

М. В. АЛЕШКОВ, д-р техн. наук, профессор, заместитель начальника по научной работе, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

С. Г. ЦАРИЧЕНКО, д-р техн. наук, начальник базового методического полигона испытаний робототехнических комплексов, НИИ "Геодезия" (Россия, 141292, Московская обл., г. Красноармейск, просп. Испытателей, 14)

А. Л. ХОЛОСТОВ, д-р техн. наук, доцент, начальник кафедры пожарной автоматики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

И. А. ГУСЕВ, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ivan.gusev.92@inbox.ru)

УДК 614.847.4:62/69

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

В результате анализа статистических данных по пожарам и авариям, происходившим на объектах энергетики, выявлены особенности их тушения, одной из которых является воздействие на участников тушения пожаров опасных факторов и сопутствующих им событий, вследствие чего приходится прерывать процесс тушения, отводя силы и средства на безопасное расстояние. Для обеспечения пожаротушения в условиях возникающих угроз предложено применять мобильную робототехнику пожаротушения, способную работать в рассматриваемых условиях. Проведены оценка и обоснование технических характеристик мобильной робототехники, от которых во многом зависит эффективность ее применения. Сформулированы технические требования, на основании которых был разработан опытный образец мобильной роботизированной установки пожаротушения, предназначенной для объектов энергетики. Проведена оценка технических возможностей роботизированной установки при заданных условиях, которая показала положительный результат.

Ключевые слова: робототехника пожаротушения; объекты энергетики; функционал пожарного робота; огнетушащие вещества; дистанционно-управляемый лафетный ствол; дальность подачи огнетушащих веществ.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.35-49

Введение

Тушение различного рода пожаров представляет собой комплекс мероприятий, направленных на создание условий, при которых не происходит дальнейшего распространения пожара, отсутствует угроза здоровью и жизни людей и созданы все необходимые предпосылки для полной ликвидации пожара. Пожары, происходящие на различных объектах, по своему характеру, а следовательно, и по тактике тушения, во многом могут отличаться. Связано это в первую очередь со спецификой объекта и находящейся на нем пожарной нагрузки. Рассматривая пожары, происходящие на объектах энергетики, следует заметить, что, помимо воздействия на участников тушения опасных факторов пожара, могут возникать события, которые вызывают обрушение строительных конструкций, воздействие радио-

активного излучения (объекты атомной энергетики), взрывы емкостей под давлением, поражение электрическим током и др.

Известным примером рассматриваемых событий является происшедшая 26 апреля 1984 г. крупнейшая техногенная авария на Чернобыльской атомной электростанции (АЭС) (рис. 1). Тушение пожара, возникшего в результате взрыва, было осложнено воздействием мощнейшего ионизирующего излучения, а также тем, что образовалось более 30 очагов пожара на различных высотных отметках станции, горело электрооборудование, обрушилась кровля машинного зала, повредив маслопроводы с последующим их воспламенением, и пр. [1, 2].

Благодаря решительным действиям пожарных подразделений и персонала станции удалось ликвидировать пожар и не допустить еще более плачев-



Рис. 1. Последствия взрыва и пожара на Чернобыльской АЭС

ных последствий. Все участники тушения получили значительные дозы облучения, работы приходилось проводить в условиях плотного задымления, воздействия высокой температуры и открытого горения, в условиях опасности поражения электрическим током и обрушения строительных конструкций. Для многих из тех, кто в первые часы аварии выполнял работы по ее ликвидации, полученная доза радиации оказалась смертельной.

Анализируя сегодняшнее состояние объектов энергетики с точки зрения пожарной безопасности, необходимо заметить, что даже при современном уровне безопасности они все равно подвержены опасности возникновения пожаров, при ликвидации которых пожарным и персоналу объекта придется испытывать на себе воздействие опасных факторов, в том числе связанных с радиационным или химическим воздействием, что подтверждается и работами зарубежных коллег, в которых говорится о комплексном подходе в вопросах обеспечения безопасности [3–5].

