doi: 10.33266/2070-1004-2026-2-97-104
УДК 614.88:623.746-519:623.45

Обзорная статья
© ФМБЦ им.А.И.Бурназяна

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ СРЕДСТВ ПОИСКА, ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ ОЧАГОВ ПОРАЖЕНИЯ И МЕДИЦИНСКОЙ ЭВАКУАЦИИ ПОРАЖЕННЫХ В РАДИАЦИОННЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ. СООБЩЕНИЕ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ЗНАЧИМОСТИ ПРОБЛЕМЫ И СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК В США

В.М.Каганов[1], И.В.Иванов[1,2], М.В.Поляков[1], Я.С.Боровков[2]

[1] ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия
[2] ФГАОУ ВО «Первый московский государственный медицинский университет им. И.М.Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия

Резюме. *Цель исследования* – проанализировать состояние проблемы автоматизации и роботизации средств поиска, извлечения из очагов поражения и медицинской эвакуации пораженных в радиационных и химических чрезвычайных ситуациях (ЧС) и направлений её решения, а также рассмотреть конструкторские разработки, применяемые в аварийно-спасательных формированиях (АСФ) США.
Материалы и методы исследования. Материалы исследования – доступные интернет-ресурсы, посвященные вопросам автоматизации и роботизации поиска, извлечения из очагов поражения и медицинской эвакуации пораженных в радиационных и химических ЧС.
Методы исследования – методы анализа и обобщения.
Результаты исследования и их анализ. Рассмотрены существующие и разрабатываемые в США роботизированные и автоматизированные системы поиска, извлечения из очагов поражения и медицинской эвакуации пораженных в радиационных и химических чрезвычайных ситуациях. В качестве перспективы рассматривается оказание полностью автономной медицинской помощи пораженным. По заключениям медицинских экспертов США, автоматизация и роботизация средств поиска, извлечения из очагов поражения и медицинской эвакуации пораженных повысит эффективность оказания медицинской помощи в контексте многодоменной борьбы с медико-санитарными последствиями аварий и катастроф.

Ключевые слова: *автоматизация, конструкторские разработки, медицинская помощь, пораженные, радиационные чрезвычайные ситуации, роботизация, роботы-спасатели, средства извлечения, средства медицинской эвакуации, средства поиска, США, химические чрезвычайные ситуации*

Конфликт интересов. *Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов*

Для цитирования: *Каганов В.М., Иванов И.В., Поляков М.В., Боровков Я.С.* Актуальные вопросы автоматизации и роботизации средств поиска, извлечения из очагов поражения и медицинской эвакуации пораженных в радиационных и химических чрезвычайных ситуациях. Сообщение 1. Теоретические предпосылки значимости проблемы и состояние разработок в США // Медицина катастроф. 2026. №2. С. 97-104. doi: 10.33266/2070-1004-2026-2-97-104

doi: 10.33266/2070-1004-2026-2-97-104
UDC 614.88:623.746-519:623.45

Review article
© Burnasyan FMBC FMBA

CURRENT ISSUES OF AUTOMATION AND ROBOTIZATION OF SEARCH TOOLS, EXTRACTION FROM HOTSPOTS AND MEDICAL EVACUATION OF VICTIMS OF RADIATION AND CHEMICAL EMERGENCIES. MESSAGE 1. THEORETICAL BACKGROUND OF THE SIGNIFICANCE OF THE PROBLEM AND THE STATE OF DEVELOPMENT IN THE USA

V.M.Kaganov[1], I.V.Ivanov[1,2], M.V.Polyakov[1], J.S.Borovkov[2]

[1] State Scientific Research Taste Institute of Military Medicine, St. Petersburg, Russian Federation
[2] Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

Summary. *The purpose of the study* is to analyze the state of the problem of automation and robotization of search tools, extraction from hotspots, and medical evacuation of victims of radiation and chemical emergencies; to analyze possible solutions to the problem and examine design solutions used in U.S. emergency response teams.
Research methods include methods of analysis and generalization.
Materials and methods of research. The research materials are publications from online resources devoted to the issues of automation and robotization of search tools, extraction from hotspots, and medical evacuation of victims of radiation and chemical emergencies.
The results of the study and their analysis. The existing and developing robotic systems in the USA for searching and extracting from lesions are considered. Fully autonomous medical care for injuries is considered as a perspective. According to the conclusions of American military medical experts, automation and robotization should be applied to providing assistance

to victims in order to increase the efficiency and optimize the capabilities of the medical care system in the context of a multi-domain struggle against the consequences of accidents, catastrophes.

