

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022. Т. 31. № 2. С. 63–70  
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFET. 2022; 31(2):63-70

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.849

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2022.31.02.63-70>

## Автоматические и роботизированные системы пожаротушения как альтернатива оперативным подразделениям на автономных и малообслуживаемых объектах топливно-энергетического комплекса

Сергей Георгиевич Немчинов<sup>1</sup>, Сергей Георгиевич Цариченко<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР», г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Важным фактором надежной работы всего топливно-энергетического комплекса является обеспечение пожарной безопасности технологического оборудования, предназначенного для транспортировки и распределения электроэнергии (силовые подстанции, трансформаторные блоки), нефтепродуктов и горючего газа (компрессорные и насосные магистральные станции), которые представляют собой автономные и малообслуживаемые объекты, находящиеся на удаленных территориях.

**Проблематика вопроса.** Противопожарная защита автономных и малообслуживаемых объектов ТЭК, к которым относятся силовые подстанции, магистральные компрессорные и насосные станции, в настоящее время основывается на использовании оперативных средств и подразделений, которые, с учетом экономической нецелесообразности их создания на этих объектах, а также их удаленности от объектов, не всегда обеспечивают надежную и эффективную защиту. Предлагается рассмотреть вопрос целесообразности применения автоматических систем противопожарной защиты, работающих в автономном режиме с использованием роботизированных установок пожаротушения и водопеночных теплозащитных экранов.

**Результаты исследований.** Обоснована возможность противопожарной защиты автономных и малообслуживаемых объектов ТЭК с использованием водопеночных теплозащитных экранов и стационарных роботизированных установок пожаротушения, функционирующих в режиме автономного управления и обеспечивающих своевременную и достаточно эффективную защиту за счет снижения теплового воздействия от внешних очагов пожаров без привлечения оперативного персонала.

**Выводы.** Обеспечение пожарной безопасности автономных и малообслуживаемых объектов ТЭК автоматическими установками пожаротушения с использованием роботизированных лафетных стволов и водопеночных теплозащитных экранов представляется эффективной альтернативой существующим принципам противопожарной защиты с использованием оперативных подразделений.

**Ключевые слова:** противопожарная защита; автономное управление; природный пожар; водопеночный теплозащитный экран; роботизированная установка пожаротушения

**Для цитирования:** Немчинов С.Г., Цариченко С.Г. Автоматические и роботизированные системы пожаротушения как альтернатива оперативным подразделениям на автономных и малообслуживаемых объектах топливно-энергетического комплекса // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 2. С. 63–70. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.63-70

✉ Цариченко Сергей Георгиевич, e-mail: tsarichenko\_s@mail.ru

## Automatic and robotized firefighting systems at self-contained and low-maintenance facilities of the fuel and energy sector as an alternative to quick response teams

Sergey G. Nemchinov<sup>1</sup>, Sergey G. Tsarichenko<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> “FR” Engineering Centre of Fire Robots Technology, Petrozavodsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

**ABSTRACT**

**Introduction.** An important factor of the proper operation of the whole fuel and energy sector is the fire safety of its process facilities, designated for the transportation and distribution of electricity (power stations, transformer units), oil products and combustible gas (compressors and main pumps). These items of equipment are self-contained low-maintenance facilities located in remote areas.

**Scope of problems.** The fire safety of self-contained low-maintenance fuel and energy facilities, including power stations, compressors and main pumps, entails the involvement of the field forces that cannot ensure reliable and effective fire protection at all times, given the economic inexpediency of their establishment at these facilities or their remoteness from the facilities. The authors propose using automatic fire safety systems composed of robotized fire extinguishing units and water film heat shields that may operate in the stand-alone mode.

**Research results.** The authors have proven the ability of water film heat shields and stationary robotized fire extinguishing systems to ensure the fire safety of self-contained low-maintenance fuel and energy facilities. The proposed items of equipment should operate in the autonomous control mode that ensures timely and sufficiently effective fire protection by reducing the thermal impact of outdoor fires without the involvement of quick response teams.

