

Научная статья

УДК 007.51

doi: 10.17223/7783494/3/9

Спасательные роботы: краткий обзор технических решений

Артём Шамильевич Буреев¹, Дмитрий Сергеевич Жданов²,
Яна Валерьевна Костелей³, Евгения Васильевна Голобокова⁴

^{1, 2, 3, 4} *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

³ *Томской государственной университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия*

¹ *artem_bureev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8911-305X*

² *d_s_zhdanov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8639-0681*

³ *kosteleyyv@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0775-350X*

⁴ *jane04@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7806-8879*

Аннотация. В обзоре приведен анализ возможностей существующих робототехнических решений, обеспечивающих проведение спасательных операций, рассмотрены сложности, которыми можно объяснить недостаточную полноту внедрения роботизированных решений, приведены характеристики серийно выпускаемых спасательных роботов, рассмотрены наиболее интересные экспериментальные и опытно-конструкторские разработки технических решений в рассматриваемой области.

Ключевые слова: спасательные роботы, робототехника, сервисные роботы, обзор решений, обеспечение безопасности

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030) в рамках проекта № НУ 2.4.5.22 ИГ «Выбор методов слежения за положением пациента, применимых в составе модульного медицинского комплекса устройств для многоуровневой реабилитации».

Для цитирования: Буреев А.Ш., Жданов Д.С., Костелей Я.В., Голобокова Е.В. Спасательные роботы: краткий обзор технических решений // Технологии безопасности жизнедеятельности. 2023. № 3. С. 78–87. doi: 10.17223/7783494/3/9

Original article

doi: 10.17223/7783494/3/9

Rescue robots: a brief overview of technical solutions

Artem Sh. Bureev¹, Dmitry S. Zhdanov², Yana V. Kosteley³, Evgeniya V. Golobokova⁴

^{1, 2, 3, 4} *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation*

³ *Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation*

¹ *artem_bureev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8911-305X*

² *d_s_zhdanov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8639-0681*

³ *kosteleyyv@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0775-350X*

⁴ *jane04@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7806-8879*

Abstract. In the article the authors present the scientific and technical review of the results showing the current state and areas of service robots' application to assist in search and rescue operations. Their use makes it possible to increase the safety level during search and rescue operations, and also, due to automation, to reduce their implementation time and minimize the rescuers' presence in the emergency zone. The materials from publicly available sources were used for this work, containing a description of search and rescue robots use experience, execution methods, functional purpose and design features. The study revealed that there are no unified standards regulating the composition, design options and robots functioning methods to this day. Nevertheless, they are widely used to solve almost all possible problems, from delivering necessary cargo to providing first aid and evacuating victims from dangerous areas. The execution, movement and communication methods implemented in search and rescue robots directly depend on the task at hand. At the same time, the developers' desire to come to unified construction standards is obvious. There is also an interest from the relevant departments and the scientific community in creating more advanced technical means capable of expanding the area of their movements (changing shape depending on the space for movement, combining different modes of movement, etc.), carrying capacity, orientation in difficult conditions methods (dust, fog, fire, loss of communication with the operator, etc.). However, despite progress in development, search and rescue robots are currently not widely implemented. This problem is typical not only for Russia, but also for the whole world. Perhaps this is partly due to the need to change the search and rescue services assistance protocols, and partly due to the existing technical solutions imperfections in the field of search and

rescue robots. However, ongoing research and development suggests that systems will soon be created that will find widespread use in search and rescue services.

Keywords: rescue robots, robotics, service robots, solutions review, security

Acknowledgments: This study was supported by the Tomsk State University Development Programme (Priority-2030) within the project No. NU 2.4.5.22 IG “Selection of methods for monitoring the patient’s position, applicable as part of a modular medical complex of devices for multi-level rehabilitation”.

For citation: Bureev, A.Sh., Zhdanov, D.S., Kosteley, Ya.V. & Golobokova, E.V. (2023) Rescue robots: a brief overview of technical solutions. *Tekhnologii bezopasnosti zhiznedeyatelnosti – Life Safety / Security Technologies*. 3. pp. 78–87. doi: 10.17223/7783494/3/9 (In Russian).

Поисково-спасательные роботы (ПСР) – одна из сравнительно новых категорий сервисных роботов, предназначенных для оказания помощи при поиске и спасении людей в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС). Их создание и широкое внедрение открывают новые возможности для повышения скорости спасательных операций и обеспечения безопасности спасателей. Однако недостаток информации о существующих технических решениях и их возможностях тормозит рост интереса к внедрению спасательных роботов в практику служб спасения.

Целью статьи является рассмотрение конструктивных особенностей ПСР, их назначения, существующих технических решений, а также проблем, связанных с их разработкой и внедрением.

Классификация и назначение ПСР

ПСР представляют собой беспилотные транспортные средства для содействия в обеспечении спасательных операций, служащие дополнительными средствами реагирования в случае стихийного

бедствия. Существует множество факторов, влияющих на конструкцию технического средства, одним из которых является среда применения, которая может ограничивать как возможные решения по способу перемещения, так и доступные каналы связи системы с оператором. В таблице продемонстрированы различные типы исполнений ПСР.

Размеры роботов варьируются в зависимости от выполняемых задач – от компактных воздушных дронов до крупных грузовых платформ, доставляющих оборудование в зону ЧС.

Для управления ПСР используются различные типы устройств ввода, в том числе портативные устройства, мобильные телефоны и контроллеры с экраном, обеспечивающим отображение поля зрения робота и другой информации: телеметрии с датчиков робота, перечня команд, переданных роботу, карты местности для улучшения навигации и осведомления оператора о ситуации [1]. Для поиска пострадавших ПСР воздушного базирования дополняются тепловизионными устройствами или устройствами пеленга сигналов сотового телефона.

