

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

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.

**В**ажным фактором надежности работы этих объектов является обеспечение их пожарной безопасности.

Рассмотрению 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, взрывов и воспламенения 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), представляют 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 защиты 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, 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 мин., а самовоспламенение трансформаторного масла на 5–7-й мин. [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 являются автоматические установки пожаротушения с использованием водопленочных 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.



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

## Решение проблемы

Предлагаемый подход к решению противопожарной защиты автономных и малообслуживаемых компактных объектов ТЭК предусматривает создание защиты от теплового воздействия внешнего пожара с использованием водопленочных теплозащитных экранов, обеспечивающих тепловую защиту в автоматическом режиме в случае возникновения риска возникновения тепловых потоков, превышающих  $5 \text{ кВт/м}^2$  (рис. 2). Конструктивной особенностью водопленочных экранов является формирование устойчивой водяной пленки на сеточной поверхности, позволяющей обеспечивать кратность ослабления теплового потока – в 50 раз, при величине максимального теплового потока до  $60 \text{ кВт/м}^2$  и расходе воды  $0,06\text{--}0,10 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$  [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 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 водопленочных 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].



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

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, задействованных 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, 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 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 обнаруженный очаг пожара. Аналогичный алгоритм функционирования интеллектуальных систем управления пожаротушением с использованием дистанционно-управляемых мониторов представлен в работе [17].



**Рис. 3. Пример использования РУП для защиты трансформаторной подстанции**

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 в очаг пожара 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, создаваемой 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.





Рис. 4. Принципиальная схема роботизированной установки пожаротушения

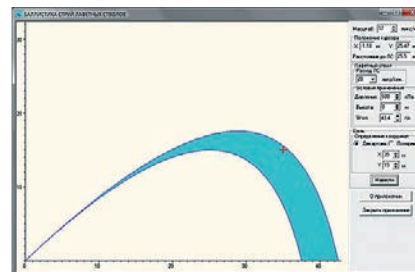
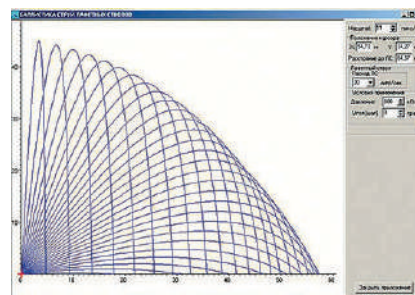


Рис. 5. Расчет траекторий струй и определения угла наведения струи к точке цели

## ВЫВОДЫ

Предлагаемая система автоматического пожаротушения с использованием роботизированных 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.



## ЛИТЕРАТУРА:

- Ищенко А. Д. Теория локализации пожаров в зданиях объектов энергетики: дис. ... д-ра техн. наук. М.: АГПС МЧС России, 2021. 422 с.
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- Охрана окружающей среды в России. 2020: стат. сб. М.: Росстат, 2020. 113 с.
- 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/Firestatistics-and-reports/Building-and-life-safety/osIndustrial.pdf>
- 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>
- Ле Ань Туан. Предотвращение воздействия лесного пожара на объекты энергетики Вьетнама: дис. ... канд. техн. наук. М.: АГПС МЧС России, 2021. 172 с.
- 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>
- 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>
- 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.
- Горбань Ю. И., Горбань М. Ю., Немчинов С. Г., Цариченко С. Г. Роботы-пожарные на защите морских добывающих платформ // СФЕРА. Нефть и Газ: всерос. отр. науч.-техн. журн. – М.: ООО «ИД «СФЕРА», 2023. – №2. – С. 80–84. URL: <https://сферанефтьгаз.рф/firerobots-2023-d1>
- 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
- 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>
- 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
- 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
- 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
- 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



**ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР»**  
**185031, Петрозаводск, ул. Заводская**  
**(рон Северная промзона), д. 4**  
**тел. (8142) 774931**  
**email: marketing@efer.pro**  
**firerobots.ru**