**Conclusions.** Given the need to ensure fire safety, the use of self-contained and low-maintenance fuel and energy facilities equipped with automatic fire extinguishing units that have robotized water monitors and water film heat shields is an effective alternative to quick response teams.

**Keywords:** fire protection; autonomous control; natural fire; water film heat shield; robotized fire extinguishing system

**For citation:** Nemchinov S.G., Tsarichenko S.G. Automatic and robotized firefighting systems at self-contained and low-maintenance facilities of the fuel and energy sector as an alternative to quick response teams. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(2):63-70. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.63-70 (rus).

✉ Sergey Georgievich Tsarichenko, e-mail: tsarichenko\_s@mail.ru

**Введение**

Объекты топливно-энергетического комплекса, к которым относятся промышленные объекты, связанные с добычей и производством первичных энергетических ресурсов, их переработкой в другие виды топлива и преобразованием в другие виды энергии (электрическая, тепловая энергия и др.), а также транспортировкой и распределением по потребителям, являются стратегически важными для экономики и безопасности страны. Важным фактором надежности работы этих объектов является обеспечение их пожарной безопасности. Вопросам обеспечения пожарной безопасности таких объектов посвящено достаточно большое количество работ [1–6], в которых рассматриваются вопросы как профилактических мероприятий, так и оперативно-тактические способы предотвращения и борьбы с пожарами. Однако в основном в этих исследованиях представлены сценарии пожаров и способы борьбы с ними, обусловленные технологическими авариями, связанными с электротехническими повреждениями, разгерметизацией технологического оборудования, взрывами и воспламенением емкостей с горючими жидкостями и газами, которые могут иметь место на крупных электроэнергетических объектах, таких как АЭС, ГРЭС, ТЭЦ и крупных предприятиях добычи и переработки нефти и газа.

При этом значительная часть технологического оборудования, предназначенного для транспортировки и распределения электроэнергии (силовые подстанции, трансформаторные блоки), нефтепродуктов и горючего газа (компрессорные

и насосные магистральные станции), представляет автономные и малообслуживаемые объекты (рис. 1). Они находятся на удаленных территориях и для них серьезную опасность представляют как пожары, обусловленные техногенными причинами, так и природными условиями (лесные и ландшафтные пожары) [7, 8], что приведет к их повреждению или полному уничтожению.

**Проблематика вопроса**

Проблема обеспечения противопожарной защитой таких объектов от воздействия природных пожаров заключается в том, что эффективность первичных средств пожаротушения и людских ресурсов технологического персонала объекта для оказания эффективного противодействия развивающемуся природному пожару представляется явно недостаточной, особенно в случае развития верхового лесного пожара, скорость развития которого может достигать более 100 м/мин [9]. Кроме того, отдельные энергетические объекты функционируют автономно, без присутствия обслуживающего персонала. Размещение отдельных постов пожарной охраны, способных оказать эффективное противодействие природным пожарам, оснащенных необходимой техникой пожаротушения, на малообслуживаемых объектах представляется экономически не целесообразным. В этом случае возможным способом противопожарной защиты распределенных объектов ТЭК является привлечение региональных оперативных подразделений противопожарной службы (государственной,