Типы ПСР

По среде применения	По способу перемещения	По типу связи с оператором
ПСР воздушного базирования	Самолетного типа	Аналоговый канал на 2,4 ГГц Аналоговый канал 5,8 ГГц Wi-Fi 2,4 ГГц Wi-Fi 5 ГГц
	Вертолетного типа Коптеры Самолетно-вертолетного типа	
ПСР подводного базирования	Водометные движители	Нет открытых данных
	Винтовые движители Подвижные плавниковые движители Неподвижные плавники и корпус с изменением плавучести (глайдер)	
ПСР надводного базирования	Водометные движители Винтовые движители	Нет открытых данных
ПСР наземного базирования	Колесные	Аналоговый канал на 2,4 ГГц Аналоговый канал 5,8 ГГц Wi-Fi 2,4 ГГц Wi-Fi 5 ГГц
	Гусеничные Шагающие Ползающие	
ПСР подземного базирования	Колесные	Аналоговый канал на 2,4 ГГц Аналоговый канал 5,8 ГГц Wi-Fi 2,4 ГГц Wi-Fi 5 ГГц
	Гусеничные Шагающие Ползающие	
Сочетанные системы ПСР с различной средой применения	Колесные	Аналоговый канал на 2,4 ГГц Аналоговый канал 5,8 ГГц Wi-Fi 2,4 ГГц Wi-Fi 5 ГГц
	Гусеничные Шагающие Вертолетного типа или коптер	

В связи со спецификой применения (всепогодные условия использования, в том числе в агрессивных средах) к ПСР предъявляются дополнительные конструктивные и технические требования: повышенная устойчивость к условиям внешней среды, в частности, к соляному туману, сильному ветру, высоким и низким температурам, защищенности от пыли и песка. Ввиду наличия таких требований, обусловленных условиями эксплуатации, не каждый дрон или робот может быть использован в качестве ПСР.

Функционал ПСР включает, но не ограничивается предоставлением различной информации о ситуации в очаге ЧС в режиме реального времени, оказанием воздействия на факторы ЧС или на пострадавших, транспортировкой грузов в зоне ЧС. На практике это означает, что ПСР обеспечивают видеосъемку места ЧС, построение 3D-модели местности (разрушенные здания, шахты), поиск опасных объектов (например, таких, как мины), анализ химического состава и температуры среды, поиск и манипуляции с пострадавшими для оказания помощи и спасения, а также ряд других задач [2]. Например, для применения ПСР для доставки грузов людям, оказавшимся в зоне ЧС (доставка медикаментов, еды, воды, оборудования), или для доставки реанимационного оборудования до приезда скорой помощи. В Канаде проводятся исследования, связанные с доставкой дроном автоматического дефибриллятора для оказания неотложной медицинской помощи и повышения выживаемости при внебольничной остановке сердца. Исследование показало многообещающие результаты в сельской местности, но выявило проблему необходимости повышения грамотности населения в сфере проведения сердечно-легочной реанимации в случае остановки сердца [3].

Кроме этого, ПСР активно применяются для решения городских задач, связанных с повышенной опасностью или упреждением ЧС. Так, в Китайской Народной Республике в провинции Хэбэй роботы используются для наблюдения за дорожной ситуацией и трафиком, за нарушениями правил дорожного движения и местами аварий. Робот дорожного патруля, цветнографически похожий на сотрудника дорожной полиции, может идентифицировать водителей, фотографировать противоправное поведение водителей с помощью своей автоматической навигационной системы, а также предупреждать аварии [4].

Управлением помощника министра транспорта США по исследованиям и технологиям при сотрудничестве с Мичиганским технологическим университетом (MTU) успешно реализован проект, связанный с мониторингом и оценкой состояния грунтовых дорог с помощью беспилотных летательных аппаратов, для предотвращения аварийных ситуаций, связанных с некачественным дорожным покрытием [5].

Для обеспечения большей функциональности ПСР состав программного обеспечения (ПО) может быть дополнен алгоритмами искусственного интеллекта для моделирования поисково-спасательных операций и планирования точек входа в разрушенное здание [6]. В настоящее время одним из вариантов исполнения такого функционала может быть применение системы дополненной реальности. Например, программное обеспечение SmartCam3D компании Rapid Imaging Software может применяться для совмещения карты с изображением зоны ЧС в режиме реального времени для облегчения поиска пострадавших и навигации спасателей, что позволяет определить местонахождение беспилотного летательного объекта, с которого поступает видеоряд, и помечать или нацеливаться на области нахождения пострадавших, объекты инфраструктуры и другие ключевые точки, важные для планирования и проведения спасательной операции [7]. Также это направление расширяется алгоритмами поиска и планирования пути ПСР для автоматизации процесса планирования проведения спасательных работ [8].

Функциональность ПСР значительно расширяется при их применении в формате роя скоординированных роботов для исполнения поставленных задач. Цель таких систем – создание согласованного кооперативного поведения автономных роботов, полученного в результате взаимодействия с окружающей средой или друг с другом [9]. В работе [6] предлагается в качестве роя спасательных роботов использовать микровездеходные системы для исследования завалов в обрушившихся зданиях с целью поиска пострадавших и обеспечения безопасности спасателей.

Полиция США активно применяет дроны для таких задач, как поиск людей в розыске и пропавших людей, а также для текущих наблюдений и обеспечения безопасности, активно заменяя полицейские вертолеты на дроны, которые обходятся намного дешевле с точки зрения закупки, обслуживания и управления [10]. Это говорит о том, что применение ПСР имеет экономическую выгоду за счет частичной или полной замены дорогостоящих технологий, оборудования и транспорта для решения определенного круга задач.

При всём разнообразии задач, выполняемых ПСР, на сегодняшний день нет технических решений, позволяющих в удаленном режиме без непосредственного участия человека оказывать пострадавшим первую доврачебную помощь. Это обусловлено рядом факторов: несовершенство существующих роботизированных манипуляторов, недостаточная чувствительность сенсоров ПСР, многообразие возможных вариантов травм в сочетании с индивидуальными анатомическими особенностями пострадавших на фоне

отсутствия программно-алгоритмических решений, позволяющих учесть эти факторы для индивидуализации подхода при выполнении манипуляций.