После аварии на Чернобыльской АЭС была проведена огромная работа, направленная на выявление недостатков в области обеспечения безопасности на объектах энергетики, были сделаны соответствующие выводы в вопросах тактического и технического совершенствования мероприятий, направленных на повышение эффективности тушения пожаров и обеспечение безопасности участников тушения. Одним из таких технических решений было применение мобильной робототехники. Вообще Чернобыльская авария стала отправной точкой в вопросе создания и применения мобильной робото-

техники для выполнения специальных операций. Для ликвидации Чернобыльской катастрофы в рекордные сроки были разработаны многие образцы мобильной робототехники, основными задачами которой являлись дезактивация и дегазация местности, расчистка кровли АЭС от радиоактивных обломков, мониторинг обстановки и многое другое. Общая группировка мобильной робототехники различного исполнения, включая и зарубежные образцы, насчитывала около 40 ед. Применение ее в сложившихся условиях обеспечило замену человека на многих участках работ, что способствовало сохранению десятков жизней [6].

Вопросы применения мобильной робототехники для тушения пожаров также не остались без внимания. Так, в работе А. К. Микеева [7] вопросу разработки и применения пожарной робототехники посвящен целый раздел, в котором отражены основные перспективы ее создания, приведены данные по реализации этого направления в зарубежных странах, и это на период начала 90-х годов.

На сегодняшний день робототехника применима практически во всех отраслях деятельности. Для решения задач, поставленных перед подразделениями МЧС России, она играет особую роль, выполняя работы от мониторинга обстановки до разминирования и пожаротушения.

В настоящее время в целях обеспечения пожарной безопасности машинных залов электростанций находит достаточно широкое распространение, особенно на вновь строящихся энергоблоках, применение стационарных роботизированных установок пожаротушения, что позволяет в автоматическом режиме обнаруживать и ликвидировать очаги возгорания [8]. Однако на объектах энергетики имеется достаточно много потенциально пожароопасных мест, насыщенных горючими материалами и расположенных в труднодоступных и загроможденных зонах, где применение стационарных систем является неэффективным. В этом случае актуальным становится вопрос применения мобильных противопожарных роботизированных комплексов, способных маневрировать в пространстве и обеспечивать доступ в труднодоступные и загроможденные зоны.

Рассматривая вопрос применения мобильной пожарной робототехники на объектах энергетики, необходимо отметить, что в большинстве своем он не был до конца реализован. Созданию и применению мобильной робототехники пожаротушения уделялось также недостаточно внимания, хотя необходимость в ее разработке была налицо. В связи с этим основной целью настоящей статьи является обоснование требований к конструкции мобильного робототехнического средства (РТС) пожароту-

шения, разрабатываемого для объектов энергетики с учетом специфики тактики пожаротушения на них. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- сформировать функционал робототехнического средства и подобрать технические устройства для его реализации;
- провести исследования тактических возможностей робототехнического средства пожаротушения;
- сформулировать технические требования к конструкции робототехнического средства, предназначенного для объектов энергетики, и создать его опытный образец.

Определение функционала робототехнического средства и подбор технических устройств для его реализации

Первоочередным действием, несомненно, является определение функционала робототехнического средства, а следовательно, и оснащение его конструкции необходимым набором исполнительных механизмов с учетом тактических задач, основанных на имеющемся опыте их использования при ликвидации различных типов пожаров.

Анализ происходивших в различное время на объектах энергетики пожаров и аварий свидетельствует о том, что специфика тактических приемов пожаротушения обусловлена, во-первых, наличием большого количества горючей нагрузки в виде твердых и жидких горючих веществ и материалов и, во-вторых, эксплуатацией электрического оборудования под высоким напряжением.

Ввиду большого количества горючей нагрузки возникающие пожары приобретают значительные размеры, поэтому для их ликвидации требуется подача большого количества огнетушащих веществ (ОТВ). Об этом свидетельствуют и справочные данные, согласно которым для тушения пожаров в машинных залах электростанций требуемая интенсивность подачи огнетушащих веществ составляет $0,2 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [9].

Помимо горения твердых горючих веществ, происходило горение и горючих жидкостей, в том числе трансформаторного масла, находящегося в системах смазки турбин и иного оборудования. В связи с этим робототехническое средство должно обладать возможностью подачи значительного количества ОТВ в очаг пожара; при этом, помимо воды, оно должно осуществлять подачу и раствора пенообразователя на расстояние не менее 30 м, что позволит перекрыть значительную площадь, а также обеспечить охлаждение строительных конструкций. Для выполнения рассматриваемых мероприятий необходимо предусмотреть дистанционно-управля-

