

УДК 628-1/-9

Современные разработки аварийно-спасательных роботов: возможности и принципы их применения*

А.И. МОТИЕНКО¹, А.Л. РОНЖИН², Н.А. ПАВЛЮК³

¹ 199178, РФ, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., 39, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, научный сотрудник. E-mail: anna.gunchenko@gmail.com

² 199178, РФ, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., 39, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, доктор технических наук. E-mail: ronzhin@ias.spb.su

³ 199178, РФ, г. Санкт-Петербург, 14 линия В.О., 39, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, младший научный сотрудник. E-mail: pavlyk.nikita@gmail.com

В работе дается краткий обзор нормативных актов, регламентирующих аварийно-спасательные работы в зонах чрезвычайных ситуаций. Анализируются правила и способы транспортировки пострадавших на предмет возможности применения для этой цели различных типов роботов. Стоит понимать, что основную роль при выборе способа, средств, положений, в которых будут транспортироваться пострадавшие, играют виды травм, их локализация и состояние пострадавших. В ходе подготовки статьи были проанализированы научные работы нескольких последних лет, на основе которых подготовлен обзор современного состояния в области создания аварийно-спасательных роботов. В данном обзоре основное внимание уделяется разработкам гуманоидных и социальных (групповых) роботов, которые предназначены для обнаружения и спасения людей в зоне чрезвычайных ситуаций, а также для работы в условиях, опасных для здоровья человека. Анализируется возможность применения существующих образцов роботов для разных типов работ по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, оказанию первой помощи пострадавшим и их транспортировке. В работе также описаны основные направления, на которых концентрируются ведущие разработчики, а именно создание дистанционно управляемых роботов, ориентированных на работу на различных стадиях ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Кроме того, в обзоре представлена попытка создать роботов, дистанционно управляемых группой людей-операторов и способных осуществлять как силовые воздействия на различные встречающиеся в районе катастрофы объекты, так и тонко координированные действия, связанные с различными видами анализа образцов на месте катастрофы и с оказанием первой помощи людям, пострадавшим во время чрезвычайной ситуации.

* Статья получена 16 июня 2015 г.

Ключевые слова: робототехника, аварийно-спасательные роботы, человеко-машинное взаимодействие, манипуляторы, транспортировка пострадавших, первая помощь, аварийно-спасательные роботы, чрезвычайная ситуация

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-3-147-165

ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящей статьи является анализ современного состояния робототехники, предназначенной для аварийно-спасательных работ, а также анализ возможности и методов применения этой робототехники в чрезвычайных ситуациях. Чрезвычайные ситуации (ЧС) техногенного и природного характера продолжают приносить множество бед, уносят человеческие жизни.

Ликвидация чрезвычайных ситуаций – это аварийно-спасательные и другие неотложные работы, проводимые при возникновении чрезвычайных ситуаций и направленные на спасение жизней и сохранение здоровья людей, снижение ущерба природной среде и материальных потерь, а также на локализацию зон чрезвычайных ситуаций, прекращение действия характерных для них опасных факторов.

Проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ является одной из основных задач Российской единой системы предотвращения чрезвычайных ситуаций (РСЧС) и Гражданской обороны (ГО).

Аварийно-спасательные и другие неотложные работы (АСДНР) – совокупность первоочередных работ в зоне чрезвычайной ситуации, заключающихся в спасении и оказании помощи людям, в локализации и подавлении очагов поражающих воздействий, в предотвращении возникновения вторичных поражающих факторов, в защите и спасении материальных и культурных ценностей [1]. В работе [2] приводится классификация следующих видов АСДНР: поисково-спасательные; горноспасательные; газоспасательные; противодантные работы (на буровых и нефтяных скважинах); аварийно-спасательные работы, связанные с тушением пожаров; работы по ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций; другие работы, перечень которых может быть дополнен решением Правительства Российской Федерации.

Целью любых аварийно-спасательных и других неотложных работ является спасение людей и оказание помощи пострадавшим, локализация аварий и устранение повреждений, препятствующих проведению спасательных работ, а также создание условий для последующего проведения восстановительных работ [2].

Согласно п. 4 ст. 1 Федерального закона «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей» от 22 августа 1995 г. № 151-ФЗ [3], аварийно-спасательные работы – это действия по спасению людей, материальных и культурных ценностей, по защите природной среды в зонах чрезвычайных ситуаций, по локализации чрезвычайных ситуаций и подавлению или доведению до минимально возможного уровня воздействия характерных для них опасных факторов. Аварийно-спасательные работы характеризуются наличием факторов, угрожающих жизни и здоровью проводящих эти работы людей, и требуют специальной подготовки, экипировки и оснащения. На основе перечисленных выше факторов разработана классификация видов аварийно-спасательных работ (табл. 1).

Таблица 1

Классификация видов аварийно-спасательных работ

Аварийно-спасательные работы	Другие неотложные работы, в том числе в очагах поражения, образовавшихся в результате военных действий
<ul style="list-style-type: none"> • Разведка маршрутов движения формирований и участков предстоящих работ • Локализация и тушение пожаров на путях движения формирований и участках работ • Розыск пострадавших и извлечение их из завалов, поврежденных и горящих зданий, загазованных, задымленных и затопленных помещений • Подача воздуха в заваленные защитные сооружения с поврежденной вентиляцией • Вскрытие разрушенных, поврежденных и заваленных защитных сооружений, спасение находящихся там людей • Оказание первой медицинской помощи пострадавшим и эвакуация их в лечебные учреждения • Вывоз (вывод) населения из опасных мест в безопасные районы • Санитарная обработка людей, обеззараживание их одежды, территории, сооружений, техники, воды и продовольствия 	<ul style="list-style-type: none"> • Прокладка колонных путей и устройство проездов (проходов) в завалах и на зараженных участках • Локализация аварий на коммунально-энергетических и технологических сетях • Укрепление или обрушение угрожающих обвалом конструкций зданий (сооружений) на путях движения к участкам проведения работ • При ведении аварийно-спасательных и других неотложных работ в очагах поражения, образовавшихся в результате военных действий, дополнительно проводится: <ul style="list-style-type: none"> – обнаружение, обезвреживание и уничтожение невзорвавшихся боеприпасов в обычном снаряжении; – ремонт и восстановление поврежденных защитных сооружений; – обеззараживание очагов поражения; – сбор материальных ценностей; – обеспечение питанием нуждающегося в нем населения; – утилизация зараженного продовольствия и другие работы, направленные на предотвращение возникновения эпидемии

Большое количество возникающих чрезвычайных ситуаций требует участия в спасательных операциях сил специального назначения МЧС России. Их основу составляют Войска гражданской обороны (ГО) министерства. По Женевской конвенции войска гражданской обороны не принимают участия в военных конфликтах. Их предназначение – оказание помощи мирному населению вне зависимости от национальности и политических взглядов.

При выполнении аварийно-спасательных работ часто возникают ситуации, опасные для жизни человека. Свести к минимуму степень риска для спасателей позволяет использование так называемых безлюдных технологий.