Примеры серийно производимых ПСР

В настоящее время существуют серийно производимые ПСР, которые активно применяются на дежурстве служб спасения. При этом применение отечественных серийных ПСР распространено в том числе в МЧС России. Например, научно-производственное предприятие «Радар ммс» является разработчиком роботизированного спасательного плота «Аврора», который применяется для доставки надувного плота до пострадавших при спасении людей на воде. Роботизированный плот может управляться в автоматическом режиме или в ручном – с использованием дистанционного пульта управления с земли или воздуха. Плот «Аврора» отличается надёжностью, что связано с использованием композитов в производстве, и оснащается двумя сонарами для эффективного поиска пострадавших как на воде, так и под водой [11].

Для обеспечения МЧС России роботизированными средствами пожаротушения Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны совместно с хорватской компанией DOK-ING и рядом других российских компаний выполнили ряд проектов, в результате которых были разработаны комплексы «Ель-4», «Ель-10», а также мобильный роботизированный комплекс «Кедр» с мобильным пунктом управления «Атаман». «Ель-4» и «Ель-10» являются прототипами пожарного робота «Уран-14», выпущенного позднее. Эти комплексы представляют собой гусеничную беспилотную машину, управляемую дистанционно и оснащенную системой водопенного пожаротушения с запасом воды и огнетушащего вещества, позволяющей проводить непрерывное тушение, не превышающее 1,5 мин в автономном режиме. Установки доставляются в зону очага пожара другим транспортным средством. При эксплуатации «Ель-4» и «Ель-10» был выявлен ряд недостатков, связанных со скоростью движения не более 10 км/ч, а также необходимостью взаимного координирования действий каждой машины операторами, что было связано с независимой работой их систем дистанционного управления [12].

В связи с вышеперечисленными проблемами Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны разработал робототехнический комплекс, состоящий из мобильного роботизированного комплекса «Кедр» и мобильного пункта управления «Атаман». В состав «Кедра» входят две машины, обеспечивающие

пожаротушение и прокладку рукавной линии к месту забора воды с закачкой на плаву или из заглубленных водоисточников. Дистанционное управление обеими машинами может организовано из пункта управления «Атаман», или же управление одной машиной может производиться с борта другой при условии их расхождения на не более 2 000 м. Скорость движения машин составляет 60 км/ч, что превышает показатели установок «Ель-4» и «Ель-10». Когда факторы среды угрожают безопасности экипажа, машины управляются из пункта управления «Атаман» с использованием информации, получаемой от выносных видеоинфракрасных камер, расположенных на беспилотном летательном аппарате, который также управляется из пункта управления [12].

Мобильная установка для пожаротушения «Пеликан», разработанная научно-производственным предприятием «Сибирский Арсенал», предназначена для тушения пожаров в условиях угрозы взрыва, завалов, а также на закрытых предприятиях, примерами которых являются промышленные здания, электростанции, инфраструктура нефтегазовой отрасли и др. Установка управляется дистанционно с помощью пульта, который позволяет задавать направление и скорость движения, управлять лафетом и отвалом. Кроме этого, для координации действий и управления эвакуацией людей «Пеликан» включает устройство, позволяющее оператору отдавать речевые команды в формате громкоговорящего оповещения с помощью гарнитуры или заранее записанных аудиозаписей команд. Для пожаротушения применяется либо пена средней кратности, либо вода, при этом выбранный пожаротушащее вещество поставляется струей дальностью до 60 м. Пополнение запасов воды в установке может быть обеспечено от мобильной автоцистерны резервуара, стационарного гидранта или пенообразователя. ПСР «Пеликан» отличается повышенной проходимостью, полученной за счет большого дорожного просвета в 190 мм. При исполнении установки на колесах их защита от теплового воздействия обеспечивается за счет водяного орошения, также возможен формат установки на гусеничном шасси. Для освобождения пути движения установка содержит отвал, позволяющий поднимать и перемещать предметы [13].

Применение серийно производимых ПСР активно развивается за рубежом, в том числе исследуются и расширяются возможности их применения. Например, беспилотное наводное судно «Emily», разработанное компанией Hudronalix, при поддержке Центра роботизированного поиска и спасения Техасского А&Т университета применяется для миссии по спасению беженцев в Греции. ПСР с использованием дистанционного управления направляется в зону

бедствия, при достижении которой «Emily» используется как плавсредство для жертв, что позволяет эвакуировать 4–6 человек за один раз. Скорость перемещения «Emily» по воде достигает 32 км/ч, что позволяет добраться до жертв быстрее, чем это делает человек-спасатель. Исследователи Техасского A&T университета дополнили «Emily» алгоритмами навигации, которые позволяют избежать столкновения или игнорирование жертвы, что должно повысить качество проведения спасательной операции [14].

ПСП «U-Safe», предложенный компанией Noras Performance, позволяет производить спасение одного человека на воде. ПСП U-образной формы управляется дистанционно с помощью стика, развивая скорость до 15 км/ч. Особенность этого устройства в том, что СПР продолжает движение, если из-за погодных или иных условий его конструкция перевернется в воде [15]. «U-Safe» является лауреатом премии «CES 2023 Innovation» и предлагается к использованию не только службами спасения, но и в качестве средств спасения на круизных лайнерах и ином водном транспорте [16].

Примером роботизированного устройства, который может решать служебные задачи спасательных операций, является дрон «Airobotics Optimus». Он обладает довольно высокой скоростью полета до 46 км/ч и позволяет переносить на своем борту оборудование массой до 1 кг. Он поставляется с базой, которая позволяет менять аккумуляторы в автономном режиме. То есть дрон может проводить мониторинг заданной местности в суровых условиях окружающей среды, выполняя последовательно две задачи: сбор данных в течение получаса и возврат на базу с последующей заменой аккумулятора для продолжения выполнения мониторинга [17] с использованием различного оборудования. Например, на базе «Airobotics Optimus» был разработан «LDS SpectroDrone», позволяющий проводить поиск взрывчатых веществ.