**Рис. 1.** Автономные и малообслуживаемые объекты ТЭК

**Fig. 1.** Self-contained and low-maintenance fuel and energy facilities

ведомственной, добровольной). При этом своевременное прибытие и участие в противопожарной защите объекта может быть существенно затруднено вследствие удаленности или складывающейся оперативной обстановки. Также необходимо учитывать, что при верховых пожарах тепловое воздействие от очага горения, распространяющегося со скоростью до 100 м/мин, может достигать значительных величин, в результате чего потеря несущей способности стенки трансформатора может наступить на 7–12-й минуте, а самовоспламенение трансформаторного масла на 5–7-й минуте [10]. Эффективным, но не всегда реализуемым способом защиты является организация противопожарных разрывов в виде минерализованных полос, величина которых, применительно к отдельным объектам энергетики, может достигать 250–270 м [11] и более. В качестве альтернативы рассмотренным выше традиционным способам противопожарной защиты объектов ТЭК от воздействия внешних очагов пожара предлагаются автоматические установки пожаротушения с использованием водопеночных теплозащитных экранов и стационарных роботизированных установок пожаротушения. Предлагаемый способ позволяет своевременно обнаружить опасный уровень теплового воздействия от внешних очагов пожара и обеспечить необходимую и достаточную защиту без привлечения значительных оперативных средств на время, необходимое для ликвидации источников теплового воздействия.

### Решение проблемы

Предлагаемый подход к решению противопожарной защиты автономных и малообслуживаемых компактных объектов ТЭК предусматривает создание защиты от теплового воздействия внешнего пожара с использованием водопеночных теплозащитных экранов, обеспечивающих тепловую защиту в автоматическом режиме в случае



возникновения риска возникновения тепловых потоков, превышающих 5 кВт/м<sup>2</sup> (рис. 2). Конструктивной особенностью водопеночных экранов является формирование устойчивой водяной пленки на сеточной поверхности, позволяющей обеспечивать кратность ослабления теплового потока в 50 раз, при величине максимального теплового потока до 60 кВт/м<sup>2</sup> и расходе воды 0,06–0,10 л/с·м<sup>2</sup> [12].

Предполагается, применительно к автономным и малообслуживаемым объектам ТЭК, оборудовать технологическое оборудование и строения в направлении потенциально опасного воздействия очага горения наружного пожара. Учитывая незначительные расходы воды и относительно небольшие площади критически важных технологических устройств, подлежащих защите, представляется возможным использовать компактные резервуарные водоисточники, расположенные на самом объекте. Предлагаемый способ позволяет существенно



**Рис. 2.** Общий вид секции водопеночного теплозащитного экрана

**Fig. 2.** The general appearance of an element of the water film heat shield

повысить живучесть автономных и малообслуживаемых объектов ТЭК в условиях внешних природных пожаров, если не полностью обеспечить защиту от теплового воздействия на протяжении всего процесса горения, то обеспечить защиту до прибытия оперативных сил и средств. Автоматическая противопожарная система защиты таких объектов с использованием водопеночных теплозащитных экранов позволяет функционировать в автономном режиме активации системы с использованием тепловых извещателей, установленных в стеновые панели или поверхности защищаемого объекта или технологического оборудования, основываясь на результатах исследований [13].

В случае необходимости обеспечить противопожарную защиту крупных автономных и малообслуживаемых объектов ТЭК (рис. 3) как от внешнего воздействия природного пожара, так и для локализации и подавления очагов горения технологического оборудования и сооружений, целесообразно применение стационарных роботизированных установок пожаротушения (РУП), представляющих комплекс автоматической системы обнаружения возможного очага горения и системы управления подачей огнетушащего средства непосредственно в очаг пожара (рис. 4).

В работе [14] была показана эффективность возможного применения роботизированных установок пожаротушения для защиты морских нефтедобывающих платформ. Особенностью развития таких пожаров является высокая динамика развития, ограниченность человеческих ресурсов, задерживаемых в тушении, и значительное время прибытия основных сил и средств. В этих условиях высокую эффективность демонстрируют роботизированные лафетные установки пожаротушения, способные работать как в режиме дистанционного управления,



Рис. 3. Пример использования РУП для защиты трансформаторной подстанции

Fig. 3. The use of a robotized fire-fighting system responsible for the fire safety of a transformer station

так и автономно, руководствуясь командами управления на основе решения интеллектуальных задач в условиях меняющихся условий недетерминированной обстановки пожара.