Среди множества современных робототехнических средств особое место занимают мобильные подвижные роботы. Широкий спектр их функциональных возможностей, постоянная готовность к внезапному применению делают мобильных роботов незаменимыми для служб экстренного реагирования.

В ноябре 2014 года на заседании Коллегии МЧС России [4] были рассмотрены вопросы переоснащения подразделений МЧС России современными

ми техническими средствами и техникой до 2017 года, а также использования в пожарно-спасательных подразделениях робототехнических комплексов, беспилотных летательных аппаратов и дальнейшего развития робототехники и технологий ее применения.

На данный момент в подразделениях МЧС России на вооружении находятся наземные, подводные и воздушные робототехнические комплексы различной номенклатуры и целевого предназначения [5]. Так, в Ногинском спасательном центре для разминирования используется высокотехнологический робототехнический комплекс MV-4 (многофункциональный механический комплекс по разминированию противопехотных мин) [6]. В отрядах «Госакваспас» и «Центроспас» проводятся работы с использованием подводных робототехнических комплексов.

Также в подразделениях МЧС России применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с входящими в них летательными аппаратами самолетного, вертолетного и мультикоптерного типа [6].

Рынок робототехники в России существует и развивается уже более 10 лет. Современные разработки применяются в разных областях: от социально-бытовой до военно-технической как в штатных ситуациях, так и в экстремальных. Робототехническое оборудование используется при проведении аварийно-спасательных работ, в медицине, в ходе боевых действий и антитеррористических операций, в разведке, охране, при разминировании и обеспечивает высокую эффективность проводимых работ и максимальную безопасность здоровью и жизни человека.

В некоторых ситуациях человек может оказаться бессилён, если возникает большая угроза не только гибели пострадавших, но и провала всей операции. Решением таких проблем может стать создание робота, предназначенного для транспортировки пострадавших при ЧС, а также раненых на поле боя. Но для этого необходимо знать правила и способы транспортировки пострадавших. Данному вопросу посвящен следующий раздел.

1. АНАЛИЗ ПРАВИЛ И СПОСОБОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОСТРАДАВШИХ

Основными мероприятиями при транспортировке пострадавших являются следующие:

- определение способа транспортировки;
- подготовка пострадавших;
- подготовка специальных и подручных транспортных средств;
- выбор маршрута;
- погрузка пострадавших в транспортные средства;
- обеспечение безопасности пострадавших и спасателей при транспортировке;
- преодоление препятствий, контроль над состоянием пострадавших, организация отдыха.

Ведущую роль при выборе способа, средств, положений, в которых будут транспортироваться пострадавшие, играют виды травм, их локализация, состояние людей, характер заболевания.

Не менее важным элементом транспортировки является выбор оптимальной позы пострадавших. Она должна определяться с учетом травмы и состояния пострадавшего (табл. 2) [7].

Таблица 2

Оптимальные виды транспортировки пострадавших в зависимости от травмы

Вид травмы	Положение
Сотрясение головного мозга	На спине
Травмы передней части головы и лица	На спине
Повреждение позвоночника	На спине
Переломы костей таза и нижних конечностей	На спине
Шоковое состояние	На спине
Травмы органов брюшной полости	На спине
Травмы груди	На спине
Травмы нижних конечностей	На спине, с валиком под травмированной ногой
Острые хирургические заболевания (аппендицит, прободная язва, ущемленная грыжа)	На спине
Кровопотеря	На животе с валиком под грудью и головой
Травмы спины	На животе или правом боку
Травмы затылочной части головы	На животе
Травмы шеи	Положение полусидя с опущенной вперед головой
Ампутированная верхняя конечность	Сидя с поднятой вверх рукой
Травмы глаза, груди, дыхательных путей	Сидя
Травмы верхних конечностей	Сидя
Ушибы, порезы, ссадины	Сидя
Травмы спины, ягодиц, задней поверхности ног	На животе
Травмы плечевого пояса	Сидя

Транспортировка должна осуществляться бережно, чтобы не усилить страдания пострадавшего, так как усиление боли не только ухудшает его общее состояние, но и может стать причиной развития посттравматического шока. Разрабатываемый робот-санитар должен учитывать все особенности, связанные с транспортировкой.

2. АНАЛИЗ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОСТРАДАВШИХ

Роботы способны быстро действовать в непредсказуемой и опасной среде. Их системы машинного зрения, связи и движения работают в самых напряженных условиях (задымленность, пыль и огонь в зоне бедствия). Сей-

час роботы-спасатели чаще всего применяются в чрезвычайных ситуациях геологического происхождения. Большое число передовых разработок посвящено именно созданию роботов, перспективных при ликвидации последствий землетрясений. В ходе нашего исследования были проанализированы научные работы последних пяти лет, основное внимание в которых уделено разработкам гуманоидных и социальных (групповых) роботов, предназначенных для обнаружения и спасения людей в зоне чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также для работы в условиях, опасных для здоровья человека. Далее детально рассмотрено несколько моделей и прототипов телеуправляемых и автономных робототехнических комплексов.

Робот «Перевертыш». В 2012 году студентами НИ ИрГТУ [8] на базе конструкторского бюро «Импульс» в рамках Второго международного молодежного промышленного форума «Инженеры будущего-2012» была представлена модель робота «Перевертыш». Данный робот предназначен для поиска и транспортировки людей, пострадавших в природных и техногенных катастрофах, для тушения пожаров, перевозки различных грузов, выполнения строительно-монтажных работ и дистанционной диагностики параметров места ЧС. По утверждению авторов разработки, особенность данной модели заключается в том, что робот может перевернуться и выполнять свои функции в таком положении, а также перемещаться по различным типам ландшафта. Также, по утверждению разработчиков, модель робота может быть оснащена различным сменным оборудованием: грузовыми захватами, дисковыми пилами, средствами тушения очагов пожара и т. д.

Робот потенциально будет способен перемещаться со скоростью 12 км/ч в любом положении и выполнять разведку местности, его грузоподъемность составит 100 кг. При этом, по утверждению разработчиков, максимальный преодолеваемый уклон – 50...60°, тогда как у аналогов он составляет – до 30°.

Проект ICARUS. Проект ICARUS ориентирован на развитие беспилотных технологий поиска и спасения для обнаружения, локализации и спасения людей. Дистанционно управляемые аппараты поиска и спасения выступают в качестве первых разведчиков территории наряду с другими участниками для обеспечения безопасности человеческого персонала.

Основная цель проекта ICARUS – применение инновационных технологий для повышения эффективности управления ликвидацией последствий катастрофы и, таким образом, для уменьшения риска причинения вреда и последствий этого вреда для граждан [9].