Подобное решение предложено компаниями Teledyne FLIR Defense и Robotics Centre для поиска людей путем оснащения дронов «SkyRaider» и «SkyRanger» модулем поиска сигнала мобильных телефонов «Echo SAR». Масса модуля составляет 1 кг, что позволяет проводить его перемещение дроном. Кроме поиска сигнала, модуль позволяет связаться с пострадавшими с помощью голосовой связи и SMS-сообщений, что позволяет координировать поиск и предоставлять поддержку пострадавшему [18].

Коммерческие решения также могут применяться, как ПСП. Например, дрон для доставки «SkyDrop», производимый одноименной компанией-пионером и основным поставщиком дронов в этой сфере, применяется для доставки медикаментов и медицинского

оборудования в зоны ЧС после того, как их регулярная поставка была одобрена Управлением гражданской авиации Новой Зеландии [19].

Перечисленные выше решения соответствуют требованиям, связанным с их устойчивостью к агрессивным условиям работы в суровой открытой внешней среде. В свою очередь, применение ПСП в замкнутых опасных помещениях и пространствах, вносит дополнительные условия эксплуатации таких приборов. В сфере организации спасательных операций в шахтах существуют также готовые серийные решения. Военный робот «Wolverine V2» применяется Управлением по охране труда и технике безопасности на шахтах США для проведения спасательных операций при ЧС в шахтах. На борту робота находится датчик газа для непрерывного сбора проб и три видеокamеры, передающие видеосигнал на дисплей оператора. Робот имеет ограниченный радиус действия в 1,5 км и управляется командами, передаваемыми по проводному каналу связи, имеет значительную массу в 550 кг. Стоимость робота составляет 280 тыс. долл.

Как показывает предыдущее решение, такие типы ПСП отличаются высокой стоимостью, поэтому, как правило, разрабатываются по заказу государственных или иных организаций. Например, горноспасательная машина «Gemini scout» разработана компанией Sandia Laboratories при финансовой поддержке Национального института безопасности и гигиены труда США. Гусеничный робот высотой 0,6 м и длиной 1,2 м был создан для условий работы в угольных шахтах и является искробезопасным. Машина оснащена сенсором газов, тепловизором для поиска пострадавших, панорамной камерой и стереокамерой глубины. Управление ПСП – дистанционное, где пульт управления представлен в виде джойстика Xbox [20]. К сожалению, отсутствует информация о применении и эффективности данного ПСП в условиях реальных операций спасения.

Дистанционно-управляемое транспортное средство «Numbat» – восьмиколесный робот с габаритами 2,5 × 1,65 м был создан при поддержке Организации Содружества по научным и промышленным исследованиям Австралии. ПСП позволяет проводить разведывательную операцию по сбору информации о состоянии подземных шахт, необходимой спасателям, в опасных для человека условиях. Управление ПСП осуществляется с помощью четырех видеокamер, джойстика и графического интерфейса. Панель управления роботом расположена в диспетчерской. Робот до сих пор используется в проекте горных исследований в Организации Содружества по научным и промышленным исследованиям Австралии, но никогда не использовался в спасательных операциях [21].

Обращает на себя внимание малая включенность существующих сложных технических решений в области ПСР в практическое использование. В основном в практику внедрены системы автоматизации и связи стандартных технических решений для борьбы с ЧС. Это может быть связано с отсутствием системы испытаний и сертификации ПСР на пригодность к применению в реальных условиях различных ЧС. Данная система может быть сформирована только при участии государства как основного распорядителя работы служб ГО и ЧС.

Экспериментальные и опытно-конструкторские разработки

Дальнейшие перспективы развития ПСР можно проследить в экспериментальных и опытно-конструкторских разработках, которые позволят расширить возможности, среды применения и эффективность выполнения задач с использованием ПСР.

Из наиболее интересных стоит упомянуть роботов, которые в зависимости от задач и окружения меняют или фиксируют свою форму для прохождения труднодоступных участков пути. Такое направление часто называют «гибкими роботами». Например, в работе [22] описывается воско-пенный материал, который переходит из твердого в мягкое состояние при нагревании и может быть использован для формирования деталей роботов путем покрытия проволоочной основы. За счет включения и отключения тока в проволоочном основании запускается процесс нагрева материала для изменения формы детали. Фиксация состояния происходит за счет остывания. Использование такого материала при изготовлении ПСР позволит ему протискиваться сквозь завалы зданий в поисках выживших или проникать в другие труднодоступные места во время поисково-спасательных операций [22].

Проблемой в работе ПСР является необходимость построения пути прохождения робота по безопасному и кратчайшему маршруту к заданной точке. В обзоре [8] рассмотрены методы глобального и локального планирования маршрутов роботов, где для глобального планирования пути используются методы моделирования окружающей среды и методы оценки пути. Для локального построения маршрута используются данные с внешних датчиков, таких как, например, камеры. Значительные усилия исследователей направлены на решение проблемы проектирования безопасного пути для мобильного робота при его автономной работе. Данный маршрут должен быть преодолен с кратчайшим расстоянием, без столкновений и с наименьшими затратами времени от начальной до конечной точки. Судя по обзору [8],

достигнут определенный прогресс в решении данной задачи, но она по-прежнему актуальна.

Изучаются также и пути повышения надежности групп роботов-спасателей, что особенно важно при проведении спасательных операций в экстремальных условиях. Так, в работе [23] это предлагается реализовать через повышение автономности отдельных роботов и групп роботов, резервирование роботов и обеспечение их взаимозаменяемости.

В работе [24] представлен симулятор для разработки стратегии поведения поисковых групп роботов. Симулятор включает в себя среду моделирования в виде массива данных размером 300×300 , где каждый элемент массива может содержать одно из 9 значений для построения карты симуляции. Симулятор позволяет отслеживать перемещения роботов, оценивать затраченное время и работу команды роботов. По результатам более 300 экспериментов в рамках симуляции было показано, что по мере увеличения численности роботов в команде возрастает производительность команды, при размере команды роботов в 12–14 штук данные производительности выходят на плато.