Реализация принципа локализации и подавления очага пожара без непосредственного присутствия оперативного персонала в рабочей зоне РУП обеспечивается различными режимами функционирования автономной системой пожаротушения на основе компьютерного зрения с обратной связью

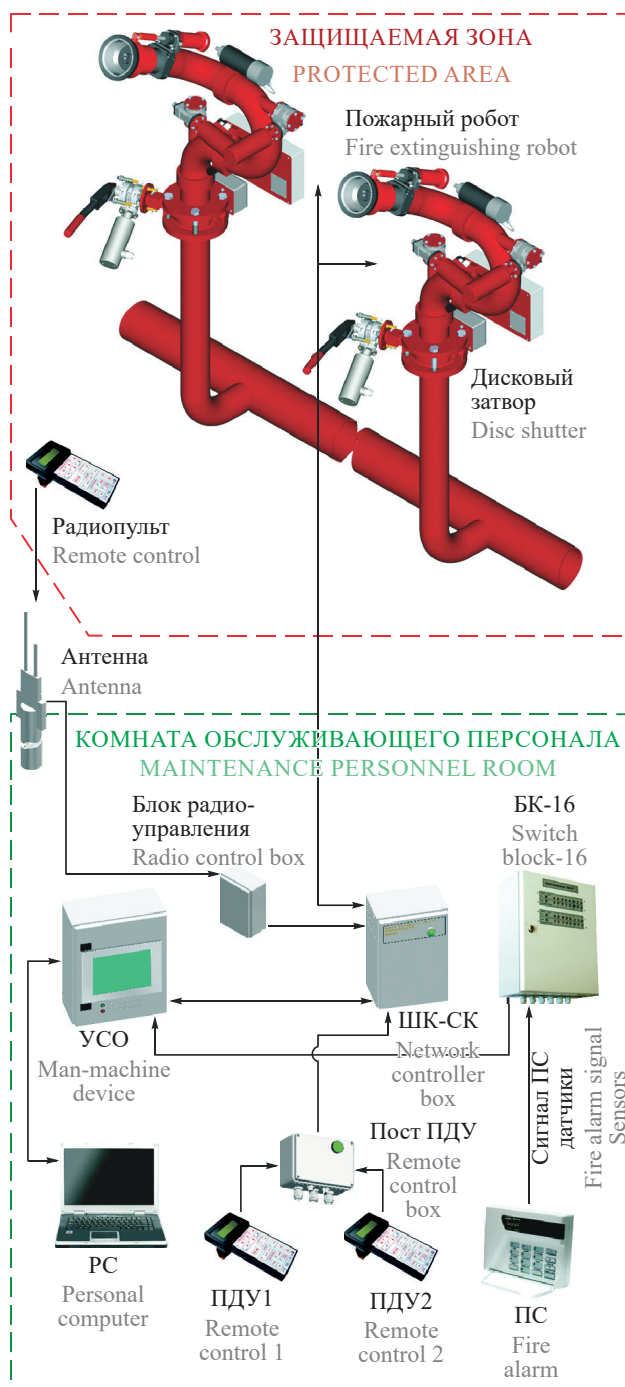


Рис. 4. Принципиальная схема роботизированной установки пожаротушения

Fig. 4. The principle diagram of a robotized fire-fighting system

в реальном времени о размере пожара и направлении подачи огнетушащего средства.

В этом плане интересными представляются исследования по применению автономной системы пожаротушения с использованием роботизированных лафетных стволов на основе системы технического зрения с обратной связью в реальном времени о размере пожара и направлении подачи огнетушащего состава [15]. Здесь предлагается использовать обработку стереосигнала для фиксации точек вдоль траектории распыления для корректировки угла рыскания и тангажа. Поиск оптимального сечения с линейной оптимизацией по методу наименьших квадратов использовался для определения оптимального угла наклона положения подачи огнетушащего вещества в каждый момент выборки. Предлагаемая система может быть реализована на роботизированной пожарной платформе для автономного обнаружения пожара, выбора правильной цели манипулирования и подавления полномасштабных пожаров с учетом помех, вызывающих ошибочное наведение. Аналогичное решение было предложено в работе [16], где в качестве системы технического зрения была разработана комплексированная система, в состав которой входят 3D-лазерный сенсор, цветная видеокамера и тепловизор, что позволяет также оптимизировать режим подачи огнетушащего вещества в недетерминированных внешних условиях, производя корректировку углов наведения лафетного ствола.