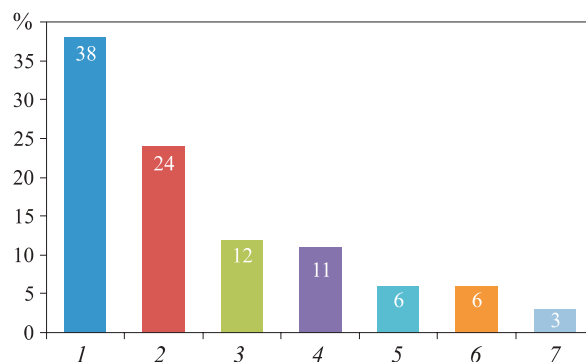


Рис. 2. Оборудование, наиболее подверженное опасности возникновения пожаров: 1 — кабельное оборудование; 2 — маслопроводы; 3 — маслораспределители; 4 — турбогенераторы; 5 — электронное оборудование; 6 — трансформаторы; 7 — вентсистемы

емый лафетный ствол с расходом огнетушащих веществ до 20 л/с.

Однако основной особенностью тушения пожаров на объектах энергетики является тушение горящего электрооборудования, находящегося под напряжением. Анализ статистических данных по пожарам на объектах энергетики позволил заключить, что в период с 2005 по 2016 гг. на них произошло 5066 пожаров, 38 % из которых возникли непосредственно на электрооборудовании (рис. 2) [10–13].

Задача тушения пожаров электрооборудования всегда являлась наиболее значимой и трудоемкой из-за угрозы поражения электрическим током. Рассматривая же объекты энергетики, необходимо учесть тот факт, что в силу специфики объекта часть оборудования даже в случае его горения нельзя обесточивать, ввиду того что оно отвечает за безопасную работу объекта.

Мобильная робототехника пожаротушения представляет собой систему, позволяющую адаптироваться к реальным условиям аварии и пожара, в том числе при наличии оборудования под напряжением, что позволяет рассматривать ее как эффективное средство для пожаротушения. Для робототехники, как и в случае с человеком, представляют угрозу токи утечки, которые проходят по струе ОТВ и воздействие которых на электронные системы РТС может вывести его из строя. Производить тушение горящего электрооборудования водой и водопенными составами, подаваемыми из штатных лафетных стволов, небезопасно в силу хорошей электропроводимости струи. В связи с этим необходимо подобрать дополнительное средство тушения, токи утечки по струе которого будут минимальными и которое наиболее применимо для совместной работы с мобильной робототехникой.

При оценке свойств огнетушащих составов, применимых для тушения пожаров электрооборудования под напряжением, было установлено, что хоро-

шими огнетушащими свойствами обладает тонко-распыленная вода со средним диаметром капель менее 200 мкм [14].

В качестве средства подачи была выбрана установка пожаротушения с гидроабразивной резкой, реализующая принцип как поверхностного, так и локально-объемного пожаротушения. Основным преимуществом установки является возможность подачи ОТВ в горящий объем через оградительные строительные конструкции путем их разрушения потоком смеси воды и абразивных частиц. Средний диаметр капель струи, формируемой установкой, составляет около 170 мкм [15–17].

Для определения возможности применения рассматриваемых систем при тушении пожаров электрооборудования под напряжением были проведены экспериментальные исследования, в результате которых были установлены рабочие параметры установок пожаротушения при их использовании личным составом пожарно-спасательных подразделений. Кроме того, было установлено, что при использовании установок совместно с мобильной робототехникой допустимо производить пожаротушение с расстояния не менее 0,5 м при условии, что размещаемый на РТС ствол установки будет соединен с ним диэлектрическими разъемами, а в самой конструкции РТС будут предусмотрены аппараты защиты от токов утечки силой 1 мА [18].

Исследования тактических возможностей робототехнического средства пожаротушения

Определение предельной дальности подачи огнетушащих веществ

Технические возможности робототехнического средства должны обеспечивать его применение не только на открытой местности, но и во многих помещениях электростанции. Это во многом достижимо за счет уменьшения габаритных размеров и полной массы робототехнического средства. Для выполнения этих условий конструкция РТС не должна иметь собственного запаса ОТВ, а должна иметь лишь средства пожаротушения и иное оборудование. Обеспечение же РТС огнетушащими веществами должно осуществляться через рукавные линии. Исходя из этого, необходимо установить условия, влияющие на тактические возможности робототехнического средства.

