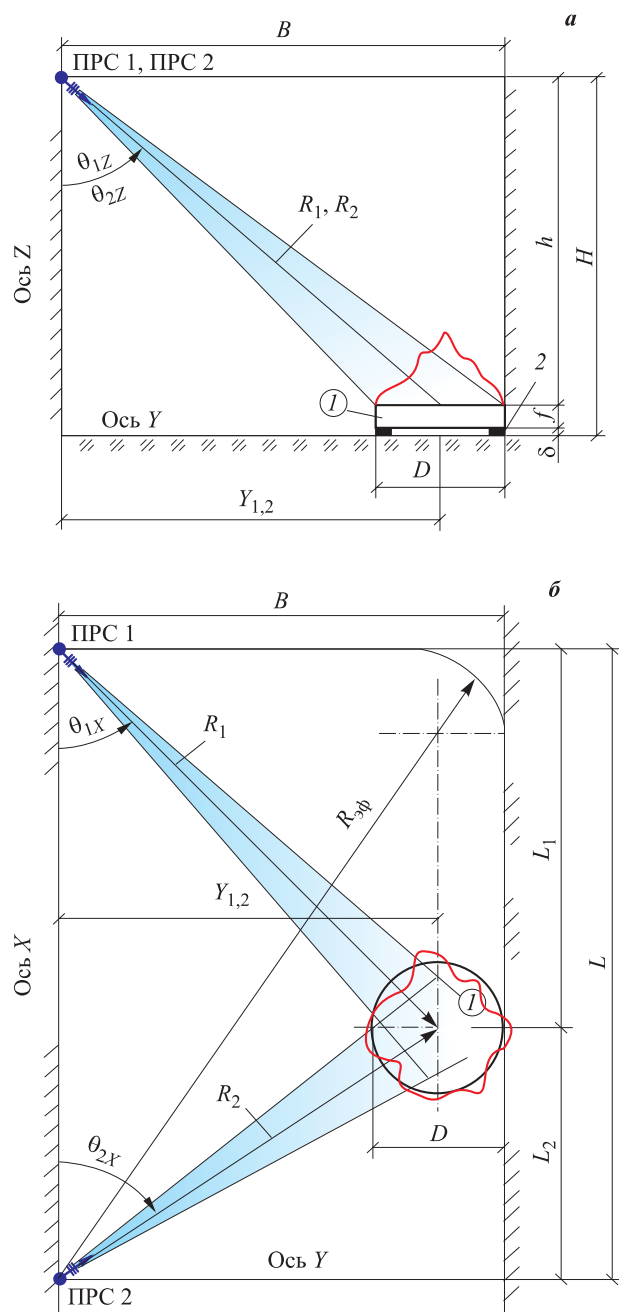


Рис. 12. Компонировка ПРС относительно очага пожара класса В при их одностороннем расположении и подаче статических (стоячих) струй: *a* — вид сбоку; *б* — вид сверху; *1* — пожарная нагрузка (противень с жидким горючим); *2* — подставка; *B* — ширина помещения; *D* — диаметр противня с жидким горючим; *H* — высота монтажа ПРС; *h* — расстояние по перпендикуляру между зеркалом жидкого горючего и осью вращения ствола ПРС; *L* — расстояние между ПРС по оси *X*; *L*₁, *L*₂ — расстояние по перпендикуляру между центром противня с жидким горючим и соответственно ПРС 1 и ПРС 2; *R*₁, *R*₂ — условные осевые компактной струи или распыленного потока ОТВ; *R*_{эф} — эффективная дальность подачи ОТВ; *f* — высота борта противня; θ_{1Z} , θ_{2Z} — угол атаки компактной струи или распыленного потока ОТВ относительно оси *Z* соответственно ПРС 1 или ПРС 2; θ_{1X} , θ_{2X} — угол атаки компактной струи или распыленного потока ОТВ относительно оси *X* соответственно ПРС 1 или ПРС 2; *Y*_{1,2} — расстояние по оси *Y* между центром пожарной нагрузки и соответственно ПРС 1, ПРС 2

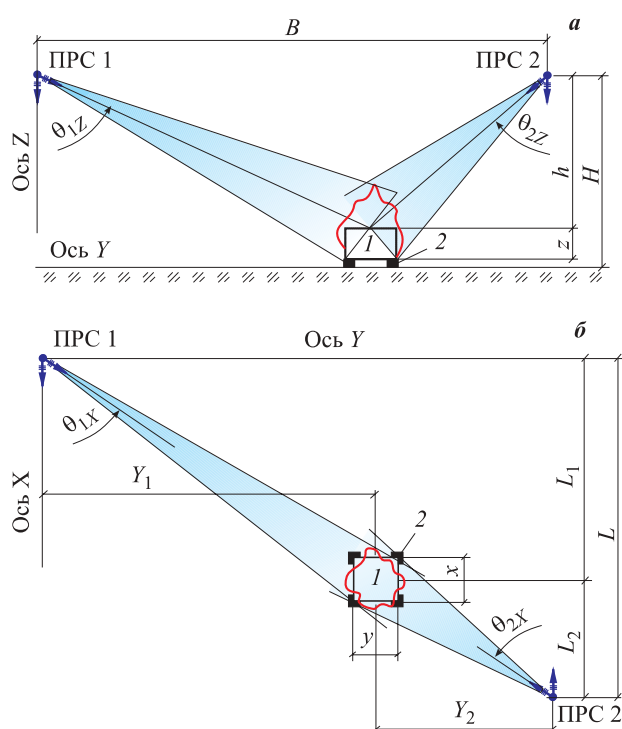


Рис. 13. Компонировка РУП относительно очага пожара класса А при противоположном расположении ПРС и подаче статических (стоячих) струй: *a* — вид сбоку; *б* — вид сверху; *1* — деревянный штабель; *2* — подставка; *H* — высота монтажа ПРС; *h* — расстояние по перпендикуляру между верхней поверхностью пожарной нагрузки и осью вращения ствола ПРС; *L* — расстояние между ПРС по оси *X*; *L*₁, *L*₂ — расстояние по оси *X* между центром пожарной нагрузки и соответственно ПРС 1 и ПРС 2; *x*, *y*, *z* — соответственно длина, ширина и высота пожарной нагрузки; *Y*₁, *Y*₂ — расстояние по оси *Y* между центром пожарной нагрузки и соответственно ПРС 1 и ПРС 2

пыленного потока ОТВ, формируемых одним стволом ПРС, в зависимости от того, под каким углом подается струя на объект защиты, может иметь форму круга или эллипса.