В предлагаемом нами решении предполагается возможность обнаружения очага горения или потенциально опасного объекта с повышенным температурным уровнем в диапазоне ИК-спектра наблюдения. В случае превышения допустимого порогового значения осуществляется активация всей системы, заключающаяся в формировании сигнала тревоги, запуске насосов подачи огнетушащих веществ, открытии необходимых трубопроводов и наведении автоматических лафетных стволов на объект защиты. Аналогичный алгоритм функционирования ин-

теллектуальных систем управления пожаротушением с использованием дистанционно-управляемых мониторов представлен в работе [17].

В случае защиты технологического оборудования и сооружений объектов ТЭК от внешнего теплового воздействия природного или техногенного пожара целесообразно обеспечить подачу воды для охлаждения защищаемой поверхности. Определение зоны орошения и требуемой интенсивности подачи воды определяется на основании результатов мониторинга температурного состояния поверхностей объекта с использованием также аппаратуры тепловизионного контроля. Исследования, проведенные по оценке эффективности и надежности активации различных типов противопожарных робототехнических комплексов [18, 19] с последующим наведением на очаг горения и его тушением с использованием ИК-аппаратуры в различных условиях и при наличии помех, показали надежность данного способа.

Управление подачей огнетушащего состава может осуществляться в различных режимах:

- дистанционное удаленное управление оператором с использованием видеоизображения, получаемого по каналу технического зрения комплекса;
- автоматическая селекция очага горения и наведение лафетных стволов на очаг с последующей подачей огнетушащего состава.

В режиме автоматического управления наведением лафетного ствола необходимо обеспечить подачу огнетушащего состава непосредственно в очаг горения или на защищаемую поверхность. Для этого используется программа расчета баллистики струи (рис. 5), позволяющая управлять процессом тушения с учетом интенсивности подачи.

В основу алгоритма расчета траектории осесимметричной струи воды, создаваемой лафетными роботами, могут быть положены теоретические методы расчета, основанные на алгоритмах построения траектории осесимметричной струи воды, созда-

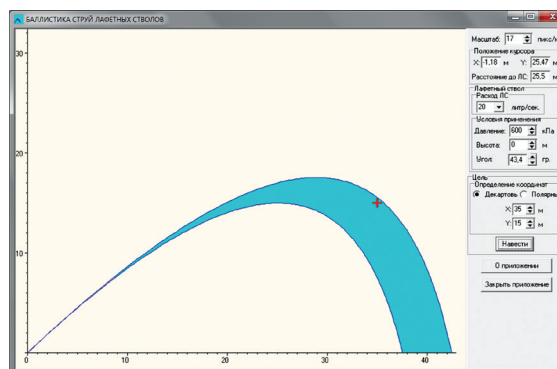
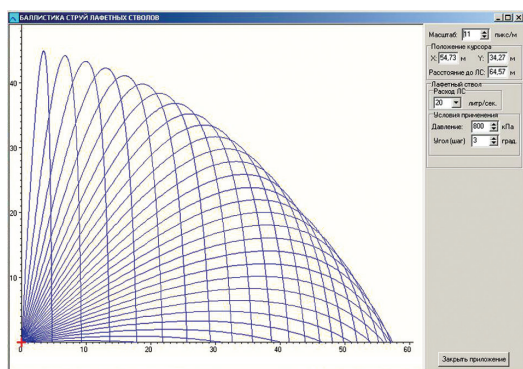


Рис. 5. Расчет траекторий струй и определения угла наведения струи к точке цели

Fig. 5. Calculation of the jet path and the jet point angle needed to reach the target

ваемой лафетными роботами, с учетом состояния слоя атмосферного трения на его боковой поверхности [20]. При этом не учитывается диссипация струи на финишной части траектории, где происходит существенное разрушение струи. Предлагаемый здесь алгоритм управления построен с учетом экспериментально полученных данных для всего размерного ряда, производимых компанией «ЭФЭР» лафетных стволов. Полученные результаты были заложены в алгоритмы программ расчета и учитывают финишную диссипацию струи, реальную интенсивность подачи огнетушащего вещества в защищаемую зону.