Приведенные данные свидетельствуют о росте интереса к различным аспектам создания ПСР во всем мире. В значительной степени это связано с общим развитием возможностей робототехники, но также обусловлено необходимостью обеспечить службы спасения современной техникой, повысив за счет её внедрения эффективность спасательных операций и безопасность населения.

Однако обращает на себя внимание, что относительно небольшое количество работ посвящено созданию сочтенных (модульных) систем ПСР с различной средой применения, хотя именно такой подход видится наиболее перспективным для обеспечения широких функциональных возможностей роботизированных систем спасения. Кроме того, данный подход позволит унифицировать ПСР в рамках системы ГО и ЧС на уровне государства и предупредить избыточное расширение номенклатуры закупаемых изделий.

Проблемы разработки и внедрения ПСР

Сфера разработки ПСР, как и любое развивающееся направление робототехники, сопряжена с рядом технических и концептуальных проблем, которые ограничивают или замедляют их внедрение в практическое применение. Для ПСР и других критических робототехнических направлений (таких, как, например, медицина или беспилотные транспортные средства) обеспечение безопасности применения является одним из ключевых моментов организации и их

внедрения на системном, государственном уровне. В работах, посвященных этому [25], часто особое внимание уделяется безопасности Robot Operating System (ROS) – операционной системы робототехнических устройств. Однако исследования также уделяют внимание физической безопасности, связанной с аппаратной надежностью и безопасностью прошивок микроконтроллеров роботов, проблеме подмены данных и безопасности сетей. По мнению некоторых исследователей [25], вероятность рисков угроз безопасности на роботизированных платформах может быть значительно снижена за счет улучшений в шифровании, авторизации и аутентификации, а также физической безопасности роботов-спасателей. Кроме того, в исследовании [26] была предложена методология систематической оценки безопасности роботов (RSF), предполагающая оценку по четырем основным уровням (физический, сетевой, встраиваемое ПО и программное приложение), включающим в себя ряд аспектов безопасности. Также авторы работы предлагают собственную терминологию и описывают структуру оценки безопасности роботизированных систем, связанную с их архитектурой. В работе утверждается, что каждый из выделенных авторами аспектов безопасности должен быть проанализирован и обеспечен активно, а не по принципу «безопасность за счет неизвестности», который в настоящее время широко применяется в робототехнике, но приводит к существованию критических уязвимостей у роботов.

Проектирование модульных самоконфигурируемых роевых систем также приводит к проблеме кибербезопасности (т.е. подслушивание, перехват/подмена пакетов, неверная конфигурация и т.д.) сегмента сети для управления роботами. Например, в работе [27] представлена концепция безопасного и защищенного сегмента сети для управления роботами с централизованным и децентрализованным управлением.

Множество проблем во внедрении и разработке ПСР связано с организацией интерфейса между ПСР и оператором. Например, сложность в адаптации человека-оператора к задержкам передачи информации при управлении роботами-спасателями. Это связано с тем, что задержка в 500 мс между командой и ее выполнением ПСР приводит к значительному снижению производительности выполнения задачи и значительному увеличению восприятия объема физической нагрузки [28].

Увеличение числа роботов, включаемых в систему ПСР, порождает проблему управления одним оператором несколькими роботами. Разработчикам систем ПСР необходимо определить, какая информация, поступающая от роботов, рассредоточенных по местности, может быть интегрирована в графический

интерфейс оператора, как организовать управление роботами в неизвестной среде и какой формат управления использовать: управлять каждым роботом по отдельности или как единой системой [29].

В России, кроме аналогичных технических проблем разработки, существуют сложности в обеспечении единых технических требований к ПСР. В настоящее время действуют множественные ГОСТы, определяющие технические требования к характеристикам создаваемых роботизированных систем, в том числе спасательных:

– ГОСТ Р 60.6.3.12–2019 «Роботы и робототехнические устройства. Методы испытаний сервисных мобильных роботов для работы в экстремальных условиях. Радиосвязь в зоне прямой видимости»;

– ГОСТ Р 60.0.2.1–2016 «Роботы и робототехнические устройства. Общие требования по безопасности»;

– ГОСТ Р 60.6.3.11–2019 «Роботы и робототехнические устройства. Методы испытаний сервисных мобильных роботов для работы в экстремальных условиях. Взаимодействие человека с роботом при выполнении поисковых работ. Произвольные лабиринты на сложной местности»;

– ГОСТ Р 60.0.3.1–2016 «Роботы и робототехнические устройства. Виды испытаний»;

– ГОСТ Р 54344–2011 «Техника пожарная. Мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний»;

– ГОСТ Р 55895–2013 «Техника пожарная. Системы управления робототехнических комплексов для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Общие технические требования. Методы испытаний».

Также недавно был разработан ГОСТ Р 70802–2023 «Беспилотные авиационные системы для обеспечения пожаротушения, аварийно-спасательных и других работ, выполняемых в целях предупреждения чрезвычайных ситуаций и ликвидации их последствий. Общие требования», определяющий требования беспилотным авиационным системам для пожаротушения, который вводится в действие с 1 декабря 2023 г.

Многообразие существующих ГОСТов может усложнить внедрение передовых роботизированных решений в практику спасательных операций и требует дополнительного внимания со стороны разработчиков.

Из проанализированных работ видно, что в настоящее время проблема безопасности применения роботизированных автономных систем, а именно кибербезопасность роботизированных устройств,

становится все важнее. Это обусловлено все большим распространением роботов и их широкой интеграцией в такие ответственные отрасли, как здравоохранение и обеспечение общественной безопасности. В то же время, несмотря на многочисленность ГОСТов на роботизированную технику, в ГОСТ Р 60.0.2.1–2016, посвященном обеспечению безопасности роботов и роботизированных устройств, не рассматриваются меры обеспечения или проверки устойчивости роботов к кибернетическим угрозам.