Участвующая в проекте ICARUS бельгийская команда скорой помощи и поддержки (B-FAST) сформулировала свои требования о необходимости двух типов автоматизированных платформ в операциях по поиску и спасению:

- малое беспилотное наземное транспортное средство (БНТС), способное проникать в разрушенные здания для поиска пострадавших;

- большое беспилотное наземное транспортное средство, которое может быть использовано в качестве мобильной базы с широкими возможностями зондирования, передачи собранных данных операторам для повышения их ситуационной осведомленности. Важнейшим требованием является то, чтобы это транспортное средство могло передвигаться по пересеченной местности. Также большое БНТС служит базовой платформой для малого БНТС, а также

для беспилотных летательных аппаратов (БЛА), что позволит исследовать большие площади в короткие сроки.

Управление роботами для поиска и спасения может быть организовано как индивидуальное, так и совместное, при этом они должны выполнять высокоуровневые команды, получаемые от базовой станции, и ориентироваться в автономном и полуавтономном режиме.

Роботы должны быть связаны с базовой станцией и друг с другом с помощью беспроводной самоорганизующейся когнитивной сети узлов мобильной связи, которая адаптируется к местности. Они должны быть оснащены датчиками, которые обнаруживают присутствие человека, а также будут оснащены широким набором датчиков других типов. На базовой станции данные обрабатываются и сопоставляются с географической информацией, тем самым повышая ситуационную осведомленность персонала, ведущего работу на месте.

Использование таких (полу)автономных наземных транспортных средств для поисково-спасательных операций будет иметь ряд преимуществ: исследование и сбор данных без риска для жизни людей; раннее обнаружение опасности; динамическое планирование траектории движения. Перечисленные преимущества достигаются за счет комплексного применения в проекте ICARUS большого и маленького БНТС совместно с БПЛА, а также внедрения в робототехнические комплексы различных типов бесконтактных сенсоров. Кроме того, полуавтоматическая работа на основе удаленной поддержки опытного спасателя позволяет расширить область решаемых задач и эффективность таких комплексов.

Большое БНТС будет обладать возможностью преодолевать серьезные препятствия и большие расстояния за сравнительно короткое время. Планируется, что максимальная скорость составит 25 км/ч. Таким образом, малое транспортное средство может быть доставлено очень быстро и близко к потенциальному местонахождению жертв. Благодаря небольшому размеру и весу оно может быть использовано для изучения узких мест (например, проходов между обломками рухнувшего здания), не травмируя людей и не нанося дальнейшего ущерба зданию.

Мощный манипулятор, установленный на большом БНТС, может быть использован оператором для удаления больших препятствий, которые могут блокировать путь транспортному средству, а также для подъема предметов, если пострадавший погребен под ними. Манипулятор будет спроектирован в виде 6-осевой руки, которая сможет поднимать до 250 кг. Таким образом, удаленное присутствие (телеприсутствие) оператора не ограничивается получением информации от датчиков или манипулированием мелкими предметами, как в обычных подходах, а расширено до перемещения крупных объектов. Предполагается использование интуитивно понятного пользовательского интерфейса с применением экзоскелета со встроенной обратной связью, что позволит легко управлять манипулятором.

Малое БНТС состоит из робота Вэнгарда, названного в честь разработчика – Аллена Вэнгарда. Эта роботизированная система будет оснащена силовой установкой, позволяющей ему маневрировать в очень неструктурированных средах, таких как разрушенные здания.

Из-за ограничений по размеру и весу малое БНТС не может быть оснащено ни сложными датчиками, ни мощным бортовым компьютером. Поэтому его автономные возможности будут ограничены простейшими задачами. На малом БНТС будет установлена видеокамера, поэтому телеоператор сможет получить визуальную информацию о месте катастрофы.

Таким образом, проект ICARUS предлагает несколько новых решений в области беспилотных наземных транспортных средств для поисково-спасательных операций.

Робот-санитар BEAR (Battlefield Extraction-Assist Robot). Разработанный американской компанией Vecna Technologies Cambridge Research Laboratory, робот предназначен для выполнения аварийно-спасательных работ на поле боя, а также при ликвидации последствий землетрясений или других чрезвычайных ситуаций [10]. Машина собственными силами может эвакуировать человека. Первые модели были построены в 2004 году. Рост робота составляет 1,8 м. Максимальный переносимый вес составляет 270 кг. Сохранять равновесие и не ронять при этом свой груз роботу позволяет система гироскопов и двигателей, управляемых компьютером.

Первые версии BEAR дистанционно управлялись оператором, который мог видеть и слышать все, что происходит в пространстве вокруг робота, на основе встроенных видеокамер и микрофонов. Разработки в области искусственного интеллекта BEAR дали роботу возможность обрабатывать много-модальные команды, данные оператором, такие как «Иди туда» или «Подбери ту коробку». Если по каким-то причинам робот не в состоянии выполнить команду оператора, то он запрограммирован так, чтобы попросить оператора о помощи для выполнения задачи.

Робот может также дистанционно управляться солдатом через устройство, известное как перчатка iGlove, разработанное компанией AnthroTronix и позволяющее солдату с помощью простых жестов рукой командовать BEAR. Такой аппарат дистанционного управления роботом может крепиться к карабину М-4 так, чтобы солдаты могли продолжать управлять BEAR, не выпуская свое оружие.

Робот BEAR оснащен гидравлическим приводом, который дает ему возможность поднять до 270 кг. Гидравлический привод управляется клапанами, контролирующими давление в гидравлических цилиндрах, и выключается, когда роботу нужно двигаться на гусеничном ходу. Гусеничные движители BEAR имеют электрический привод. Аккумуляторная батарея снабжает их энергией на срок до одного часа. Дальнейшее усовершенствование аккумуляторного блока должно удвоить емкость батареи и дать возможность BEAR вдвое увеличить возможное время езды на гусеничном ходу.

Текущая версия робота оснащена ИК-портом, приборами ночного видения и оптическими камерами, а также микрофоном. В дальнейшем планируется включение датчиков давления и тактильных сенсоров (Touch sensors) в руки робота, а также химических и биологических сенсоров обнаружения человека.

Руки робота очень сильны, однако они также могут совершать достаточно точные движения, чтобы взять куриное яйцо, не раздавив и не разбив его. Технология динамического балансирования дает ему возможность сохранять равновесие в любом положении, даже неся тяжелые объекты.

Последняя представленная версия 7.2 была во многом улучшена по сравнению с первоначальной. Новый робот обладает взрывозащищенными и огнестойкими протекторами и батареями. Во многом улучшена маневренность – обновлена гусеничная база с системой динамического баланса для повышения мобильности, а также усилена прочность BEAR – стальная рама в 4 раза прочнее, чем ее алюминиевая предшественница. Робот в состоянии поднять до 270 кг, тогда как предыдущие версии были способны поднять вес в 180 кг. Кроме того, гидравлические трубопроводы и элементы электропитания усилены и защищены от внешнего воздействия стальным каркасом.