### Выводы

Предлагаемая система автоматического пожаротушения с использованием роботизирован-

ных лафетных стволов и водопеночных теплозащитных экранов представляется эффективной альтернативой существующим принципам защиты автономных и малообслуживаемых объектов ТЭК, позволяющей существенно сократить затраты на противопожарную защиту от техногенных и природных пожаров.

В некоторых случаях для защиты отдельных технологических установок совместно с использованием РУП целесообразно устанавливать водопеночные теплозащитные экраны, позволяющие локализовать отдельные опасные и затененные зоны, труднодоступные для подачи струй огнетушащих составов. При этом система управления функционирования экранов и стволов РУП может быть объединена в общую систему управления.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Ищенко А.Д.* Теория локализации пожаров в зданиях объектов энергетики : дис. ... д-ра техн. наук. М. : АГПС МЧС России, 2021. 422 с.
2. *Лазаренко Б.С.* Обеспечение комплексной безопасности объектов топливно-энергетического комплекса России // *Безопасность труда в промышленности*. 2018. № 4. С. 83–85. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32808788>
3. *Дупляков Г.С., Горбунов А.С., Елфимова М.В., Надейкин И.В.* Анализ и обобщение статистических данных по опасным техногенным явлениям на объектах нефтяной промышленности РФ // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2019. № 3 (14). С. 7–12. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41153420>
4. *Клубань В.С., Молчанов С.В.* Пожарная безопасность особо важных объектов топливно-энергетического комплекса // *Технологии техносферной безопасности*. 2014. № 3 (55). Ст. 13. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22880831>
5. *Кобелева И.М., Калач Е.В.* Особенности обеспечения пожарной безопасности объектов топливно-энергетического комплекса // *Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций*. 2017. Т. 1. С. 846–848. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37158244>
6. *Клементьев Б.А., Олейников С.Н.* Основные направления развития стандартизации: обеспечение пожарной безопасности объектов производства сжиженного природного газа // *Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сб. мат. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году культуры безопасности*. Иваново, 2018. С. 233–239. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42307945>
7. *Охрана окружающей среды в России. 2020 : стат. сб.* М. : Росстат, 2020. 113 с.
8. *Campbell R.* Fires in industrial and manufacturing properties. National Fire Protection Association, 2018. 116 p. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/osIndustrial.pdf>
9. *Ступников Д.С.* Классификация лесных пожаров // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2017. № 2-1. С. 119–124. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28784002>
10. *Ле Ань Туан.* Предотвращение воздействия лесного пожара на объекты энергетики Вьетнама : дис. ... канд. техн. наук. М. : АГПС МЧС России, 2021. 172 с.
11. *Горюшкин С.С.* Расчет безопасного расстояния при верховом лесном пожаре от лесного массива до электрической подстанции 110 кВт // *Успехи современной науки*. 2016. Т. 8. № 12. С. 76–83. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27712527>
12. *Копылов Н.П., Хасанов И.Р.* Эффективность применения теплозащитных экранов для защиты от тепловых потоков при пожарах // *Безопасность труда в промышленности*. 2016. № 11. С. 38–43. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27215257>
13. *Лазарев А.А.* Наружные стеновые изделия для дистанционной диагностики пожарной безопасности малоэтажных зданий : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иваново : Ивановский государственный политехнический университет, 2022. 24 с.