Чтобы струя покрыла минимальную защищаемую круговую площадь 12 м², ее диаметр должен быть не менее 4 м, а диаметр окружности, описанной вокруг квадрата площадью 60 м², — не менее 11 м. Однако чем шире струя, тем меньше ее эффективная дальность, поэтому при таких широких потоках ОТВ их дальность не будет превышать нескольких метров, что абсолютно неприемлемо для конкретных условий применения РУП.

Система управления ПРС должна обеспечивать поддержание гидравлических и кинематических параметров, в том числе угла распыления струи и угла коррекции между линией визирования извещателя наведения и линией возвышения пожарного ствола ПРС, таким образом, чтобы независимо от расстояния до очага пожара диаметр пятна струи ОТВ, контактирующего с объектом защиты, сохранял неизменное значение.

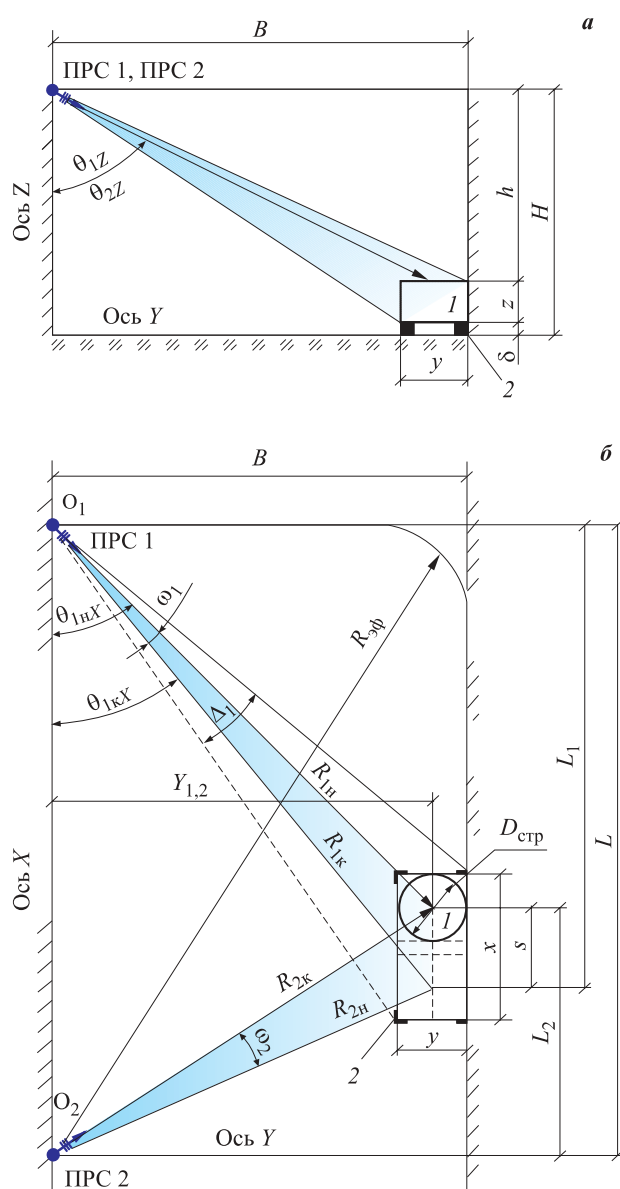


Рис. 14. Компоновка ПРС относительно очага пожара класса А при одностороннем расположении ПРС и подаче сканирующих струй: а — вид сбоку; б — вид сверху; 1 — пожарная нагрузка; 2 — подставка; В — ширина помещения; Н — высота монтажа ПРС; h — расстояние по оси Z между верхней поверхностью пожарной нагрузки и осью вращения ствола ПРС; L — расстояние между ПРС по оси X; L₁, L₂ — расстояние по оси X между верхней поверхностью пожарной нагрузки и соответственно ПРС 1 и ПРС 2; R_{1н}, R_{1к}, R_{2н}, R_{2к} — условные осевые компактной струи или распыленного потока ОТВ соответственно в начале и по окончании цикла сканирования ПРС 1 и ПРС 2; R_{эф} — эффективная дальность подачи ОТВ; x, y, z — соответственно длина, ширина и высота пожарной нагрузки; θ_{1Z} , θ_{2Z} — угол атаки компактной струи или распыленного потока ОТВ относительно оси Z соответственно ПРС 1 или ПРС 2; θ_{1X} , θ_{2X} — угол атаки компактной струи или распыленного потока ОТВ относительно оси X соответственно ПРС 1 или ПРС 2; ω_1 , ω_2 — диапазон углов сканирования соответственно ПРС 1 и ПРС 2; Δ_1 — реальный диапазон углов орошения из ПРС 1; Y_{1,2} — расстояние по оси Y между центром пожарной нагрузки и ПРС 1, ПРС 2