Робот BEAR был протестирован военными США. В 2010 году солдаты работали с ним для разработки тактики его использования, а также проверили его эффективность в боевых условиях. В ходе дальнейших усовершенствований будет произведена замена стальной рамы робота BEAR на титановую. Характерными изменениями в модели следующего поколения BEAR (версия 8) станет существенное уменьшение веса, а также увеличение количества сенсоров различных типов и расширение диапазона выполняемых им задач. Разработчики Vecna работают над улучшением способности BEAR обрабатывать высокоуровневые команды, над улучшением его навигационной системы и его взаимодействия с окружающей средой [10].

Рассмотрим области применения и типы задач, решаемых этим роботом. Одной из задач робота BEAR является вынос раненого человека из опасной окружающей среды в место, где медик без риска для жизни может оценить тяжесть полученных повреждений тела. Размеры, оснащение и характеристики робота, в том числе небольшая ширина, позволяют выполнять задачи как вне, так и внутри помещений, например, проходить через двери и подниматься по лестнице.

Другое применение BEAR: поиск и спасение, транспортировка поставок, устранение препятствий, подъем тяжелых предметов, обработка опасных материалов, разведка, обследование мин и самодельных взрывных устройств. В мирное время робот BEAR предназначен для спасения людей в шахте; в районах, загрязненных биологическими, ядерными или химическими отходами; в небезопасном здании после землетрясения, пожара, оползней или взрыва.

У робота может быть промышленное и коммерческое применение, такое как подъем и безопасное перемещение тяжелого инвентаря. В здравоохранении BEAR может безопасно переносить тяжелых пациентов в больницах, помогать людям с ограниченными возможностями и пожилым людям.

Робот-спасатель SHIMP. Центр робототехники при Университете Карнеги – Меллона, штат Пенсильвания, разрабатывает робота-спасателя SHIMP (CMU Highly Intelligent Mobile Platform) с повышенной устойчивостью для выполнения сложных задач в опасных для человека условиях окружающей среды [11].

SHIMP выполнен в гуманоидном форм-факторе. Его высота составляет 1,6 м, масса – 181 кг. Робот оснащен руками с отставленными «большими пальцами». Всего на руках у SHIMP по три пальца, при помощи которых он может вращать руль автомобиля и использовать инструмент. Руки и ноги робота также оснащены гусеницами с резиновым покрытием, с помощью которых он и передвигается, как правило, с использованием для стабильности всех четырех конечностей. При необходимости SHIMP в состоянии двигать-

ся лишь на двух конечностях. Также отмечено, что вместо того, чтобы создавать машину, которой нужно было бы тщательно сбалансировать себя, перед тем как перешагнуть мусор (обломки), необходим робот, который способен опуститься на гусеницы и переехать этот мусор. Строение, сила и ловкость робота позволяют ему эффективно работать в таких сложных условиях. Путем поддержания статической, а не динамической устойчивости робота устраняется необходимость комплексного контроля его положения.

СНМР генерирует полную трехмерную модель окружающего пространства, используя различные датчики, встроенные в его голову, и передает эту модель человеку-оператору для получения без задержек ситуационной осведомленности последнего.

Он способен преодолевать сложные препятствия, карабкаться по вертикальным стенам, а также по приставной и пожарной лестнице, цепляясь за перекладины крюками. Развиваемый манипуляторами крутящий момент достаточно велик, чтобы робот смог самостоятельно закрыть вентиль, не поддающийся усилиям одного человека.

СНМР запрограммирован таким образом, что может без особых проблем перемещаться самостоятельно, сохраняя равновесие и избегая столкновений с другими объектами. В случае особой необходимости управление роботом может перехватывать оператор.

Робот HUBO. Человекоподобный робот с открытой платформой, HUBO, разрабатывается совместными усилиями нескольких групп [12]. Помимо KAIST, в его создании принимают участие многочисленные коллективы исследователей из США. Свой вклад внесли частный Университет Дрекселя, общественный Университет Пердью, Технологический институт Джорджии, университеты штатов Делавэр, Огайо, Индиана и Колумбийский университет. Создаваемая для конкурса, проводимого Агентством передовых оборонных исследовательских проектов США (Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA), модель получила приставку с названием DRC (DARPA Robotics Challenge).

В представленном разработчиками деморолике робот способен пользоваться различной техникой, подручными инструментами, оценивать обстановку и расчищать себе путь. Для повышения устойчивости робот может временно отказаться от прямоходящего режима и перейти на ходьбу на четвереньках. Для этого тыльная сторона дистальной части манипулятора сделана широкой и пружинящей. Робот также должен быть способен подниматься по лестнице [12].

Аппаратная платформа DRC-HUBO базируется на переработанной модели HUBO2+ – человекоподобного робота, разработанного фирмой KAIST и Rainbow, Inc. Разработанная система позволяет трем операторам сообща управлять 32 степенями свободы робота в различных сложных мобильных манипуляционных задачах, используя один унифицированный подход [13]. Конструкция рук робота была сделана более подвижной, что требуется для управления транспортным средством с помощью этого робота.

Важным моментом является способ дистанционного управления роботом. Робот HUBO точно копирует любые движения, выполняемые оператором на другом аналогичном роботе.

Робот Atlas. Atlas – робот-гуманоид, разрабатываемый компанией Boston Dynamics при финансировании агентства DARPA. Робот высотой 1,8 м предназначен для выполнения разнообразных поисковых и аварийно-спасательных работ и был представлен общественности 11 июля 2013 года.

Разработка робота Atlas ведется с целью обеспечения помощи аварийно-спасательным службам в поисково-спасательных операциях, а также для выполнения таких задач, как отключение систем блокирования клапанов безопасности, открывание дверей и эксплуатация оборудования, работающего в условиях, опасных для здоровья человека [14].

Робот базируется на ранее разработанной компанией модели человекоподобного робота PETMAN и имеет туловище, голову и четыре конечности с гидравлическими приводами. Вес робота Atlas составляет 150 кг. Вся совокупность его движений производится с помощью 28 приводов. Робот имеет подсветку голубыми светодиодами. Atlas оснащен двумя системами технического зрения – лазерным панорамным локатором (лидаром) и стереовидеокамерами, которые контролируются бортовым компьютером [15].

Atlas способен перемещаться по пересеченной местности и подниматься самостоятельно, используя свои руки и ноги, хотя прототип 2013 года был подключен к внешнему источнику питания, чтобы поддерживать стабильность. В условиях лабораторных испытаний к роботу подходит несколько кабелей и шлангов. По кабелям подаются электроэнергия и команды от компьютера, а по шлангам доставляется жидкость для работы гидравлики. В октябре 2013 года Boston Dynamics представили видео, на котором Atlas смог выдержать возмущающее воздействие внешнего объекта (удар массивного отклоненного маятника – гири на подвесе), балансируя на одной ноге, и остаться в вертикальном положении.

В январе 2015 года была представлена обновленная модель робота [16]. Модернизированный Atlas был обновлен практически полностью (на 75 %) – от оригинального дизайна остались только голени и ступни. Использовались более легкие материалы, чтобы встроить тяжелую аккумуляторную батарею и новую насосную систему, при этом лишь незначительно увеличив массу робота.