14. Горбань Ю.И., Горбань М.Ю., Немчинов С.Г., Цариченко С.Г. Роботы-пожарные на защите морских добывающих платформ // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2020. № 8 (104). С. 78–83. URL: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/prombezopasnost/625190-roboty-pozharnye-na-zashchite-morskikh-dobyvayushchikh-platform/>
15. McNeil J.G., Lattimer B.Y. Robotic fire suppression through autonomous feedback control // Fire Technology. 2017. Vol. 53. Issue 3. Pp. 1171–1199. DOI: 10.1007/s10694-016-0623-1
16. Вазаев А.В., Носков В.П., Рубцов И.В., Цариченко С.Г. Комплексированная СТЗ в системе управления пожарного робота // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 1–2. С. 121–132. DOI: 10.18522/2311-3103-2017-1-121132 URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28948290>
17. Jinsong Zhu, Wei Li, Da Lin, Hengyu Cheng, Ge Zhao. Intelligent fire monitor for fire robot based on infrared image feedback control // Fire Technology. 2020. Vol. 56. Issue 5. Pp. 2089–2109. DOI: 10.1007/s10694-020-00964-4
18. Kim J.-H., Starr J.W., Lattimer B.Y. Firefighting robot stereo infrared vision and radar sensor fusion for imaging through smoke // Fire Technology. 2015. Vol. 51. Issue 4. Pp. 823–845. DOI: 10.1007/s10694-014-0413-6
19. McNeil J.G., Starr J., Lattimer B.Y. Autonomous fire suppression using multispectral sensors // 2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. Wollongong, Australia, 2013. Pp. 1504–1509. DOI: 10.1109/AIM.2013.6584308
20. Pozharkova I.N. Modelling the water jet trajectory of a robotic fire monitor in the simintech dynamic modelling environment // Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems. 2020. Vol. 1295. Pp. 837–844. DOI: 10.1007/978-3-030-63319-6\_77

## REFERENCES

1. Ishchenko A.D. *Theory of localization of fires in buildings of energy facilities : dissertation of the Doctor of Technical Sciences*. Moscow, AGPS EMERCOM of Russia Publ., 2021; 422. (rus).
2. Lazarenko B.S. Ensuring the integrated safety of objects of the fuel and energy complex of Russia. *Occupational Safety in Industry*. 2018; 4:83-85. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32808788> (rus).
3. Duplyakov G.S., Gorbunov A.S., Elfimova M.V., Nadeikin I.V. Analysis and generalization of statistical data on dangerous man-made phenomena in the petroleum industry of the Russian Federation. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2019; 3(14):7-12. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41153420> (rus).
4. Kluban V.S., Molchanov S.V. Fire security in special importance objects of fuel and energy complex. *Technology of Technosphere Safety*. 2014; 3(55):13. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22880831> (rus).
5. Kobeleva I.M., Kalach E.V. Features of ensuring fire safety of fuel and energy complex facilities. *Problems of ensuring safety during liquidation of consequences of emergency situations*. 2017; 1:846-848. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37158244> (rus).
6. Klementyev B.A., Oleynikov S.N. The main directions of standardization development: ensuring fire safety of liquefied natural gas production facilities. *Modern fireproof materials and technologies : collection of materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Safety Culture*. Ivanovo, 2018; 233-239. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42307945> (rus).
7. *Environmental protection in Russia. 2020 : Stat. collection*. Moscow, Rosstat Publ., 2020; 113. (rus).
8. Campbell R. *Fires in industrial and manufacturing properties*. National Fire Protection Association. 2018; 116. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/osIndustrial.pdf>
9. Stupnikov D.S. Classification of forest fires. *Modern Trends in the Development of Science and Technology*. 2017; 2-1:119-124. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28784002> (rus).
10. Le An Tuan. *Prevention of the impact of a forest fire on energy facilities in Vietnam : dissertation of the Candidate of Technical Sciences*. Moscow, AGPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2021; 172. (rus).
11. Goryushkin S.S. Calculation of safe distance when the upper forest fire from a forest to an electric substation of 110 KW. *Successes of Modern Science*. 2016; 8(12):76-83. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27712527> (rus).
12. Kopylov N.P., Khasanov I.R. Efficiency of thermal shields application for protection against thermal flows in case of fires. *Occupational Safety in Industry*. 2016; 11:38-43. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27215257> (rus).