При этом следует учитывать то, что при тушении пожаров мобильными робототехническими комплексами предельная дальность подачи огнетушащих веществ по рукавным линиям с учетом гидравлических потерь не должна приводить к снижению интенсивности их подачи в очаг пожара.

Потери напора подразделяются на местные и линейные. Линейные потери возникают в результате трения транспортируемой жидкости о стенки трубопровода и капель между собой, местные — при деформации потока (задвижки, переходники, клапаны и др.) [19].

Основной формулой для расчета потерь напора по длине $h_{\text{л}}$ (м) в круглом трубопроводе является формула Дарси–Вейсбаха:

$$h_{\text{л}} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения;

l — длина трубопровода, м;

d — диаметр живого сечения, м;

v — средняя скорость потока жидкости, м/с;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Основным критерием, характеризующим потери напора при заданных параметрах работы насосно-рукавной системы, является коэффициент гидравлического трения λ , зависящий от скорости потока и внутренней шероховатости поверхности. Определение коэффициента гидравлического трения представляет собой довольно непростую задачу, поэтому, как показал анализ научно-исследовательских работ, его определение следует производить эмпирическим путем для конкретных условий работы.

Рассматривая же установки пожаротушения с гидроабразивной резкой, следует отметить, что они работают при давлении 30 МПа, а транспортируемые огнетушащие составы представляют собой не только воду, но и смесь воды и абразивных частиц, предназначенных для резки конструкций. В связи с этим при транспортировании смеси возникают дополнительные потери напора, связанные с переносом абразивных частиц. Формула для определения потерь напора при транспортировании смеси $i_{\text{см}}$ (м) имеет вид:

$$i_{\text{см}} = i_{\text{в}} + \Delta i, \quad (2)$$

где $i_{\text{в}}$ — удельные потери напора при движении воды, м;

Δi — дополнительные потери напора, м.

Удельные потери напора при движении воды могут быть определены по формуле Дарси–Вейсбаха, дополнительные потери — по формуле

$$\Delta i = \delta \sqrt[4]{j^3} \sqrt{C_0^2} \frac{V_{\text{кр}}}{V}, \quad (3)$$

где δ — коэффициент, учитывающий влияние относительной крупности частиц грунта d/D по отношению к диаметру трубы;

j — коэффициент, учитывающий разнородность твердых частиц;

C_0 — действительная весовая консистенция;

$V_{кр}$ — критическая скорость движения смеси, при которой частицы начинают двигаться вдоль потока, м/с;

V — скорость потока, м/с.

Проведенные с использованием формул (1) и (3) расчеты показали, что потери напора за счет присутствия гидроабразивных частиц не столь значительны по сравнению с гидравлическими потерями по воде. Однако, исходя из имеющих некоторую недетерминированность режимов работы установок пожаротушения, определение потерь напора как по воде, так и по гидроабразивной смеси, а следовательно, и коэффициента гидравлического трения для получения точных значений, необходимо осуществлять опытным путем. В результате экспериментальных исследований были установлены предельные дальности подачи огнетушащих веществ по рукавной линии для воды и гидроабразивной смеси, которые составили соответственно 317 и 290 м. Кроме того, был определен коэффициент гидравлического трения, характеризующий потери напора при транспортировании воды по рукавам установок пожаротушения с гидроабразивной резкой, значение которого составило 0,019 [20].

В случае совместной работы робототехнического комплекса пожаротушения с установкой пожаротушения с использованием тонкораспыленной воды высокого давления прокладка рукавной линии (шланга высокого давления) осуществляется с борта робота автоматически. При этом повышенных требований к тяговым возможностям робототехнического комплекса в части прокладки рукавной линии

не предъявляется. В случае использования в качестве средства подачи огнетушащего вещества штатного, дистанционно управляемого лафетного ствола прокладка рукавной линии производится методом протягивания линии. Это накладывает повышенные требования на тяговые характеристики робота, обеспечивающие его перемещение с рукавной линией при выходе на позицию подачи ОТВ и маневрировании с ней.

Определение тяговых усилий

Для определения тяговых усилий, которыми должно обладать робототехническое средство, были проведены экспериментальные исследования с пожарными напорными рукавами общего исполнения. Рукава перемещали по трем наиболее часто встречающимся поверхностям на объектах энергетики: плитке, наливному полу, асфальту, и измеряли силу трения. В результате исследований были определены коэффициенты трения, характеризующие трение рукавов о рассматриваемые поверхности; проведена оценка схем подачи огнетушащих веществ с помощью РТС; выбран наиболее рациональный вариант подачи. Установлено, что для реализации такого варианта необходимо, чтобы РТС обладало тяговыми усилиями не менее 1000 Н [21].