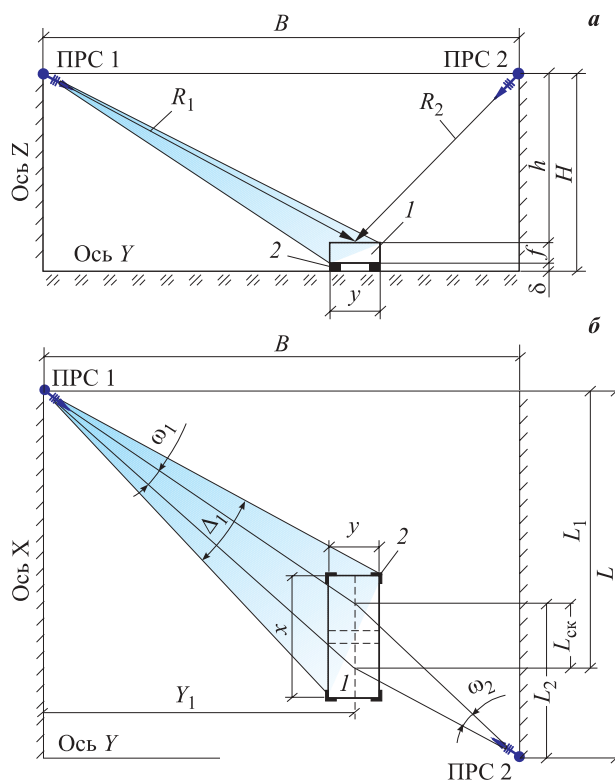


Рис. 15. Компоновка ПРС относительно очага пожара класса В (протяженного прямоугольного противня) при противоположном расположении ПРС и подаче сканирующих струй: а — вид сбоку; б — вид сверху; 1 — пожарная нагрузка (прямоугольный противень с жидким горючим); 2 — подставка; В — ширина помещения; Н — высота монтажа ПРС; h — расстояние по оси Z между зеркалом жидкого горючего и осью вращения ствола ПРС; L — расстояние между ПРС по оси X; L₁, L₂ — расстояние по оси X между центром противня с жидким горючим и соответственно ПРС 1 и ПРС 2; R_{1н}, R_{1к}, R_{2н}, R_{2к} — условные осевые компактной струи или распыленного потока ОТВ соответственно в начале и по окончании цикла сканирования ПРС 1 и ПРС 2; Y₁ — расстояние по оси Y между ПРС 1 и центром пожарной нагрузки; f — высота борта противня; x, y — длина и ширина противня; ω_1 , ω_2 — диапазон углов сканирования соответственно ПРС 1 и ПРС 2; Δ_1 — реальный диапазон углов орошения из ПРС 1

Эпюры орошения навесными или фронтальными струями зависят от угла атаки θ струи на защищаемую поверхность.

В реальных условиях ПРС осуществляет пространственную защиту в горизонтальной плоскости в пределах около 360°. Эпюра орошения защищаемой поверхности струей ствола ПРС при угле атаки $\theta = 90^\circ$ представляет собой круг, а в остальных случаях — эллипс, причем чем меньше угол атаки θ , тем более вытянутую форму будет иметь эллипс.

Количество строк сканирования определяется в зависимости от размера пятна ОТВ, контактирующего с защищаемой поверхностью, и высоты защищаемой зоны.

По результатам проведенных измерений пятна струи орошение как внутри круга, так и внутри эл-

липа имеет неравномерный характер. Достаточно кучный участок с удовлетворительной интенсивностью орошения расположен на расстоянии, составляющем порядка 90 % от максимальной дальности (по крайним каплям). Расстояние до него принято считать эффективной дальностью. Площадь пятна струи, на которую падает до 70 % подаваемой воды, является эффективной зоной орошения. При вибрировании, осциллировании или сканировании струей орошение становится более равномерным. Эффективная зона пятна орошения должна учитываться при составлении программ орошения с учетом дальности струи.

Как следует из приведенных на рис. 8–11* различных компоновочных схем ПРС, визирование извещателя наведения на очаг пожара и возвышение ствола ПРС имеют различную угловую трехмерную ориентацию. Для упрощения и сокращения объема изложения материала взаимодействие струй с поверхностью горючей нагрузки далее условно рассматривается в одной плоскости.

2. Программы управления ПРС при тушении статическими струями

2.1. Статические струи, направленные к фронтальной поверхности ($\theta \approx 90^\circ$)

Для статических струй, направленных к фронтальной поверхности ($\theta \approx 90^\circ$) предельно допустимая площадь пожара оценивается по площади круга S_K , образующегося при контакте струи или распыленного потока ОТВ с объектом защиты.

В данном случае программа ПРС с учетом угла погрешности навигации α и угла зоны нечувствительности извещателя наведения β реализует наведение ствола ПРС одним из двух способов:

- под обрез пламени таким образом, чтобы нижняя кромка пламени находилась целиком в пределах пятна контакта струи с защищаемой поверхностью (рис. 16,а);
- в центр пламени таким образом, чтобы участок объекта защиты, обхваченный пламенем, находился целиком в пределах пятна контакта струи с защищаемой поверхностью (рис. 16,б).

При этом во всех случаях программа управления ПРС обеспечивает попадание струи ОТВ в очаг пожара путем:

- анализа давления ОТВ и в случае его изменения внесения баллистической поправки к вертикальному углу наведения (углу возвышения) выходного патрубка ствола в зависимости от расстояния до очага пожара и давления ОТВ;
- выбора угла распыления ОТВ в зависимости от расстояния от ПРС до очага пожара.

Для рис. 16,а и 16,б диапазон углов орошения с учетом растекания ОТВ по защищаемой поверхности по горизонтали равен реальному диапазону углов орошения $\sigma = \Delta$. Допустим, что в данном случае программа ПРС с учетом угла погрешности навигации α и угла зоны нечувствительности извещателя наведения β реализует наведение ствола ПРС на осевую линию пламени $ВВ_1$ и определяет в зависимости от расстояния до очага пожара необходимый диаметр струи ОТВ $D_{стр}$ в момент ее соприкосновения с поверхностью горения, причем диаметр струи принимается больше длины пламени, т. е. $D_{стр} > L_{пл}$. При наведении ПРС на очаг пожара его ствол может перемещаться не только по горизонтали — слева направо или справа налево, но и одновременно по вертикали — сверху вниз или снизу вверх.