13. Lazarev A.A. *External wall products for remote diagnostics of fire safety of low-rise buildings : abstract of the diss. for the degree of Candidate of Technical Sciences*. Ivanovo, Ivanovo State Polytechnic University, 2022; 24. (rus).
14. Gorban Yu.I., Gorban M.Yu., Nemchinov S.G., Tsarichenko S.G. Robots-firefighters on protection of offshore mining platforms. *Business magazine "Neftegaz.RU"*. 2020; 8(104):78-83. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/prombezopasnost/625190-roboty-pozharnye-na-zashchite-morskikh-dobyvayushchikh-platform/> (rus).
15. McNeil J.G., Lattimer B.Y. Robotic fire suppression through autonomous feedback control. *Fire Technology*. 2017; 53(3):1171-1199. DOI: 10.1007/s10694-016-0623-1
16. Bazaev A.V., Noskov V.P., Rubtsov I.V., Tsarichenko S.G. Integrated SS in the control system of a fire robot. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2017; 1-2:121-132. DOI: 10.18522/2311-3103-2017-1-121132 URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28948290> (rus).
17. Jinsong Zhu, Wei Li, Da Lin, Hengyu Cheng, Ge Zhao. Intelligent fire monitor for fire robot based on infrared image feedback control. *Fire Technology*. 2020; 56(5):2089-2109. DOI: 10.1007/s10694-020-00964-4
18. Kim J.-H., Starr J.W., Lattimer B.Y. Firefighting robot stereo infrared vision and radar sensor fusion for imaging through smoke. *Fire Technology*. 2015; 51(4):823-845. DOI: 10.1007/s10694-014-0413-6
19. McNeil J.G., Starr J., Lattimer B.Y. Autonomous fire suppression using multispectral sensors. *2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*. Wollongong, Australia, 2013; 1504-1509. DOI: 10.1109/AIM.2013.6584308
20. Pozharkova I.N. Modelling the water jet trajectory of a robotic fire monitor in the simintech dynamic modelling environment. *Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems*. 2020; 1295:837-844. DOI: 10.1007/978-3-030-63319-6\_77

*Поступила 21.03.2022, после доработки 01.04.2022;*

*принята к публикации 04.04.2022*

*Received March 21, 2022; Received in revised form April 1, 2022;*

*Accepted April 4, 2022*

### Информация об авторах

**НЕМЧИНОВ Сергей Георгиевич**, генеральный директор, Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР», Россия, Республика Карелия, 185031, г. Петрозаводск, ул. Заводская, 4; РИНЦ ID: 1123416; Scopus Author ID: 1123416; ORCID: 0000-0002-8669-1724; e-mail: [sg.nemchinov@efer.pro](mailto:sg.nemchinov@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; РИНЦ ID: 181475; Scopus Author ID: 181475; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: [tsarichenko\\_s@mail.ru](mailto:tsarichenko_s@mail.ru)

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Information about the authors

**Sergey G. NEMCHINOV**, CEO, "FR" Engineering Centre of Fire Robots Technology, LLC, Zavodskaya St., 4, Petrozavodsk, 185031, Republic of Karelia, Russian Federation; ID RISC: 1123416; Scopus Author ID: 1123416; ORCID: 0000-0002-8669-1724; e-mail: [sg.nemchinov@efer.pro](mailto:sg.nemchinov@efer.pro)

**Sergey G. TSARICHENKO**, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 181475; Scopus Author ID: 181475; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: [tsarichenko\\_s@mail.ru](mailto:tsarichenko_s@mail.ru)

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.