Выводы

Проведенный обзор показывает, что в настоящее время ПСР является интенсивно развивающимся сегментом сервисных роботов. Их широкое внедрение может обеспечить значительное сокращение сроков обнаружения пострадавших, оказания им помощи и эвакуации. Кроме того, применение ПСР экономически оправдано, поскольку позволяет высвободить часть сотрудников поисково-спасательных служб от рутинных задач или заменить применение полномасштабной дорогостоящей в эксплуатации техники миниатюрными роботизированными решениями.

Несмотря на успехи в развитии, ПСР в настоящий момент внедрены недостаточно широко. Данная

проблема характерна не только для России, но и для всего мира. Возможно, отчасти это обуславливается необходимостью изменения протоколов помощи поисково-спасательных служб, а отчасти – несовершенством существующих технических решений в области ПСР. Тем не менее повсеместно ведущиеся исследования и разработки позволяют предположить, что в ближайшее время будут созданы системы ПСР, которые найдут свое широкое применение в поисково-спасательных службах.

Кроме того, в настоящее время существует ряд актуальных проблем, связанных с разработкой и созданием роботизированных систем. Для их дальнейшего успешного внедрения требуется проведение исследований в смежных областях (электронике, материаловедении, кибернетике), направленных на разработку новых технических решений (материалов, элементов интернета вещей, сенсоров), которые позволят обеспечить создаваемым роботизированным системам (в том числе ПСР) необходимые технические характеристики, а также обеспечат безопасность их применения.

Также требуется уделить особое внимание регулированию российского законодательства во избежание ситуации, когда законодательно будет осложнено свободное внедрение инновационных ПСР в практическое использование.

Список источников

1. Ferris T., Sarter N., Wickens C.D. Cockpit automation: Still struggling to catch up... // Human factors in aviation. Academic Press, 2010. P. 479–503. doi: 10.1016/B978-0-12-374518-7.00015-8
2. Kim D., Masuda R. Development of rescue robot system with human body grasping function // IFAC Proceedings Volumes. 2003. Vol. 36 (17). P. 443–448. doi: 10.1016/S1474-6670(17)33434-1
3. Sedig K., Seaton M.B., Drennan I.R., Cheskes S., Dainty K.N. «Drones are a great idea! What is an AED?» novel insights from a qualitative study on public perception of using drones to deliver automatic external defibrillators // Resuscitation Plus. 2020. Vol. 4. P. 100033. doi: 10.1016/j.resplu.2020.100033
4. 道路“机器人交警”在邯郸“上岗” // The Chinese Central Government's Official Web Portal. URL: https://www.gov.cn/xinwen/2019-08/08/content_5419720.htm (дата обращения: 01.08.2023).
5. Unpaved Roads Assessment // Michigan Technological University. URL: <https://www.mtu.edu/mtri/research/project-areas/transportation/infrastructure/unpaved-roads/> (дата обращения: 11.08.2023).
6. Blitch J.G. Artificial intelligence technologies for robot assisted urban search and rescue // Expert Systems with Applications. 1996. Vol. 11 (2). P. 109–124. doi: 10.1016/0957-4174(96)00038-3
7. SmartCam3D // Rapid Imaging Technologies LLC. URL: <https://www.rapidimagingtech.com/smartcam3d/> (дата обращения: 25.07.2023).
8. Liu L., Wang X., Yang X., Liu H., Li J., Wang P. Path planning techniques for mobile robots: Review and prospect // Expert Systems with Applications. 2023. Vol. 227, Is. C. P. 120254. doi: 10.1016/j.eswa.2023.120254
9. Bakhshipour M., Ghadi M.J., Namdari F. Swarm robotics search & rescue: A novel artificial intelligence-inspired optimization approach // Applied Soft Computing. 2017. Vol. 57. P. 708–726. doi: 10.1016/j.asoc.2017.02.028
10. Drones: A Report on the Use of Drones by Public Safety Agencies and a Wake-Up Call about the Threat of Malicious Drone Attacks // Police Executive Research Forum. Office of Community Oriented Policing Services. 2020. 128 p.
11. Спасательный робот «Аврора» впервые представлен на «Гидроавиасалоне-2018» в Геленджике // АО «НПП «Радар ммс». URL: https://radar-mms.com/news/media/spasatelnyy-robot-avrora-vpervyye-predstavlen-na-gidroaviasalone-2018-v-gelendzhike/?sphrase_id=18039 (дата обращения: 20.08.2023).
12. Цариченко С.Г., Овсяник А.И., Павлов Е.В., Симанов С.Е., Исавнина И.Н. Групповое управление робототехническими комплексами при тушении пожаров в особо опасных условиях // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. № 4. С. 19–25.
13. Камоцкий В.С. «Пеликан» – мобильная установка для пожаротушения объектов нефтегазового комплекса // Территория Нефтегаз. 2013. № 6. С. 56–57.
14. Schofield R.T. Potential Fields Navigation of Lifeguard Assistant Robot for Mass Marine Casualty Response // Undergraduate Research Scholars Thesis. Texas A&M University Libraries, 2018. 44 p.