Если визирование струи предполагается по осевой линии регистрируемого очага пожара $ВВ_1$, и он не выходит за пределы площади взаимодействия струи с поверхностью АВС, и угол λ не выходит за пределы угла Δ , то статическая фронтальная струя обеспечивает ликвидацию пожара. В этом случае пятно соприкосновения струи с поверхностью и орошаемая площадь имеют следующие параметры:

- пятно соприкосновения:
 - а) в угловых координатах (здесь и далее: для упрощения изложения угловые координаты приняты только по оси X):

$$\Delta \geq \lambda = \psi + 2\alpha + 2\beta; \quad (1)$$

- б) в линейных размерах (здесь и далее: вследствие $R \gg D_{стр}$ (где R — радиус действия струи) принимаем область дуги L прямой:

$$L_{сопр} = D_{стр} = AC = 2R \operatorname{tg}(\Delta/2) \geq 2R \operatorname{tg}(\psi/2 + \alpha + \beta) \quad (2a)$$

$$\text{или } L_{сопр} \approx \pi \Delta R / 180 \approx \Delta R / 57,3; \quad (2b)$$

- в) площадь

$$S_{сопр} = \pi D_{стр}^2 / 4 = 0,785 D_{стр}^2; \quad (3)$$

- орошаемая площадь:
 - а) в угловых координатах:

$$\Delta \geq \lambda = \psi + 2\alpha + 2\beta; \quad (4)$$

- б) в линейных размерах:

$$L_{орош} = D_{стр} = AC = 2R \operatorname{tg}(\Delta/2) \geq 2R \operatorname{tg}(\psi/2 + \alpha + \beta) \quad (5a)$$

$$\text{или } L_{орош} \approx \Delta R / 57,3; \quad (5b)$$

* См. начало настоящей статьи: 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. 27, № 3. — С. 70–88. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.03.70-88.

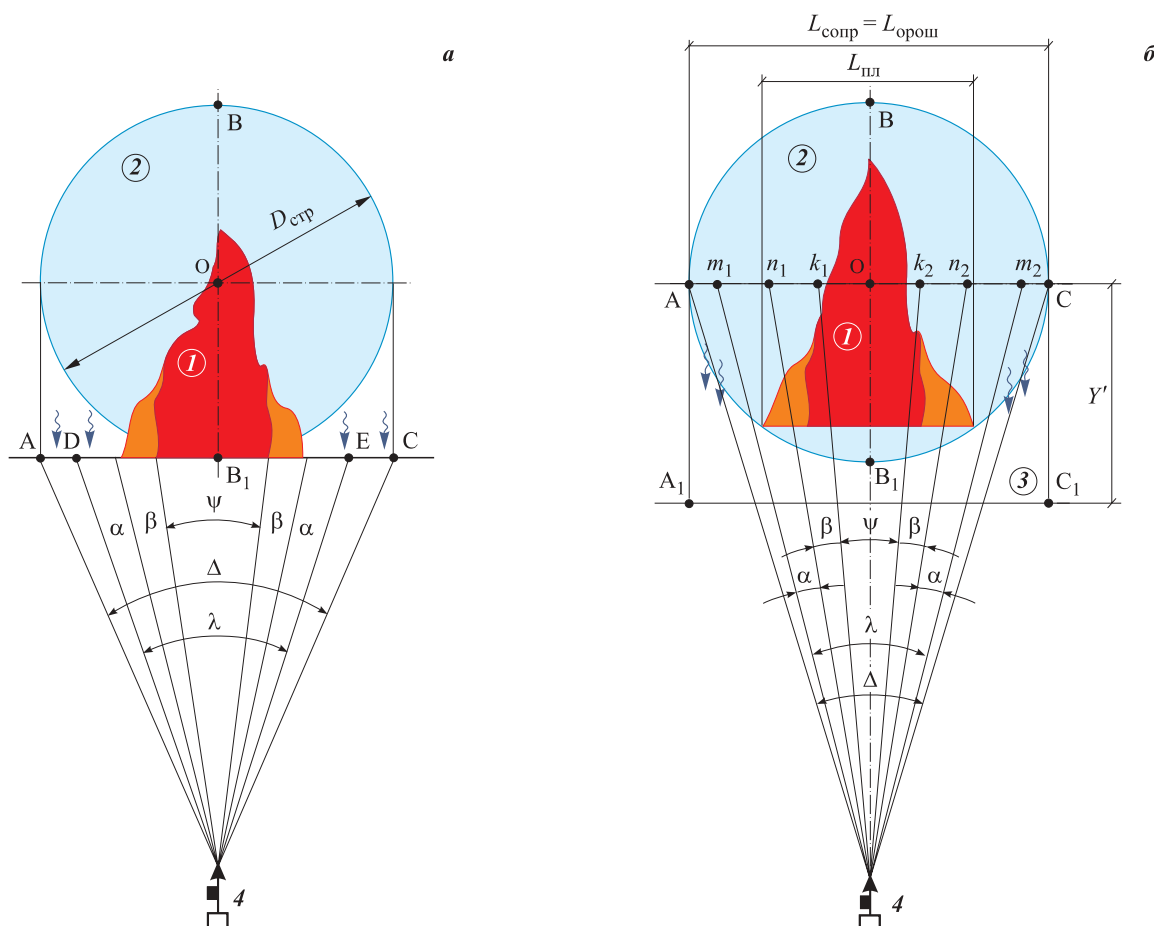


Рис. 16. Эпюра орошения фронтальной поверхности статической струей с углом атаки $\theta \approx 90^\circ$ при ее наведении: *a* — под обреза пламени; *б* — в центр пламени; 1 — пламя; 2 — орошаемая площадь в момент соприкосновения струи с защищаемой поверхностью; 3 — дополнительная площадь, орошаемая за счет стекания ОТВ по вертикали; 4 — ПРС; $D_{\text{стр}}$ — диаметр струи в момент ее соприкосновения с защищаемой поверхностью; $L_{\text{сопр}} = L_{\text{орош}} = AC$ — длина линии соприкосновения и орошения при контакте ОТВ с защищаемой поверхностью; $L_{\text{пл}}$ — длина пламени; Y' — расстояние по оси Y до центра пламени

в) площадь орошения:

$$S_{\text{орош}} = S_{\text{сопр}} \geq \frac{\pi D_{\text{стр}}^2}{8} + Y' D_{\text{стр}}^2 = \left(\frac{\pi}{8} + Y' \right) D_{\text{стр}}^2. \quad (6)$$