Высота обновленного Atlas составляет 1,88 м (6'2"), а вес 156,5 кг (245 фунтов). Наибольшие изменения претерпели источник питания и насос (теперь робот сможет передвигаться, не полагаясь на трос с проводами), робот оснащен литий-ионным аккумулятором 3,7 кВт с возможностью работы в течение одного часа при выполнении задач смешанного типа, включающих ходьбу, стояние, использование различных инструментов и другие. Эти нововведения позволяют управлять насосом переменного давления, который позволяет увеличить коэффициент полезного действия искусственных гидравлических мышц робота. Другие основные обновления направлены на повышение эффективности, ловкости, устойчивости [17, 18]:

- регулируемое положение плеч и рук позволяет увеличить рабочее пространство перед роботом и дает ему возможность видеть свои руки в движении, обеспечивая тем самым дополнительную обратную связь от оптического датчика к оператору;

- новые предплечья оснащены электрическим приводом, что увеличит силу, ловкость и диапазон изменения прилагаемой силы;

- добавление дополнительной степени свободы в запястье означает, что робот будет в состоянии повернуть ручку двери, вращая ее запястьем;
- три встроенных бортовых компьютера используются для постановки и планирования задач, также встроенный в голову беспроводной маршрутизатор дает доступ к различным коммуникациям;
- модернизированные приводы в бедрах, коленях и спине дают роботу большую силу [19];
- предусмотрена возможность удаленного отключения робота в целях безопасности;
- благодаря новому насосу Atlas стал производить намного меньше шума, чем раньше.

На что способен новый прототип, выяснится в ходе конкурса DARPA Robotics Challenge (DRC), который пройдет в июне 2015 года. Робот будет поставляться с «эмулятором батареи» – временно установленным тренировочным инструментом, который имитирует работу реального аккумулятора. Это позволит переключать режимы между постоянным напряжением при обычной практике и дозированно изменяемым, чтобы смоделировать фактический срок службы батареи. Во время испытания будут имитироваться помехи беспроводной связи – это придаст обстановке, в которой действует робот, больше сходства с реальностью и поможет проверить способность таких машин действовать хотя бы отчасти автономно.

Роботы-спасатели и «роевой подход». Применение роевых принципов в робототехнике представляет собой новый подход к координации множества простых в своем устройстве роботов. Предполагается, что желаемое коллективное поведение возникает из взаимодействия роботов между собой и их взаимодействия с окружающей средой.

Относительно простые правила индивидуального поведения могут создавать сложное организованное поведение всего роя. Ключевым моментом является взаимодействие между членами группы, которое создает систему постоянной обратной связи. Поведение роя включает постоянную смену участников, взаимодействующих друг с другом, а также поведение всей группы в целом.

В отличие от просто распределенных робототехнических систем, роевая робототехника подразумевает *большое* количество роботов, взаимодействующих с использованием только локальной связи. Такая локальная связь может быть создана, например, на базе беспроводных систем передачи данных в радиочастотном или инфракрасном диапазонах.

В Массачусетском технологическом институте (MIT) ведутся разработки собственных технологий для роевых комплексов [20]. На данном этапе экспериментальных исследований была решена задача реконфигурации построения роботов. В начале эксперимента роботам необходимо было сбиться в беспорядочную толпу, а потом образовать четкое кольцо. Кроме того, роботы решали задачу перемещения на место подзарядки при низком уровне заряда их блоков питания [21, 22].

В качестве примеров применения роя роботов является спасение людей. Роботы, используемые для спасения при землетрясениях, могут быть трех вариантов: тысячи разведчиков размером с насекомое могут проникнуть под обломки и найти выживших, несколько десятков малых роботов могут подо-

браться к месту и решить проблему расчистки и выноса обломков, и несколько больших роботов-подъемников и роботов-носильщиков будут непосредственно осуществлять операцию спасения.

3. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ И МЕТОДОВ ПРИМЕНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ РОБОТОВ НА ПРИМЕРЕ НАИБОЛЕЕ ПРОДВИНУТЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧС

При возникновении ЧС в соответствии с нормативными документами создается временный штаб по ликвидации и составляется предварительный план мероприятий.

- Предварительная разведка маршрутов движения формирований и участков предстоящих работ и уточнение ситуации в районе ЧС, для чего сначала отправляются беспилотные летательные аппараты и производится предварительная классификация АСДНР согласно табл. 1 (здесь мы пока не будем рассматривать поисково-спасательные и горноспасательные работы).

- Дальнейшая наземная разведка и прокладка колонных путей и устройство проездов (проходов) в завалах и на зараженных участках, а также локализация и тушение пожаров на путях движения формирований и участках работ, для чего в район ЧС отправляются беспилотные гусеничные платформы типа роботов ICARUS, снабженные необходимыми манипуляторами и инструментом, которые производят анализ радиационного и химического загрязнения и задымления воздуха на местности, тушат очаги возгорания и расчищают путь для продвижения других видов аварийной техники.

- Локализация аварий на коммунально-энергетических и технологических сетях, для чего совместно с роботами типа ICARUS направляются роботы типа SHIMP, обладающие способностью пролезать через завалы и люки, карабкаться по пожарным лестницам, открывать замки и двери, закрывать предохранительные клапаны и заслонки, проводить ремонт и восстановление поврежденных защитных сооружений, а также обеззараживание очагов поражения.

- Розыск пострадавших и извлечение их из завалов, поврежденных и горящих зданий, загазованных, задымленных и затопленных помещений; санитарная обработка людей, обеззараживание их одежды, территории, сооружений, техники, воды и продовольствия, для чего направляются роботы типа ATLAS, HUBO и BEAR.

- Оказание первой медицинской помощи пострадавшим и эвакуация их в лечебные учреждения, для чего используются роботы типа HUBO и BEAR.

Последняя задача во многом сложнее предыдущих. Это обусловлено тем, что метод транспортировки пострадавшего зависит от его травмы и общего физического состояния (см. табл. 2). Робот не в состоянии оказать медицинскую помощь. Даже если человек в сознании, он не всегда адекватно может оценить свое состояние; если же человек без сознания, необходимо в любом случае определить, каким образом его можно транспортировать. Для этого робот должен быть оборудован необходимыми датчиками и видеокамерами для обратной связи с оператором. На месте оператора либо рядом с ним должен находиться квалифицированный медицинский работник, способный

по полученным данным оценить состояние пострадавшего и определить способ его транспортировки. Как вариант для решения этой задачи можно рассмотреть технологию, использованную при разработке робота DRC-HUBO, который способен точно копировать любые движения, выполняемые оператором на другом аналогичном роботе. Это позволило бы осмотреть пострадавшего более детально.

Согласно нашим сведениям, отечественных робототехнических средств, способных решать полный комплекс задач по ликвидации, сформулированный выше, не имеется. При этом отметим, что в настоящее время мероприятия по предварительной разведке маршрутов движения формирований можно выполнять на базе отечественной техники с помощью различного класса беспилотных летающих аппаратов отечественного производства [23–26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из проведенного обзора следует, что в области создания аварийно-спасательных роботов ведущие разработчики концентрируются в основном в следующих направлениях.