В качестве транспортной базы было выбрано унифицированное гусеничное шасси с электромеханическим приводом, которое обеспечит применение РТС в условиях небольших завалов и плотного задымления. Для подачи огнетушащих веществ на ней может быть установлен дистанционно-

Технические требования к конструкции РТС

№ п/п	Параметр	Значение параметра
1	Цели применения	1. Проведение разведки пожара, сбор данных и мониторинг обстановки. 2. Тушение пожаров, проведение аварийно-спасательных работ (АСР)
2	Среда применения	Наземные
3	Степень функциональности	Многофункциональные (универсальные)
4	Оснащение средствами тушения и проведения аварийно-спасательных работ	1. Лафетный дистанционно-управляемый ствол с расходом ОТВ от 15 до 20 л/с. 2. Ствол установки пожаротушения с гидроабразивной резкой. 3. Роботизированная рука-манипулятор
5	Применяемые огнетушащие составы	1. Вода, водный раствор пенообразователя. 2. Тонкораспыленная вода (170 мкм). 3. Смесь воды и абразива для резки
6	Тип привода	Электромеханический
7	Тип двигателя ходового модуля	Гусеничный
8	Тяговое усилие	Не менее 100 кг
9	Тип РТС	Легкий
10	Класс РТС	1
11	Масса РТС	Св. 100 до 300 кг (включ.). Подкласс от 101 до 150 кг включ.
12	Габаритные размеры	Не более 1500×900×1900 мм
13	Время непрерывной работы	Не менее 4 ч

управляемый лафетный ствол или ствол для подачи тонкораспыленной воды высокого давления и абразивной резки.

Технические требования к конструкции робототехнического средства, предназначенного для объектов энергетики

В результате исследований тактических особенностей применения мобильной робототехники при тушении пожаров на объектах энергетики были установлены технические требования к конструкции робототехнического средства (см. таблицу).

Для практической реализации сформулированных технических требований целесообразно использовать унифицированную дистанционно-управляемую транспортную платформу, оборудованную в зависимости от решаемой задачи специализированным пожарно-техническим вооружением.

Первый вариант РТС представляет собой дистанционно-управляемую платформу на гусеничном

шасси с электромеханическим приводом, на которой размещается дистанционно-управляемый лафетный ствол с расходом ОТВ от 15 до 20 л/с, системы технического зрения, освещения, тепловизор для поиска очагов горения и набор необходимого оборудования, обеспечивающего работоспособность РТС (рис. 3,а).

Второй вариант робототехнического средства представляет собой дистанционно-управляемую платформу на гусеничном шасси с электромеханическим приводом, на которой размещается роботизированная рука-манипулятор со схватом, имеющая пять степеней свободы, и ствол установки пожаротушения с гидроабразивной резкой. Роботизированный манипулятор позволит обеспечить выполнение тактических приемов тушения со стволом установки пожаротушения, а также проводить разборку и транспортировку конструкций и оборудования при проведении аварийно-спасательных работ (рис. 3,б).

В настоящее время разработан опытный образец первого варианта РТС, оснащенный дистанционно-

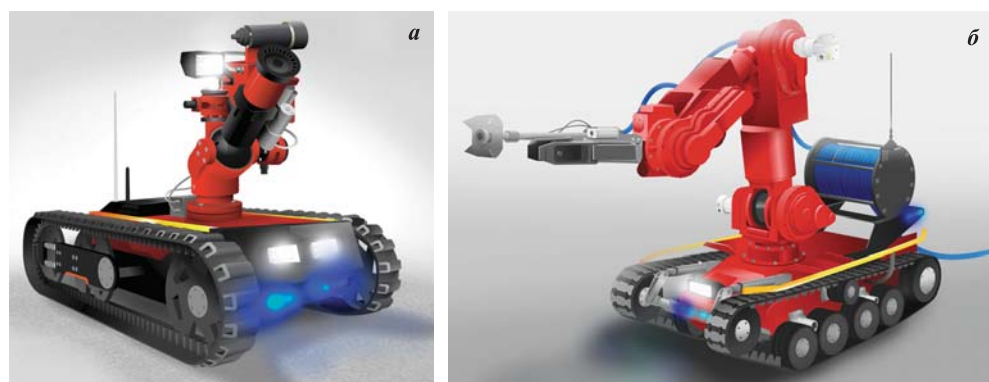


Рис. 3. Комплекс, состоящий из первого (а) и второго (б) вариантов модели робототехнического средства