Предполагается, что, во-первых, интенсивность орошения в зоне $S_{\text{орош}}$ не ниже, чем в круге $S_{\text{сопр}}$, так как ОТВ после контакта с вертикальной поверхностью стекает вниз по оси Y ; во-вторых, интенсивность и равномерность орошения сохраняются в пределах $Y' \approx (1,0 \div 2,0) D_{\text{стр}}$. При $Y' = 0,5 D_{\text{стр}}$, т. е. при площади орошения, ограниченной высотой $BB_1 = D \sim D_{\text{стр}}$, имеем:

$$\begin{aligned} S_{\text{орош}} = S_{\text{сопр}} &\geq \frac{\pi D_{\text{стр}}^2}{8} + 0,5 D_{\text{стр}}^2 = \\ &= \left(\frac{\pi}{8} + 0,5 \right) D_{\text{стр}}^2 \approx 0,89 D_{\text{стр}}^2. \end{aligned}$$

При этом интенсивность орошения в пределах площади круга диаметром $D_{\text{стр}}$ (см. рис. 16, *a*) должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 51043–2002 и СП 5.13130.2009 [40]).

Если очаг пожара выходит за пределы площади пятна взаимодействия струи с поверхностью $S_{\text{авсбв}_1}$,

т. е. угол λ выходит за пределы угла Δ , то условия (4)–(6) не выполняются и пожар статической струей потушен быть не может, вследствие чего для его ликвидации необходимо либо увеличить диаметр струи $D_{\text{стр}}$, либо использовать строчное сканирование.

2.2. Статические струи, направленные под углом к фронтальной поверхности ($0 < \theta < 90^\circ$)

Для статических струй, направленных под углом к фронтальной поверхности ($0 < \theta < 90^\circ$), предельно допустимая площадь пожара изначально оценивается по площади эллипса $S_{\text{э}}$, образующегося при контакте струи или распыленного потока ОТВ с объектом защиты.

Как и в предыдущем случае, программа ПРС с учетом угла погрешности навигации α и угла зоны нечувствительности извещателя наведения β реализует наведение ствола ПРС одним из двух способов:

- под обреза пламени таким образом, чтобы нижняя кромка пламени находилась целиком в пределах пятна контакта струи с защищаемой поверхностью (рис. 17, *a*);

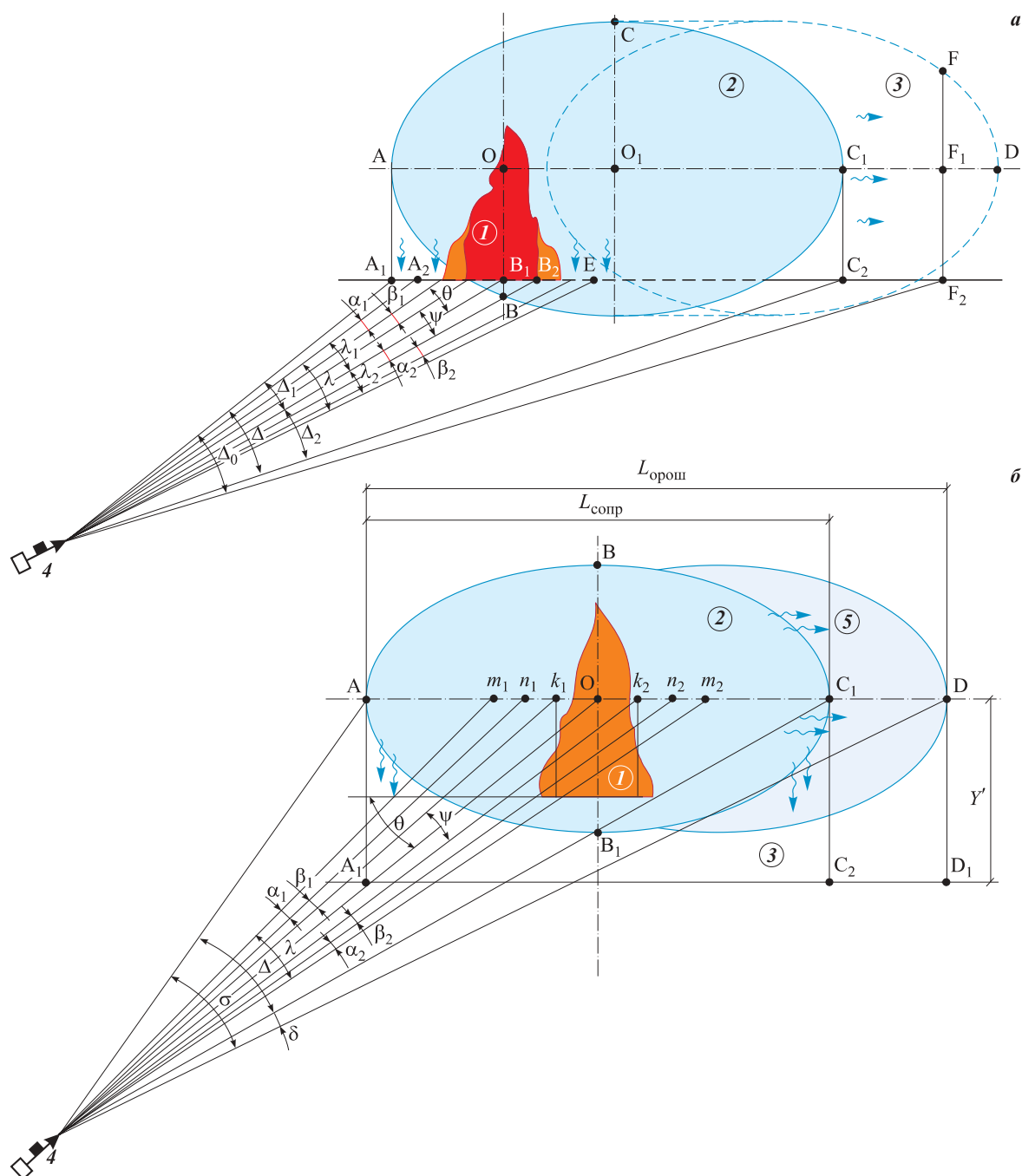


Рис. 17. Эпюра орошения плоской поверхности статической скользящей струей с углом атаки ($0 < \theta < 90^\circ$) при ее наведении: *a* — под обрез пламени; *б* — в центр пламени; 1 — пламя; 2 — орошаемая площадь в момент соприкосновения ОТВ с защищаемой поверхностью; 3 — дополнительная площадь ΔS_r , орошаемая за счет растекания ОТВ по горизонтали; 4 — ПРС; 5 — дополнительная площадь $\Delta S_{\text{в-г}}$, орошаемая за счет стекания ОТВ по вертикали и по горизонтали; $L_{\text{орош}} = AD$ — длина орошения с учетом растекания ОТВ по горизонтали