15. U-Safe // U SAFE. URL: <https://www.usaferescue.com/product-en/#about> (дата обращения: 13.08.2023).
16. U-Safe // Consumer Technology Association. URL: <https://www.ces.tech/innovation-awards/honorees/2023/honorees/u/u-safe.aspx> (дата обращения: 15.08.2023).
17. Optimus // Airobotics. URL: <https://www.airoboticsdrones.com/optimus/> (дата обращения: 18.08.2023).
18. ECHO // Robotics Centre. URL: <https://robotics-centre.com/products/echo/> (дата обращения: 18.08.2023).
19. Skydrop // Skydrop. URL: <https://getskydrop.com/> (дата обращения: 19.08.2023).
20. Gemini-Scout Mine Rescue Vehicle // National Technology and Engineering Solutions of Sandia. URL: <https://www.sandia.gov/research/gemini-scout-mine-rescue-vehicle/> (дата обращения: 19.08.2023).
21. *Ralston J.C., Hainsworth D.W.* The Numbat: A remotely controlled mine emergency response vehicle // *Field and Service Robotics*. London : Springer London, 1998. P. 53–59.
22. *Donaldson L.* Squishy robots could revolutionize search-and-rescue // *Materials Today*. 2014. Vol. 8 (17). P. 368–369. doi: 10.1016/j.mattod.2014.08.030
23. *Vasilyev I., Kashourina A., Krashennnikov M., Smirnova E.* Use of mobile robots groups for rescue missions in extreme climatic conditions // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 100. P. 1242–1246. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.489
24. *Dollarhide R.L., Agah A.* Simulation and control of distributed robot search teams // *Computers & Electrical Engineering*. 2003. Vol. 29 (5). P. 625–642. doi: 10.1016/S0045-7906(01)00048-9
25. *Botta A., Rotbei S., Zinno S., Ventre G.* Cyber Security of Robots: a Comprehensive Survey // *Intelligent Systems with Applications*. 2023. Vol. 18. P. 200237. doi: 10.1016/j.iswa.2023.200237
26. *Vilches V.M., Kirschgens L.A., Calvo A.B., Cordero A.H., Pisón R.I., Vilches D.M., & Peter A.* Introducing the robot security framework (rsf), a standardized methodology to perform security assessments in robotics // arXiv preprint arXiv. 2018. 1806. 04042.
27. *Yaacoub J.P.A., Noura H.N., Piranda B.* The internet of modular robotic things: Issues, limitations, challenges, & solutions // *Internet of Things*. 2023. Vol. 23. P. 100886. doi: 10.1016/j.iot.2023.100886
28. *Khasawneh A., Rogers H., Bertrand J., Madathil K. C., Gramopadhye A.* Human adaptation to latency in teleoperated multi-robot human-agent search and rescue teams // *Automation in Construction*. 2019. Vol. 99. P. 265–277. doi: 10.1016/j.autcon.2018.12.012
29. *Valero A., de la Puente P., Rodríguez-Losada D.* Exploratory analysis of operator: Robot ratio in search and rescue missions // *IFAC Proceedings Volumes*. 2010. Vol. 43 (23). P. 101–108. doi: 10.3182/20101005-4-RO-2018.00034

References

1. Ferris, T., Sarter, N. & Wickens, C. D. (2010) Cockpit automation: Still struggling to catch up... In: *Human factors in aviation*. Academic Press. pp. 479–503. doi: 10.1016/B978-0-12-374518-7.00015-8
2. Kim, D. & Masuda, R. (2003) Development of rescue robot system with human body grasping function. *IFAC Proceedings Volumes*. 36 (17). pp. 443–448. doi: 10.1016/S1474-6670(17)33434-1
3. Sedig, K., Seaton, M.B., Drennan, I.R., Cheskes, S. & Dainty, K.N. (2020) «Drones are a great idea! What is an AED?» novel insights from a qualitative study on public perception of using drones to deliver automatic external defibrillators. *Resuscitation Plus*. 4. Art № 100033. doi: 10.1016/j.resplu.2020.100033.
4. *The Chinese Central Government's Official Web Portal* (n.d.). Traffic “traffic police robot” is “on duty” in Handan. [Online]. Available from: https://www.gov.cn/xinwen/2019-08/08/content_5419720.htm (Accessed: 01.08.2023).
5. *Michigan Technological University* (n.d.). Unpaved Roads Assessment. [Online]. Available from: <https://www.mtu.edu/mtri/research/project-areas/transportation/infrastructure/unpaved-roads/> (Accessed: 11.08.2023).
6. Blich, J.G. (1996) Artificial intelligence technologies for robot assisted urban search and rescue. *Expert Systems with Applications*. 11 (2). pp. 109–124. doi: 10.1016/0957-4174(96)00038-3
7. *Rapid Imaging Technologies LLC*. (n.d.) SmartCam3D [Online]. Available from: <https://www.rapidimagingtech.com/smartcam3d/> (Accessed: 25.07.2023).
8. Liu, L., Wang, X., Yang, X., Liu, H., Li, J. & Wang, P. (2023) Path planning techniques for mobile robots: Review and prospect. *Expert Systems with Applications*. 227 (C). Art. № 120254. doi: 10.1016/j.eswa.2023.120254
9. Bakhshpour, M., Ghadi, M.J. & Namdari, F. (2017) Swarm robotics search & rescue: A novel artificial intelligence-inspired optimization approach. *Applied Soft Computing*. 57. pp. 708–726. doi: 10.1016/j.asoc.2017.02.028
10. n.a. (2020) Drones: A Report on the Use of Drones by Public Safety Agencies and a Wake-Up Call about the Threat of Malicious Drone Attacks. In: *Police Executive Research Forum. Office of Community Oriented Policing Services*.
11. *AO «NPP «Radar mms»* (n.d.) Spasatelnyi robot «Aurora» v pervye predstavlen na «Gidroaviasalone-2018» v Gelendzhike [The rescue robot “Aurora” was presented for the first time at the “Gidroaviasalon-2018” in Gelendzhik]. [Online]. Available from: https://radar-mms.com/news/media/spasatelnyy-robot-avrora-vpervye-predstavlen-na-gidroaviasalone-2018-v-gelendzhike/?sphrase_id=18039 (Accessed: 20.08.2023).
12. *Tsarichenko, S.G., Ovsyanik, A.I., Pavlov, E.V., Simanov, S.E. & Isavnina, I.N.* (2018) Gruppovoe upravlenie robototekhnicheskimi kompleksami pri tushenii pozharov v osobo opasnykh usloviakh [Group control of robotic systems when extinguishing fires in particularly dangerous conditions]. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya*. 4. pp. 19–25.
13. *Kamotsky, V.S.* (2013) “Pelikan” – mobilnaia ustanovka dlia pozharotusheniia obiektov neftegazovogo kompleksa [“Pelican” – a mobile fire extinguishing unit for oil and gas complex facilities]. *Territoria Neftegaz*. 6. pp. 56–57.
14. *Schofield, R.T.* (2018) Potential Fields Navigation of Lifeguard Assistant Robot for Mass Marine Casualty Response. *Undergraduate Research Scholars Thesis. Texas A&M University Libraries*.
15. *U SAFE*. (n.d.) U-Safe. [Online]. Available from: <https://www.usaferescue.com/product-en/#about> (Accessed: 13.08.2023).
16. *Consumer Technology Association*. (n.d.) U-Safe. [Online]. Available from: <https://www.ces.tech/innovation-awards/honorees/2023/honorees/u/u-safe.aspx> (Accessed: 15.08.2023).
17. *Airobotics*. (n.d.) Optimus. [Online]. Available from: <https://www.airoboticsdrones.com/optimus/> (Accessed: 18.08.2023).
18. *Robotics Centre*. (n.d.) ECHO. [Online]. Available from: <https://robotics-centre.com/products/echo/> (Accessed: 18.08.2023).
19. *Skydrop*. (n.d.) Skydrop. [Online]. Available from: <https://getskydrop.com/> (Accessed: 19.08.2023).