1) Создание дистанционно управляемых роботов, ориентированных на работу в первой стадии ликвидации последствий катастроф, т. е. на общую разведку-оценку обстановки на месте катастрофы, расчистку завалов, прокладку проходов и трасс для других роботов и людей-спасателей (проект ICARUS).

2) Создание дистанционно управляемых роботов, действующих на второй стадии ликвидации последствий ЧС. На этом этапе необходимы следующие классы специализированных роботов:

– роботы, ориентированные на проникновение в труднодоступные помещения через лазы и проходы, расчищенные предыдущим классом роботов;

– роботы, способные открывать двери, закрытые на замки, и передвигаться с помощью пожарных лестниц для проведения срочных аварийных работ (проект SHIMP);

– специализированные роботы для оказания первой помощи и транспортировки пострадавших в безопасное место (проект BEAR).

Также делается попытка создать роботов, дистанционно управляемых группой людей-операторов и способных осуществлять как силовые воздействия на различные встречающиеся в районе катастрофы объекты, так и тонко координированные действия, связанные с химическим, биологическим и радиационным анализом образцов на месте катастрофы и с оказанием первой помощи людям, пострадавшим от катастрофы (проект HUBO).

3) Создание роботов, ориентированных в перспективе на полностью автономные действия без участия человека-оператора (проект ATLAS). Оператор в этом случае может лишь выполнять консультативные функции по запросу самого робота.

4) Разработка ориентированных на выполнение определенных аварийно-спасательных задач роевых структур - групп специализированных роботов.

Из приведенного анализа также следует, что на второй стадии ликвидации последствий ЧС необходимо одновременное применение минимум двух различных типов дистанционно управляемых роботов.

В данной работе сделан обзор современного уровня аварийно-спасательной робототехники, обсуждаются возможности передовых образцов роботов ведущих западных и отечественных организаций. Также проведен анализ нормативных актов, регламентирующих аварийно-спасательные работы в зонах чрезвычайных ситуаций. Анализируются правила и способы транспортировки пострадавших на предмет возможности применения для этой цели различных типов роботов. Анализируется возможность применения существующих моделей роботов для разных типов работ по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, транспортировке и оказанию первой помощи пострадавшим. На примере наиболее продвинутых моделей роботов демонстрируются широкие возможности по ликвидации последствий ЧС и оказанию неотложной помощи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность жизнедеятельности: безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера: учебное пособие / В.А. Акимов и др. – М.: Абрис, 2012. – 592 с.
2. Мажуховский Э.И. Аварийно-спасательные и другие неотложные работы // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – Т. 3, № 2. – С. 88–92.
3. Федеральный закон от 22.08.1995 № 151-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148644/ (дата обращения: 09.10.2015).
4. Об утверждении плана реализации госпрограммы «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах» на 2014 год и на плановый период 2015 и 2016 годов [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.ru/docs/15616/> (дата обращения: 09.10.2015).
5. Заседание Коллегии МЧС России, 12 ноября 2014 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mchs.gov.ru/dop/info/smi/news/item/2630187> (дата обращения: 09.10.2015).
6. Военная и специальная робототехника для России: обзор производителей роботов и их продукции [Электронный ресурс]. – URL: <http://sa100.ru/robots2/manufacture/Russia/Obzor/RusMan1.htm> (дата обращения: 22.02.2015).
7. Учебник спасателя / С.К. Шойгу, М.И. Фалеев, Г.Н. Кириллов, В.И. Сычев, В.О. Капканщиков, А.Ю. Виноградов, С.М. Кудинов, С.А. Ножевой, А.Ф. Неживой; под общ. ред. Ю.Л. Воробьева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Краснодар: Советская Кубань, 2002. – 528 с.
8. В НИ ИргТУ создали опытную модель робота «Перевертыш», способного искать людей в завалах при ЧС [Электронный ресурс]. – 2012. – URL: <http://www.istu.edu/news/13598/> (дата обращения: 22.02.2015).
9. Search and rescue robots developed by the European ICARUS project [Electronic resource] / G. De Cubber, D. Serrano, K. Berns, K. Chintamani, R. Sabino, S. Ourevitch, D. Doroftei, C. Armbrust, T. Flemma, Y. Baudoin // Proceedings of 7th International Workshop on Robotics for Risky Environments, St. Petersburg, 1–3 October 2013. – URL: <http://www.fp7-icarus.eu/sites/fp7-icarus.eu/files/publications/Search%20and%20Rescue%20robots%20developed%20by%20the%20European%20ICARUS%20project%20-%20Article.pdf> (accessed: 09.10.2015).
10. Mobile reconfigurable robot: patent US 8106616 B1 / inventors D. Theobald. – N US 12/721,810; appl. date 11.03.2010; publ. date 31.01.2012. – URL: <http://www.google.com/patents/US8106616> (accessed: 09.10.2015).
11. CHIMP, the CMU highly intelligent mobile platform / A. Stentz, H. Herman, A. Kelly, E. Meyhofer, G.C. Haynes, D. Stager, B. Zajac, J.A. Bagnell, J. Brindza, C. Dellin, M. George, J. Gonzalez-Mora, S. Hyde, M. Jones, M. Laverne, M. Likhachev, L. Lister, M. Powers, O. Ramos, D. Rice, J. Schefflee, R. Sidki, J.-S. Valois, J.M. Vande Weghe, M.D. Wagner, C. Wellington. // Journal of Field Robotics. – 2015. – Vol. 32, iss. 2. – P. 209–228.
12. Motion planning and control of ladder climbing on DRC-Hubo for DARPA Robotics Challenge / Y. Zhang, L. Jingru, K. Hauser, H.A. Park, M. Paldhe, C.S.G. Lee, R. Ellenberg, B. Killen, P. Oh, J.H. Oh, L. Jungho, K. Inhyeok // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014), Hong Kong, China, May 31 – June 7, 2014. – Hong Kong: IEEE, 2014. – P. 2086.