Key words: *automation, chemical emergencies, design solutions, extraction tools, medical evacuation tools, rescue robots, robotic platform, robotics, search tools, radiation emergencies, victims*

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

For citation: *Kaganov V.M., Ivanov I.V., Polyakov M.V., Borovkov J.S.* Current Issues of Automation and Robotization of Search Tools, Extraction from Hotspots and Medical Evacuation of Victims of Radiation and Chemical Emergencies. Message 1. Theoretical Background of the Significance of the Problem and the State of Development in the USA. Meditsina Katastrof = Disaster Medicine. 2026;2:97-104 (In Russ.). doi: 10.33266/2070-1004-2026-2-97-104

Контактная информация:
Иванов Иван Васильевич – докт. мед. наук, профессор, старший научный сотрудник ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Минобороны России
Адрес: Россия, 105275, Москва, пр-т Будённого, д. 31
Тел.: +7 (495) 365-02-097
E-mail: ivanov-iv@yandex.ru

Contact information:
Ivan V. Ivanov – Dr. Sc. (Med.), Professor, Senior Researcher of State Research and Testing Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation
Address: 31, Budennogo Prospekt, Moscow, 105275, Russia
Phone: +7 (495) 365-02-097
E-mail: ivanov-iv@yandex.ru

Введение

Искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение и автоматизация получили повсеместное распространение в XXI в. Транспортные службы, промышленность, технологическая индустрия и дистрибьюторские компании используют взаимодействие человека и технологий для повышения эффективности своих сетей и продуктов. Подобные решения интенсивно разрабатываются зарубежными компаниями в интересах медицинской службы [1–10]. Интеграция автоматизации в службы медицины катастроф разных стран позволит спасательным формированиям быть более успешными и действенными при выполнении своих функций. Необходимость развития данного направления в отечественной медицине требует анализа как разработок, уже внедренных в практику экстремальной медицины в ряде стран, так и перспективных разработок, осуществляемых в разных странах мира.

Цели исследования – проанализировать состояние проблемы автоматизации и роботизации средств поиска, извлечения из очагов поражения и медицинской эвакуации пораженных в радиационных и химических чрезвычайных ситуациях (ЧС), и направлений её решения, а также рассмотреть конструкторские разработки, применяемые в аварийно-спасательных формированиях (АСФ) США.

Материалы и методы исследования. Материалы исследования – доступные интернет-ресурсы, посвященные вопросам автоматизации и роботизации поиска, извлечения из очагов поражения и медицинской эвакуации пораженных в радиационных и химических ЧС.

Методы исследования – методы обобщения и анализа.

Результаты исследования и их анализ. В медицине чрезвычайных ситуаций в США заметное внимание уделяется автоматизированным операциям: поисково-спасательным действиям в экстремальных условиях, медицинской эвакуации пораженных из зон поражения и даже оказанию медицинской помощи без участия человека [1, 2].

Медицинские эксперты в США считают, что автоматизация должна применяться при оказании первой (ПП) и медицинской помощи пораженным в результате аварий и катастроф с целью оптимизации и увеличения эффективности её оказания и, следовательно, для повышения выживаемости пораженных. Внедрение парадигмы автоматизации в медицину катастроф в сложном контексте её многодоменной организации [11] направлено на минимизацию числа погибших и оптимизацию состояния их здоровья при ликвидации медико-санитарных последствий ЧС, в том числе за счет решения проблем логистики.

Медицинские эксперты полагают, что автоматизация оказания медицинской помощи пораженным повысит возможности управления как числом пораженных, так и создаст условия для оказания им медицинской помощи. Отдаленная перспектива представляется экспертам в виде полностью автономной медицинской помощи при травмах, однако, по их же мнению, данная концепция недостижима в ближайшем будущем и потенциально невозможна в полном объёме. В то же время тенденция к переходу от современного уровня, когда медицинская помощь в большой мере зависит от человека, на полностью автономную медицинскую помощь имеет большое значение, так как приведет к появлению новых решений, основанных на новейших технологиях. Это позволит сократить расходы и оптимизировать задачи, стоящие перед медицинским персоналом, облегчит принятие более качественных и быстрых решений и, следовательно, оптимизирует исходы несчастных случаев. Машины освобождают людей от выполнения простых задач и дают медицинскому персоналу больше времени для выполнения других действий. Иными словами, автоматизация увеличивает производительность системы – увеличивается количество задач, выполняемых одним и тем же человеком. Внедренные в практику технологии автоматизации включают: документирование ухода за пациентами, перемещение пациентов, мониторинг показателей жизнедеятельности и психического состояния, настройку капельниц и аппаратов искусственной вентиляции легких (ИВЛ), а также отслеживание и автоматическое изменение – по мере необходимости – заказа расходных материалов.