- в центр пламени таким образом, чтобы участок объекта защиты, обхваченный пламенем, находился в зоне орошения по осевой линии эллипса соприкосновения ОТВ (совмещение вертикальной оси пламени с малой осью эллипса соприкосновения) (рис. 17,б).

В момент соприкосновения компактной струи или распыленного потока ОТВ диаметром $D_{\text{стр}}$ с по-

верхностью горения образуется зона соприкосновения в форме эллипса $S_{\text{сопр}}(ABCB_1A)$, обеспечивающая перекрытие зоны очага горения. Чем меньше угол атаки θ , тем больше площадь эллипса $S_{\text{сопр}}(ABCB_1A)$ и при неизменном расходе меньше интенсивность орошения. Поскольку струя (поток) ОТВ по инерции будет скользить по поверхности орошения по направлению его подачи (по оси X), интенсивность

орошения, приходящаяся на среднюю часть эллипса, будет сохраняться на некотором участке, ограниченном полуэллипсом BDB_1 .

Предполагается, что по сравнению с интенсивностью орошения в зоне непосредственного контакта струи с поверхностью интенсивность орошения в зоне, расположенной вдоль направления потока ОТВ на некотором расстоянии от границы контакта струи с орошаемой поверхностью, при изменении угла атаки θ от 0 до 90° изменяется от максимума до минимума, и наоборот, в некоторой зоне, расположенной ниже строки орошения, — от минимума до максимума (т. е. практически до интенсивности орошения, соответствующей интенсивности в зоне контакта струи с поверхностью).

При определенном значении угла атаки θ длина зоны дополнительного орошения CD может перекрывать погрешность навигации α_2 и зону нечувствительности β_2 извещателя наведения. В этом случае диаметр струи $D_{стр}$ может приниматься даже несколько меньше ширины пламени, поэтому при малом угле атаки можно учитывать только угол погрешности навигации α_1 и угол зоны нечувствительности β_1 извещателя наведения.

В то же время при значительном угле атаки θ площадь пятна соприкосновения струи с поверхностью $ABCB_1A$ меньше, сокращается и дополнительная площадь орошения $ABDB_1A$ и одновременно больше ОТВ стекает вниз по вертикальной плоскости. Следовательно, при большом угле атаки приходится учитывать погрешность угла навигации и угол зоны нечувствительности извещателя наведения с обеих сторон пламени, т. е. и $(\alpha_1 + \beta_1)$, и $(\alpha_2 + \beta_2)$.

Если визирование струи предполагается по осевой линии регистрируемого пламени, а очаг пожара не выходит за пределы площади взаимодействия струи с поверхностью $S_{сопр} = ABCB_1A$ и угол λ не выходит за пределы угла Δ , то статическая струя, действующая под углом атаки θ к фронтальной поверхности, обеспечивает ликвидацию пожара. В этом случае (при $R \gg D_{стр}$) и, допустим, при малом угле атаки пятно соприкосновения струи с поверхностью с квазипостоянной интенсивностью орошения и орошаемая площадь имеют параметры:

- пятно соприкосновения:

- а) в угловых координатах при $\theta < 45^\circ$:

$$\Delta \geq \lambda = (\psi + \alpha_1 + \beta_1); \quad (7a)$$

- при $\theta \geq 45^\circ$:

$$\Delta \geq \lambda = (\psi + \alpha_1 + \beta_1 + \alpha_2 + \beta_2); \quad (7b)$$

- б) в линейных размерах:

$$L_{сопр} = AC = D_{стр}/\sin \theta; \quad (8)$$

- в) площадь орошения:

$$S_{сопр} = \pi \cdot AC \cdot BB_1 / 4 = \pi D_{стр}^2 / (4 \sin \theta); \quad (9)$$

- орошаемая площадь:

- а) в угловых координатах:

$$\sigma = \Delta + \delta; \quad (10)$$

- б) в линейных размерах:

$$L_{орш} = AD = (AC + CD) D_{стр} / \sin \theta; \quad (11a)$$

- при $\theta < 45^\circ$:

$$L_{орш} \approx \frac{(\Delta + \delta)R}{57,3} \geq \frac{(\delta + \psi + \alpha_1 + \beta_1)R}{57,3}; \quad (11b)$$

- при $\theta \geq 45^\circ$:

$$L_{орш} \approx \frac{(\Delta + \delta)R}{57,3} \geq \frac{(\delta + \psi + \alpha_1 + \beta_1 + \alpha_2 + \beta_2)R}{57,3}; \quad (11b)$$

- в) площадь орошения:

$$S_{орш} \approx S_{сопр} + \Delta S_r + \Delta S_b = 0,5 (S_{сопр} + \Delta S_{rBDD_1}) + \Delta S_{bADD_1A_1}. \quad (12)$$

Если очаг пожара выходит за пределы площади $ABDB_1A$ или угол λ — за пределы угла σ , т. е. не выполняются условия (10)–(12), то пожар статической струей не может быть потушен. В этом случае для его ликвидации необходимо либо увеличить диаметр струи $D_{стр}$ (а для поддержания интенсивности орошения повысить и расход), либо использовать строчное сканирование (опять-таки одновременно увеличив расход).

Аналогичные положения приемлемы и для статической навесной струи.