13. A General-purpose System for Teleoperation of the DRC-HUBO Humanoid Robot / M. Zucker, S. Joo, M.X. Grey, C. Rasmussen, E. Huang, M. Stilman, A. Bobick, K. Iagnemma, J. Overholt // *Journal of Field Robotics*. – 2015. – Vol. 32, iss. 3. – P. 336–351.
14. Kolawole E. What if this ATLAS shrugged? – DARPA unveils new humanoid robot [Electronic resource] // *Washington Post*. – 2013. – July 12. – URL: <http://www.washingtonpost.com/blogs/innovations/wp/2013/07/12/what-if-this-atlas-shrugged-darpa-unveils-new-humanoid-robot/> (accessed: 09.10.2015).
15. Hornyak T. Be afraid: DARPA unveils terminator-like atlas robot [Electronic resource] // CNET. – 2013. – July 11. – URL: <http://www.cnet.com/news/be-afraid-darpa-unveils-terminator-like-atlas-robot/> (accessed: 09.10.2015).
16. Upgraded atlas robot to go wireless as the stakes are raised for the DARPA robotics challenge finals [Electronic resource] // DARPA: defense advanced research projects agency. – 2015. – January 20. – URL: <http://www.darpa.mil/news-events/2015-01-20> (accessed: 09.10.2015).
17. Optimization-based locomotion planning, estimation, and control design for the atlas humanoid robot [Electronic resource] / S. Kuindersma, R. Deits, M. Fallon, A. Valenzuela, H. Dai, F. Permenter, T. Koolen, P. Marion, R. Tedrake // *Autonomous Robots*. – 2015. – 31 July. – URL: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10514-015-9479-3>. – doi: 10.1007/s10514-015-9479-3 (accessed: 09.10.2015).
18. An architecture for online affordance-based perception and whole-body planning / M. Fallon, S. Kuindersma, S. Karumanchi, M. Antone, T. Schneider, H. Dai, S. Perez-D'Arpino, R. Deits, M. DiCicco, D. Fourie, T. Koolen, P. Marion, M. Posa, A. Valenzuela, Y.P. Kuan-Ting, Shah J.A., Iagnemma K., Tedrake R., Teller S. // *Journal of Field Robotics*. – 2015. – Vol. 32, iss. 2. – P. 229–254.
19. Kuindersma S., Permenter F., Tedrake R. An efficiently solvable quadratic program for stabilizing dynamic locomotion // *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014)*, Hong Kong, China, 31 May – 7 June 2014. – Hong Kong: IEEE, 2014. – P. 2589–2594. – doi: 10.1109/ICRA.2014.6907230.
20. Becker A., Ertel C., McLurkin J. Crowdsourcing swarm manipulation experiments: a massive online user study with large swarms of simple robots // *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014)*, Hong Kong, China, May 31 – June 7, 2014. – Hong Kong: IEEE, 2014. – P. 2825–2830. – doi: 10.1109/ICRA.2014.6907264.
21. Bachrach J., Beal J., McLurkin J. Composable continuous-space programs for robotic swarms // *Neural Computing & Applications*. – 2010. – Vol. 19, iss. 6. – P. 825–847. – doi: 10.1007/s00521-010-0382-8.
22. Lee S.K., McLurkin J. Distributed cohesive configuration control for swarm robots with boundary information and network sensing // *Proceedings IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014)*, Chicago, Illinois, USA, 14–18 September, 2014. – Chicago: IEEE, 2014. – P. 1161–1167.
23. Беспилотный самолет ZALA 421-08M [Электронный ресурс]. – URL: <http://zala.aero/zala-421-08/> (дата обращения: 09.10.2015).
24. Разработка сетевидной интеллектуальной системы адаптивного планирования действий группы автономных беспилотных аппаратов для согласованного выполнения поставленных задач / Д.С. Будаев, Г.Ю. Вошук, А.Н. Мочалкин, В.С. Травин // *Материалы 10 Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления» (Таганрог–Домбай, 2015)*. – Ростов н/Д.: ЮФУ, 2015. – Т. 1. – С. 166–172.
25. БЛА Т23Э: беспилотный летательный аппарат [Электронный ресурс]. – URL: http://www.enics.ru/detail?product_id=20 (дата обращения: 10.10.2015).
26. Проектирование манипуляторов для работы в экстремальных условиях / В.Н. Шашок, С.И. Филиппов, Д.В. Багаев, А.Н. Малышев, А.А. Кобзев, В.Н. Умнов // *Материалы 10 Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления» (Таганрог–Домбай, 2015)*. – Ростов н/Д.: ЮФУ, 2015. – Т. 1. – С. 267–278.

Мотиенко Анна Игоревна, научный сотрудник группы информационных технологий в образовании Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук. E-mail: anna.gunchenko@gmail.com

Ронжин Андрей Леонидович, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией автономных робототехнических систем Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук. Имеет более 200 публикаций. E-mail: ronzhin@iias.spb.su

Павлюк Никита Андреевич, младший научный сотрудник группы информационных технологий в образовании Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук. E-mail: pavlyk.nikita@gmail.com

Modern developments of rescue robots: possibilities and principles of their application*

A.I. MOTIENKO¹, A.L. RONZHIN², N.A. PAVLYUK³

¹ St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia. E-mail: anna.gunchenko@gmail.com

² St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia, Ph.D., Dr. Sci. E-mail: ronzhin@iias.spb.su

³ St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia. E-mail: pavlyk.nikita@gmail.com

The paper gives a brief overview of the normative acts governing rescue work in emergency zones. Rules and ways of transportation of the victims regarding a possibility of applying various types of robots to do this are analyzed. Types of injuries, their location and the condition of victims are important in choosing ways, means and positions of transportation of victims. This review focuses on the development of humanoid and social (group) robots which are designed to locate and rescue people in the area of emergency situations as well as to work in conditions that are hazardous to human health. A possibility of using the existing models of robots for different types of work to eliminate the consequences of emergency situations, to render first-aid treatment to the victim and to transport them is analyzed. The paper also describes the main areas on which leading designers were concentrated, namely, the development of remote-controlled robots designed to work at various stages of disaster management. An attempt to create robots remote-controlled by a group of operators that can carry both a force action on various objects occurring in the area of disaster and accurately coordinated actions related to different types of sample analysis at the crash site and giving first aid to people affected by the emergency is presented in the review.

Keywords: robotics, search-and-rescue, human-machine interaction, manipulators, transportation of the injured, first aid, rescue work, emergency

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-3-147-165

REFERENCES

1. Akimov V.A., Vorob'ev Ju.L., Faleev M.I. et al. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: bezopasnost' v chrezvychainykh situatsiyakh prirodnogo i tekhnogenogo kharaktera* [Health-and-safety. Safety in emergency situations of natural and technogenic character]. Moscow, Abris Publ., 2012. 592 p.
2. Mazhukhovskii E.I. *Avariino-spasatel'nye i drugie neotlozhnye raboty* [Rescue and other emergency work]. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti – Technologies of Civil Safety*, 2006, vol. 3, no. 2, pp. 88–92.
3. RF Federal law "On rescue services and status of rescuers" of August 22, 1995 N 151-FZ. (In Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148644/ (accessed 09.10.2015)

* Received 16 June 2015.