Рис. 4. Мобильная роботизированная установка пожаротушения

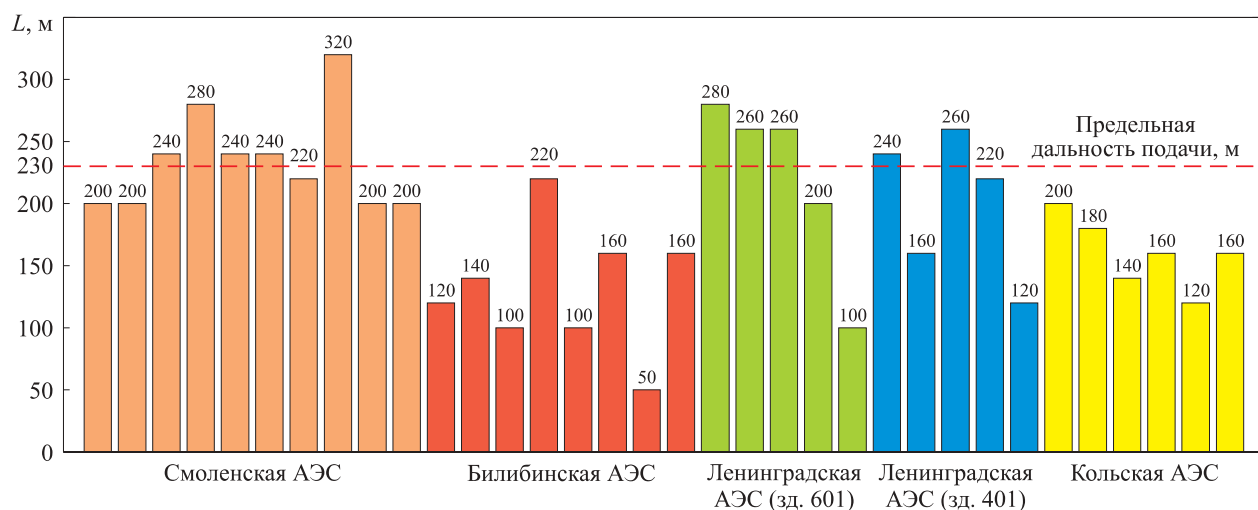


Рис. 5. Предельная дальность L подачи огнетушащих веществ с помощью МРУП, оснащенной лафетным стволом

управляемым лафетным стволом с расходом водопенного огнетушащего состава 20 л/с (рис. 4) и получивший название “мобильная роботизированная установка пожаротушения” (МРУП).

Особенностью МРУП является возможность работы в условиях гамма-излучения мощностью до 10 Зв/ч. Для проверки этого условия проводились экспериментальные исследования, в ходе которых МРУП подвергалась воздействию гамма-излучения указанной мощности в течение 4 ч. Результаты исследования подтвердили возможность использования МРУП при проведении работ в условиях гамма-излучения мощностью до 10 Зв/ч.

Для оценки тактических возможностей МРУП в качестве примера рассматривались помещения действующих атомных станций (рис. 5). В качестве критерия рассматривался радиус действия (глубина проникновения) робототехнического средства, определяемый дальностью подачи воды по рукаву при начальном давлении 10 атм от пожарной автоцистерны, установленной на водосточник. В результате удалось определить, что подача огнетушащих веществ до помещений, рассматриваемых в качестве объектов защиты, будет обеспечена в 75 % случаев.

Оценка тактических возможностей МРУП, подтверждающая ее эффективность, выполнялась для

рассматриваемых условий атомных станций. Для повышения эффективности и оперативности применения МРУП следует разрабатывать тактические приемы для каждого конкретного объекта в отдельности, учитывая размещение водосточников, планировку объекта, расположение наиболее пожароопасных помещений и оборудования.

Заключение

Применение мобильной робототехники при тушении пожаров на объектах энергетики является довольно трудоемким мероприятием. Не при каждом пожаре или аварии возникает необходимость в применении мобильной робототехники, но в некоторых случаях это единственный вариант, который может обеспечить проведение пожаротушения в условиях возникающих угроз, что позволяет заменить человека и тем самым сохранить ему жизнь и здоровье.