Если защищаемая площадь подвергается орошению статической навесной или фронтальной струей (без сканирования стволом ПРС), то расчет расхода ПРС, необходимого для тушения пожара, упрощается: интенсивность орошения и расход принимаются согласно ГОСТ Р 51043–2002 и СП 5 [40]. В то же время программа управления должна обеспечивать (независимо от расстояния от ПРС до защищаемой поверхности) за счет регулировки угла раскрытия струи квазипостоянную площадь пятна контакта ОТВ с защищаемой поверхностью.

Расход ПРС Q (л/м²) для статической фронтальной, действующей под углом к фронтальной поверхности, или навесной струи рассчитывается из условия:

$$Q = Ki S_{сопр} / \sin \theta = Ki S_{орш}, \quad (13)$$

где K — коэффициент использования расхода;

$$K = 1,2 \div 1,3;$$

i — нормативная интенсивность орошения по СП 5 [40], л/(с·м²).

Площадь пятна соприкосновения струи с поверхностью в форме круга при $\theta = 90^\circ$ определяется как

$S_{\text{сопр.к}} = \pi D_{\text{стр}}^2 / 4$, в форме эллипса при $\theta \neq 90^\circ$ — как $S_{\text{сопр.э}} = \pi D_{\text{стр}}^2 / (4 \sin \theta)$.

Во сколько раз увеличивается $S_{\text{орош}}$ по сравнению с $S_{\text{сопр}}$, во столько раз потребуется увеличить расход ОТВ. Необходимо учитывать этот фактор при проектировании РУП и при определении расстояния между ПРС, входящих в состав РУП, стараться, чтобы угол атаки θ каждого ПРС был как можно больше.

Выводы

Статические струи в практике РУП применяются нечасто. Однако введенные понятия и представленные расчеты имеют существенное значение для сканирующих струй, широко применяемых в РУП непосредственно для пожаротушения, и о них пойдет речь в следующей заключительной главе.

Окончание следует

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shanee Honig, Tal Oron-Gilad*. Understanding and resolving failures in human-robot interaction: Literature review and model development // *Frontiers in Psychology*. — 2018. — Vol. 9. — Article No. 861. — 21 p. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00861.
2. Аналитическое исследование: мировой рынок робототехники. — М. : Национальная Ассоциация участников рынка робототехники, 2016. — 157 с. URL: http://robotforum.ru/assets/files/000_News/NAURR-Analiticheskoe-issledovanie-mirovogo-rinka-robototekhniki-%28yanvar-2016%29.pdf (дата обращения: 05.01.2019).
3. *Marchant G. E., Allenby B., Arkin R. C., Borenstein J., Gaudet L. M., Kittrie O., Lin P., Lucas G. R., O'Meara R., Silberman J.* International governance of autonomous military robots // *Handbook of unmanned aerial vehicles* / Valavanis K. P., Vachtsevanos G. J. (eds). — Dordrecht : Springer, 2015. — P. 2879–2910. DOI: 10.1007/978-90-481-9707-1_102.
4. *Møller Michael*. UN meeting targets 'killer robots' // *UN News*. — 14 May 2014. URL: <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=47794> (дата обращения: 07.01.2019).
5. *Cummings M. L.* Unmanned robotics and new warfare: a pilot/professor's perspective // *Harvard National Security Journal*. — 24 March 2010. URL: <http://harvardnsj.org/2010/03/unmanned-robotics-new-warfare-a-pilotprofessors-perspective/> (дата обращения: 07.01.2019).
6. 11 police robots patrolling around the world // *Wired*. — 24 July 2016. URL: <https://www.wired.com/2016/07/11-police-robots-patrolling-around-world/> (дата обращения: 05.01.2019).
7. *Бойко Алексей (ABloud)*. Каталог пожарных роботов. Пожарные роботы. Роботизированная техника для борьбы с пожарами. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-pozharnyh-robotov> (дата обращения: 05.01.2019).
8. *Tan Chee Fai, Liew S. M., Alkahari M. R., Ranjit S. S. S., Said M. R., Chen W., Rauterberg G. W. M., Sivakumar D., Sivarao*. Fire fighting mobile robot: state of the art and recent development // *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. — 2013. — Vol. 7, No. 10. — P. 220–230.
9. Fire robots and fire robots technology: product catalogue 2015–2016. — Petrozavodsk : "FR" Engineering Centre of Fire Robots Technology, LLC. Publ., 2017. — 23 p. URL: <http://www.russchinatrade.ru/assets/files/ru-offer/FR%E4%BA%A7%E5%93%81%E7%9B%AE%E5%BD%952015%E8%8B%B1%E6%96%87%E7%89%88.pdf> (дата обращения: 20.12.2018).
10. Роботы в промышленности — их типы и разновидности. Робототехника, 3D-принтеры. Блог компании Top 3D Shop. URL: <https://habr.com/ru/company/top3dshop/blog/403323/> (дата обращения: 25.12.2018).
11. *Melanson Tony*. What Industry 4.0 means for manufacturers. URL: <https://aethon.com/mobile-robots-and-industry4-0/> (дата обращения: 05.01.2019).
12. Каталог решений роботизированного транспорта. Транспорт и роботы. Зарубежные решения. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-resheniy-robotizirovannogo-transporta> (дата обращения: 10.01.2019).
13. *Ruggiero Alexander, Salvo Sebastian, Laurent Chase St.* Robotics in construction: IQP Final Report 3/24/2016. — Massport, 2016. — 78 p. URL: <http://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-032316-150233/unrestricted/FinalReport.pdf> (дата обращения: 10.01.2019).
14. Robots in Agriculture. URL: <http://www.intorobotics.com/35-robots-in-agriculture/> (дата обращения: 05.01.2019).
15. *Juan Jesús Roldán, Jaime del Cerro, David Garzón Ramos, Pablo Garcia Aunon, Mario Garzón, Jorge de León, Antonio Barrientos*. Robots in agriculture: State of art and practical experiences // *Service Robots* / Rolf Dieter Schraft, Gernot Schmieder. — New York : A K Peters / CRC Press, 2018. — 228 p. DOI: 10.5772/intechopen.69874.