20. *National Technology and Engineering Solutions of Sandia*. (n.d.) Gemini-Scout Mine Rescue Vehicle. [Online] Available from: <https://www.sandia.gov/research/gemini-scout-mine-rescue-vehicle/> (Accessed: 19.08.2023).
21. Ralston, J.C. & Hainsworth, D.W. (1998) The Numbat: A remotely controlled mine emergency response vehicle. In: *Field and Service Robotics*. Springer London. pp. 53–59.
22. Donaldson, L. (2014) Squishy robots could revolutionize search-and-rescue. *Materials Today*. 8(17). pp. 368–369. doi: 10.1016/j.mattod.2014.08.030
23. Vasilyev, I., Kashourina, A., Krashennikov, M. & Smirnova, E. (2015) Use of mobile robots groups for rescue missions in extreme climatic conditions. *Procedia Engineering*. 100. pp. 1242–1246. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.489
24. Dollarhide, R.L. & Agah, A. (2003) Simulation and control of distributed robot search teams. *Computers & Electrical Engineering*. 29(5). pp. 625–642. doi: 10.1016/S0045-7906(01)00048-9
25. Botta, A., Rotbei, S., Zinno, S. & Ventre, G. (2023) Cyber Security of Robots: a Comprehensive Survey. *Intelligent Systems with Applications*. 18. Art. № 200237. doi: 10.1016/j.iswa.2023.200237
26. Vilches, V.M., Kirschgens, L.A., Calvo, A.B., Cordero, A.H., Pisón, R.I., Vilches, D.M., Rosas, A.M., Mendia, G.O., San Juan, L.U., Ugarte, I.Z., Gil-Uriarte, E., Tews, E. & Peter, A. (2018). *Introducing the Robot Security Framework (RSF), a standardized methodology to perform security assessments in robotics*. Paper presented at Symposium on Blockchain for Robotic Systems 2018, Cambridge, Massachusetts, United States. [Online]. Available from: <https://arxiv.org/abs/1806.04042>
27. Yaacoub, J.P.A., Noura, H.N. & Piranda, B. (2023) The internet of modular robotic things: Issues, limitations, challenges, & solutions. *Internet of Things*. 23. Art. № 100886. doi: 10.1016/j.iot.2023.100886
28. Khasawneh, A., Rogers, H., Bertrand, J., Madathil, K. C. & Gramopadhye, A. (2019) Human adaptation to latency in teleoperated multi-robot human-agent search and rescue teams. *Automation in Construction*. 99. pp. 265–277. doi: 10.1016/j.autcon.2018.12.012
29. Valero, A., de la Puente, P. & Rodríguez-Losada, D. (2010) Exploratory analysis of operator: Robot ratio in search and rescue missions. *IFAC Proceedings Volumes*. 43(23). pp. 101–108. doi: 10.3182/20101005-4-RO-2018.00034

Информация об авторах:

Бурев Артем Шамильевич – научный сотрудник лаборатории медицинского приборостроения Центра развития науки, технологий и образования в области обороны и обеспечения безопасности государства Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия). E-mail: artem_bureev@mail.ru. ORCID: 0000-0001-8911-305X.

Жданов Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией медицинского приборостроения Центра развития науки, технологий и образования в области обороны и обеспечения безопасности государства Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия). E-mail: d_s_zhdanov@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8639-0681.

Костелей Яна Валерьевна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории медицинского приборостроения Центра развития науки, технологий и образования в области обороны и обеспечения безопасности государства Национального исследовательского Томского государственного университета; доцент кафедры экономической математики, информатики и статистики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Томск, Россия). E-mail: kosteleyyv@gmail.com. ORCID: 0000-0003-0775-350X.

Голобокова Евгения Васильевна – научный сотрудник лаборатории медицинского приборостроения Центра развития науки, технологий и образования в области обороны и обеспечения безопасности государства Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия). E-mail: jane04@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-7806-8879.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Bureev Artem Sh., researcher, Medical Instrumentation Laboratory, Center for the Development of Science, Technology and Education in the Field of Defense and State Security, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: artem_bureev@mail.ru. ORCID: 0000-0001-8911-305X.

Zhdanov Dmitry S., Cand. Sc. (Engineering), head of the Medical Instrumentation Laboratory, Center for the Development of Science, Technology and Education in the Field of Defense and State Security, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: d_s_zhdanov@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8639-0681.

Kosteley Yana V., Cand. Sc. (Engineering), researcher, Medical Instrumentation Laboratory, Center for the Development of Science, Technology and Education in the Field of Defense and State Security, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation); associate professor, Department of Economic Mathematics, Informatics and Statistics, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (Tomsk, Russian Federation). E-mail: kosteleyyv@gmail.com. ORCID: 0000-0003-0775-350X.

Golobokova Evgeniya V., researcher, Medical Instrumentation Laboratory, Center for the Development of Science, Technology and Education in the Field of Defense and State Security, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: jane04@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-7806-8879.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 4.10.2023; одобрена после рецензирования 26.10.2023; принята к публикации 13.11.2023

The article was submitted 4.10.2023; approved after reviewing 26.10.2023; accepted for publication 13.11.2023