4. On approval of the state program "The protection of the population and territories from emergency situations, fire safety and security on water bodies" in 2014 and the planned period 2015 and 2016). (In Russian). Available at: <http://government.ru/docs/15616/> (accessed 09.10.2015)
5. The meeting of the Board of Ministry of emergency situations, 12 November 2014. (In Russian). Available at: <http://www.mchs.gov.ru/dop/info/smi/news/item/2630187> (accessed 09.10.2015).
6. *Voennaya i spetsial'naya robototekhnika dlya Rossii. Obzor proizvoditelei robotov i ikh produktsii* [A military and express robotics for Russia. Review of robot manufacturers and their products]. Available at: <http://sa100.ru/robots2/manufacturer/Russia/Obzor/RusMan1.htm> (accessed 09.10.2015)
7. Shoigu S.K., Faleev M.I., Kirillov G.N., Sychev V.I., Kapkanshchikov V.O., Vinogradov A.Yu., Kudinov S.M., Nozhevoi S.A., Nezhivoi A.F. *Uchebnik spasatelya* [The textbook of the rescuers]. 2nd ed., rev. and enl. Krasnodar, Sovetskaya Kuban' Publ., 2002. 528 p.
8. *V NI IrGTU sozdali opytную model' robota «Perevertysk», sposobnogo iskat' lyudei v zavalakh pri ChS* [In Irkutsk national research technical university created a pilot model of the "Perevertysk" robot capable to look for people in blockages at an emergency]. Available at: <http://www.istu.edu/news/13598/> (accessed 09.10.2015)
9. De Cubber G., Serrano D., Berns K., Chintamani K., Sabino R., Ourevitch S., Doroftei D., Armbrust C., Flamma T., Baudoin Y. Search and rescue robots developed by the european ICARUS project. *Proceedings of 7th International Workshop on Robotics for Risky Environments*, St. Petersburg, 1–3 October 2013. Available at: <http://www.fp7-icarus.eu/sites/fp7-icarus.eu/files/publications/Search%20and%20Rescue%20robots%20developed%20by%20the%20European%20ICARUS%20project%20-%20Article.pdf> (accessed 09.10.2015)
10. Theobald D., inventors. *Mobile reconfigurable robot*. Patent US 8106616 B1. no. US 12/721,810, 2012. Available at: <http://www.google.com/patents/US8106616> (accessed 09.10.2015)
11. Stentz A., Herman H., Kelly A., Meyhofer E., Haynes G.C., Stager D., Zajac B., Bagnell J.A., Brindza J., Dellin C., George M., Gonzalez-Mora J., Hyde S., Jones M., Laverne M., Likhachev M., Lister L., Powers M., Ramos O., Rice D., Scheifflee J., Sidki R., Valois J.-S., Vande Weghe J.M., Wagner M.D., Wellington C. CHIMP, the CMU Highly Intelligent Mobile Platform. *Journal of Field Robotics*, 2015, vol. 32, no. 2, pp. 209–228.
12. Zhang Y., Jingru L.; Hauser K., Park H.A., Paldhe M., Lee C.S.G., Ellenberg R., Killen B., Oh P., Jun Ho Oh, Jung Ho L., Inhyeok K. Motion planning and control of ladder climbing on DRC-Hubo for DARPA Robotics Challenge. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014)*, Hong Kong, China, May 31 – June 7, 2014, pp. 2086.
13. Zucker M. Joo S., Grey M.X., Rasmussen C., Huang E., Stilman M., Bobick A., Iagnemma K., Overholt J. A General-purpose System for Teleoperation of the DRC-HUBO Humanoid Robot. *Journal of Field Robotics*, 2015, vol. 32, no. 3, pp. 336–351.
14. Kolawole E. What if this ATLAS shrugged? – DARPA unveils new humanoid robot. *Washington Post*, 2013, 12 July. Available at: <http://www.washingtonpost.com/blogs/innovations/wp/2013/07/12/what-if-this-atlas-shrugged-darpa-unveils-new-humanoid-robot/> (accessed 09.10.2015)
15. Hornyak T. Be afraid: DARPA unveils terminator-like atlas robot. *CNET*, 2013, 11 July. Available at: <http://www.cnet.com/news/be-afraid-darpa-unveils-terminator-like-atlas-robot/> (accessed 09.10.2015)
16. Upgraded atlas robot to go wireless as the stakes are raised for the DARPA robotics challenge finals. *DARPA: Defense advanced research projects agency*, 2015, 20 January. Available at: <http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2015/01/20.aspx> (accessed 09.10.2015)
17. Kuindersma S., Deits R., Fallon M., Valenzuela A., Dai H., Permenter F., Koolen T., Marion P., Tedrake R. Optimization-based locomotion planning, estimation, and control design for the atlas humanoid robot. *Autonomous Robots*, 2015, 31 July. doi: 10.1007/s10514-015-9479-3. Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10514-015-9479-3> (accessed 09.10.2015)
18. Fallon M., Kuindersma S., Karumanchi S., Antone M., Schneider T., Dai H., Perez-D'Arpino S., Deits R., DiCicco M., Fourie D., Koolen T., Marion P., Posa M., Valenzuela A., Kuan-Ting Y.P., Shah J.A., Iagnemma K., Tedrake R., Teller S. An architecture for online affordance-based perception and whole-body planning. *Journal of Field Robotics*, 2015, vol. 32, no. 2, pp. 229–254.
19. Kuindersma S., Permenter F., Tedrake R. An efficiently solvable quadratic program for stabilizing dynamic locomotion. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014)*, Hong Kong, China, 31 May – 7 June 2014, pp. 2589–2594. doi: 10.1109/ICRA.2014.6907230

20. Becker A., Ertel C., McLurkin J. Crowdsourcing swarm manipulation experiments: a massive online user study with large swarms of simple robots. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014)*, 31 May – 7 June 2014, pp. 2825–2830. doi: 10.1109/ICRA.2014.6907264

21. Bachrach J., Beal J., McLurkin J. Composable continuous-space programs for robotic swarms. *Neural Computing & Applications*, 2010, no. 19, iss. 6, pp. 825–847. doi: 10.1007/s00521-010-0382-8

22. Lee S.K., McLurkin J. Distributed cohesive configuration control for swarm robots with boundary information and network sensing. *Proceedings IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014)*. Chicago, Illinois, USA, 14–18 September, 2014, pp. 1161–1167.

23. *Bespilotnyy samolet ZALA 421-08M* [Unmanned aircraft ZALA 421-08M]. Available at: <http://zala.aero/zala-421-08/> (accessed 09.10.2015)

24. Budaev D.S., Voshuk G.Ju., Mochalkin A.N., Travin V.S. [The development of network-centric intelligent system of adaptive action planning group of autonomous unmanned vehicles for the implementation of the agreed problems]. *Materialy 10 Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya"* [Proceedings of the 10th Russian scientific-practical conference "Prospective systems and control problems"], Taganrog–Dombai, 2015, vol. 1, pp. 166–172.

25. *BLA T23E: bespilotnyi letatel'nyi apparat* [T23E UAV: unmanned aerial vehicle]. Available at: http://www.enics.ru/detail?product_id=20 (accessed 10.10.2015)

26. Shashok V.N., Filippov S.I., Bagaev D.V., Malyshev A.N., Kobzev A.A., Umnov V.N. [Designing manipulator to operate in extreme conditions]. *Materialy 10 Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya"* [Proceedings of the 10th Russian scientific-practical conference "Prospective systems and control problems"], Taganrog–Dombai, 2015, vol. 1, pp. 267–278.