16. *Van Oost E., Reed D.* Towards a sociological understanding of robots as companions // *HRPR 2010: Human-Robot Personal Relationships. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering* / Lamers M. H., Verbeek F. J. (eds). — Heidelberg : Springer. — P. 11–18. DOI: 10.1007/978-3-642-19385-9_2.
17. *Van der Plas A., Smits M., Wehrmann C.* Beyond speculative robot ethics: a vision assessment study on the future of the robotic caretaker // *Accountability in Research*. — 2010. — Vol. 17, Issue 6. — P. 299–315. DOI: 10.1080/08989621.2010.524078.
18. *Van Wynsberghe A.* Designing robots for care: care centered value-sensitive design // *Science and Engineering Ethics*. — 2013. — Vol. 19, Issue 2. — P. 407–433. DOI: 10.1007/s11948-011-9343-6.
19. *Robinette P., Howard A., Wagner A. R.* Conceptualizing overtrust in robots: why do people trust a robot that previously failed? // *Autonomy and artificial intelligence: a threat or savior?* / Lawless W. F., Mittu R., Sofge D., Russell S. (eds). — Cham : Springer, 2017. — P. 129–155. DOI: 10.1007/978-3-319-59719-5_6.
20. *Ефанов В., Мартынов М., Пичхадзе К.* Космические роботы для научных исследований // *Наука в России*. — 2012. — № 1. — С. 4–11.
21. *Royakkers L., van Est R.* A literature review on new robotics: automation from love to war // *International Journal of Social Robotics*. — 2015. — Vol. 7, Issue 5. — P. 549–570. DOI: 10.1007/s12369-015-0295-x.
22. *Honig S., Oron-Gilad T.* 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.
23. Автоматическая установка с самонаведением средств тушения на очаг пожара // *Пожарное дело*. — 1970. — № 2. — С. 257.
24. А. с. 257300 СССР. МПК А62С 37/10 (2000.01), А62С 37/40 (2000.01). Устройство для наведения огнетушащей струи на очаг пожара / Веселов А. И., Абдеев М. Г., Балагин П. Г. — № 1206295.29-14; заявл. 26.12.1967; опубл. 11.11.1969, Бюл. № 35.
25. А. с. 370950 СССР. МПК А62С 37/04 (2000.01). Устройство для наведения огнетушащей струи на очаг пожара / Мешман Л. М. — № 1488694/29-14; заявл. 02.11.1970; опубл. 22.11.1973, Бюл. № 12.
26. *Веселов А. И., Мешман Л. М.* Автоматическая пожаро- и взрывозащита предприятий химической и нефтехимической промышленности. — М. : Химия, 1975. — 280 с.
27. *Weselow A. I., Meschman L. M.* Automatischer brand- und explosionschutz. — Berlin : Staatsverlag DDR, 1979. — 200 s.
28. *Попов Н. Л., Горбань Ю. И.* Пожарные роботы // *Пожарное дело*. — 1986. — № 7. — С. 20–21.
29. *Мешман Л. М., Верецагин С. Н.* Современная пожарная робототехника : обзорная информация. — М. : ГИЦ МВД СССР, 1988. — 42 с.
30. *Мешман Л. М., Пивоваров В. В., Гомозов А. В., Верецагин С. Н.* Пожарная робототехника. Состояние и перспективы использования : обзорная информация. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1992. — 82 с.
31. *Мешман Л. М., Верецагин С. Н., Широков С. М., Алдонясов В. И.* Баллистика сканирующих струй // *Пожарная техника и тушение пожаров*. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1990. — С. 61–66.
32. НПБ 84–2000. Установки водяного и пенного пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200016071> (дата обращения: 10.01.2019).
33. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 25.12.2018).
34. FM 142.1. Approval Standard for Fire Protection Monitor Assemblies. FM Approvals LLC, 2018. — 28 p.
35. *Jensen G.* Fire fighting systems: Comparison of performances of interior and exterior applications at large wood buildings. KA PROJECT. Test report A075349. Final. — Trondheim : COWI AS, 2018. — 26 p. (in Norwegian).
36. *Gorban Yu. I.* An automated fire-fighting complex integrating a television system. European patent 2599525B; publ. date 30.12.2015, Bull. 53.
37. *Gorban Yu. I.* Fire robots // *Industrial Fire Journal*. — 2016. — No. 103. — P. 12–13.
38. Пат. 2677622 Российская Федерация. МПК А62С 35/00 (2006.01). Роботизированный пожарный комплекс на базе пожарных мини-роботов-оросителей с системой удаленного доступа / Горбань Ю. И. — № 2018116814; заявл. 04.05.2018; опубл. 17.01.2019, Бюл. № 2.
39. *Горбань Ю. И.* Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. — М. : Пожнаука, 2013. — 352 с.

40. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (ред. от 01.06.2011). URL: <http://base.garant.ru/195658/> (дата обращения: 15.12.2018).
41. ВНПБ 39–16 (СТО 1682.0017–2015). Роботизированная установка пожаротушения. Нормы и правила проектирования. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2016. — 84 с.

Поступила 12.01.2019; после доработки 20.02.2019; принята к публикации 22.02.2019

Информация об авторах

МЕШМАН Леонид Мунеевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация

БЫЛИНКИН Владимир Александрович, канд. техн. наук, начальник сектора, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха Московской обл., Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-4034-2510; Scopus Author ID: 6506544327; e-mail: fire404@mail.ru

ГОРБАНЬ Юрий Иванович, генеральный директор, ООО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”, Республика Карелия, г. Петрозаводск, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-4452-6798; e-mail: frgroup@firerobots.ru

ГОРБАНЬ Михаил Юрьевич, технический директор – ГИП, ООО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”, Республика Карелия, г. Петрозаводск, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-9191-426X; e-mail: kristinaz@firerobots.ru

ФОКИЧЕВА Кристина Юрьевна, ведущий инженер-проектировщик, ООО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”, Республика Карелия, г. Петрозаводск, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-2850-7324; e-mail: kristinaz@firerobots.ru