Более быстрое и точное принятие решений на всех уровнях оказания медицинской помощи, при проведении медицинской эвакуации и в логистике еще больше повысит пропускную способность системы за счет определения приоритетов действий и повышения эффективности оказания медицинской помощи.

Американские исследователи сравнивают процесс автоматизации оказания медицинской помощи пораженным с технологией альпинистов – чередование подъёмов в горы с отдыхом и оценкой ситуации в базовых лагерях на маршруте восхождения [12]. Когда

коллектив сотрудников находится у подножия «горы», создаётся *«Базовый лагерь»* – необходимая базовая инфраструктура в рамках системы кибербезопасности и управления, включающая возможности сбора, передачи, хранения, аннотирования, кураторства, анализа, совместного использования и моделирования данных. Во время последующего «подъёма» создаётся базовый набор данных с использованием пассивных датчиков, который необходим для оценки нуждаемости пораженных в оказании медицинской помощи с точки зрения характера травм и физиологических изменений, а также для планирования действий медицинского персонала и использования ресурсов. Следующий этап – *«Лагерь осмысления ситуаций»* – дает возможность проанализировать и извлечь уроки из полученных данных. В целом это позволяет повысить ситуационную осведомленность и организацию управления в целях совершенствования руководящих принципов, улучшения подготовки персонала и внедрения новых технологий оказания медицинской помощи на всех этапах её оказания. Достижение уровня *«Лагеря оптимизированных решений»* позволяет сосредоточиться на совершенствовании сбора данных с помощью более совершенных датчиков и методов, одновременно используя собранные данные для создания моделей, оптимизирующих процесс принятия решений с большей точностью, эффективностью и надежностью. На этапе *«Передача действий машинам»* осуществляется автоматизация таких задач, как документирование, регулирование работы с пациентами и пополнение запасов. В отличие от более ранних моделей управления, основанных на действиях людей, усовершенствованная модель выводит человека из алгоритма принятия решений, оставляя за ним только функцию контроля, что направлено на сокращение времени выполнения таких задач, как документирование, медицинская сортировка пораженных, определение приоритетов медицинской эвакуации, а также определение потребности в ресурсах и др.

В конечной точке восхождения – на *«Вершине автоматизации и оптимизации»* – решения о проведении медицинской эвакуации, последующей реанимации и пополнении материальных запасов принимаются автономно. Эти автоматизированные процессы помогут оптимизировать возможности всей системы управления большими объемами санитарных потерь, прогнозируя, как и когда сопоставить потери и ресурсы для достижения желаемых результатов, а если это невозможно, будут рекомендоваться более подходящие категории медицинской сортировки пораженных.

В первичном звене можно выделить два основных этапа: роботизированная помощь пораженным при их розыске и извлечении из очагов поражения (Сообщение 1) и их автономная медицинская эвакуация (Сообщение 2).

Концепция роботизированной помощи пораженным. Основными проблемами автоматизации поиска и извлечения пораженных из очагов поражений, по мнению американских исследователей, являются *трудности сбора данных в режиме реального времени*, начиная с места оказания первой помощи и по всему циклу оказания медицинской помощи, включая медицинскую эвакуацию, а также *отсутствие экосистемы*, способствующей автоматизации этого процесса. Это связано с тем, что медицина располагает небольшим количеством датчиков и стандартов и может получать разные результаты даже при одних и тех же вмешательствах. Наиболее насыщенные данными медицинские среды – отделения интенсивной терапии и операционные – в настоящее время выдают информацию в объёме примерно 100 Кбит/мин, а объём всего реестра травматологических систем содержит менее 1 Гб информации [12].