Разработанный образец мобильной роботизированной установки пожаротушения сочетает в себе особенности высокоманевренного средства, которое можно применять для разведки и пожаротушения. Его использование совместно с личным составом пожарно-спасательных подразделений позволит повысить эффективность тушения пожаров и обеспечить безопасность его участников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микеев А. К. Пожары на радиационно-опасных объектах. Факты. Выводы. Рекомендации. — М. : ВНИИПО, 2000. — 346 с.
2. Дятлов А. С. Чернобыль. Как это было. — М. : Научтехлитиздат, 2003. — 191 с.
3. Becker O., Lorenz P. Four years after Fukushima: are nuclear power plants safer? / Critical review of the Updated National Action Plans (NACP) of the EU Stress Tests on nuclear power plants. — September 2015. — 49 p. URL: https://www.global2000.at/sites/global/files/20150914_Four%20years%20after%20Fukushima_September%202015.pdf (дата обращения: 25.07.2018).
4. Safety of nuclear power plants: design. Specific safety requirements : IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1No. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2012. — 68 p.

5. *Ramana M. V.* Nuclear power: economic, safety, health, and environmental issues of near-term technologies // *Annual Review of Environment and Resources*. — 2009. — Vol. 34, Issue 1. — P. 127–152. DOI: 10.1146/annurev.enviro.033108.092057.
6. *Юревич Е. И.* Роботы ЦНИИ РТК на Чернобыльской АЭС и развитие экстремальной робототехники. — СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2004. — 264 с.
7. *Микеев А. К.* Противопожарная защита АЭС. — М. : Энергоиздат, 1990. — 432 с.
8. *Горбань Ю. И., Синельникова Е. А.* Автоматические установки пожаротушения на базе роботизированных пожарных комплексов АУП РПК для защиты машинных залов АЭС, ТЭЦ и ГЭС // *Пожарная безопасность*. — 2012. — № 3. — С. 136–142.
9. *Верзилин М. М., Повзик Я. С.* Пожарная тактика. — М. : ЗАО “Спецтехника”, 2007. — 416 с.
10. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году : стат. сб. / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ВНИИПО, 2014. — 137 с.
11. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году : стат. сб. / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2015. — 124 с.
12. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году : стат. сб. / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2016. — 124 с.
13. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году : стат. сб. / Под общ. ред. Д. М. Гордиенко. — М. : ВНИИПО, 2017. — 124 с.
14. *Карпышев А. В., Душкин А. Л., Глухов И. С., Сегаль М. Д.* Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты атомных станций // *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*. — 2006. — № 5. — С. 34–44.
15. *Gsell J.* Assessment of fire suppression capabilities of water mist — Fighting compartment fires with the cutting extinguisher : PhD thesis. — Belfast, UK : University of Ulster, 2010. — 138 p.
16. Cutting extinguisher concept — practical and operational use / *Sodra Alvsborg Fire & Rescue Services with SP Technical Research Institute of Sweden*. — Borås, 2010.
17. *Försth M., Ochoterena R. L., Lindström J.* Spray characterization of the cutting extinguisher : *SP Report 2012:14*. — Borås : SP Technical Research Institute of Sweden, 2012.
18. *Алешков М. В., Гусев И. А.* Определение рабочих параметров установок пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки, применяемых на объектах энергетики // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2017. — Т. 26, № 10. — С. 69–76. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.69-76.
19. *Абросимов Ю. Г.* Гидравлика : учебник. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. — 312 с.
20. *Гусев И. А., Алешков М. В., Холостов А. Л.* Определение тактических возможностей установок пожаротушения с гидроабразивной резкой при подаче огнетушащих веществ на объектах энергетики // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. — 2018. — № 3. — С. 29–34.
21. *Гусев И. А.* Обоснование требований к мобильной робототехнике пожаротушения, применяемой на объектах энергетики // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. — 2017. — № 3. — С. 21–27.

Материал поступил в редакцию 30 июля 2018 г.

Для цитирования: *Алешков М. В., Цариченко С. Г., Холостов А. Л., Гусев И. А.* Обеспечение пожарной безопасности объектов энергетики путем разработки и применения мобильной робототехники пожаротушения // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 9. — С. 35–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.09.35–49.