Сбор данных: о состоянии пораженных; действиях лиц, оказывающих им медицинскую помощь; об использовании ресурсов в ходе оказания медицинской помощи в режиме реального времени в соответствии с установленными стандартами и в рамках функционально совместимой структуры позволит создать с течением времени базовый набор данных, описывающий медицинскую помощь пораженным в ходе ликвидации аварии или катастрофы. Затем эти данные могут быть использованы для создания множества решений, которые видоизменяются и совершенствуются, начиная от уровня технологического оборудования, например, улучшения визуализации данных и системы автоматизированной документации, и кончая принятием решений, например, о разработке новых инструментов поддержки клинических решений по оказанию первой и медицинской помощи пораженным, более точной логистики, улучшенной медицинской сортировки и оптимальной схемы медицинской эвакуации, а также выполняемых действий, например, роботизированная медицинская эвакуация пораженных, роботизированный мониторинг пораженных и автономная реанимация.

В будущем специалисты медицины катастроф, получая в режиме реального времени данные о состоянии пораженного, собранные датчиками, интегрированными в клиническую среду, а также данные о действиях лиц, оказывающих медицинскую помощь и об использованных ими ресурсах, смогут лучше понять, как расставить приоритеты при принятии решений. Это улучшит оказание медицинской помощи пораженным и позволит принять решения, позволяющие снять часть задач с медицинского персонала, что увеличит возможности последнего уделять больше времени пораженным, наиболее нуждающимся в оказании медицинской помощи.

На основании вышеизложенного американские специалисты приходят к заключению, что цель оказания полностью автономной помощи пораженным в конечном итоге может оказаться недостижимой. Однако начало движения к оказанию автономной помощи пораженным – это полезный шаг, который может принести ощутимую пользу. В ближайшей перспективе могут быть разработаны алгоритмы для интерпретации исходных данных датчиков, собранных пассивным способом, для документирования оказания медицинской помощи пораженным в режиме реального времени. Результаты в краткосрочной перспективе – совершенствование сбора и передачи данных о пораженных для более эффективного и быстрого принятия правильных решений. В среднесрочной перспективе могут быть разработаны алгоритмы, в которые войдет пассивно собранная информация о параметрах пораженного в качестве исходных данных для поддержки принятия решений по множеству таких функций, связанных с санитарными потерями, как первая помощь пораженным в очаге, медицинская сортировка, точная логистика и медицинское регулирование. В будущем внедрение робототехники в работу команды «человек-технология» позволит уменьшить физическую нагрузку на медицинский персонал, сделав уход за пораженными менее трудоёмким. Хотя путь к автоматизации оказания медицинской помощи пораженным может быть извилистым пассивный сбор данных и автоматизированное документирование оказания медицинской помощи являются первыми важными шагами. Это, в конечном итоге, позволит в будущем оптимизировать сложную систему взаимодействия между

медицинскими работниками на месте оказания медицинской помощи, удаленными специалистами, системами ИИ с учетом ограниченных физических ресурсов и обеспечить в целом улучшение результатов лечения пораженных [11].

Одним из наиболее эффективных и полезных направлений применения робототехники – особенно автономных и полуавтономных систем – является поисково-спасательная деятельность. Роботы дают возможность проникнуть туда, куда не могут попасть спасатели, оберегая их тем самым от опасностей, функционируют без перерывов и расширяют возможности людей, рискующих своей жизнью, помогая другим.

Для улучшения исходов травм и поражений в ЧС важно уделять особое внимание своевременной медицинской эвакуации. В связи с этим профильные учреждения США постоянно ведут поиски в этой области. Как известно, если медицинская помощь оказывается в течение короткого времени после получения травматических повреждений, выживаемость пораженных значительно повышается. Распоряжение (2009) о приоритетной медицинской эвакуации пораженных в течение одного или менее одного часа привело к значительному снижению смертности от травматических повреждений. Однако нельзя игнорировать риски для участников оказания доврачебной медицинской помощи пораженным. В случае стихийного бедствия или военных действий направление медика или другого представителя отряда спасателей в опасную зону сопряжено с риском для жизни самого спасателя. Кроме того, во время террористических актов могут быть «оставлены» взрывчатые вещества или террористы будут ориентированы на поражение медицинского персонала, в том числе службы быстрого реагирования. В этих случаях роботы могут внести значительный вклад в спасение жизни как пораженных, так и спасателей [13].

Современные системы поиска и спасения могут классифицироваться по тому, к к они вписываются в процесс медицинского реагирования: поиск, извлечение, медицинская эвакуация и лечение. На первом этапе – этапе поиска – роботизированные системы пытаются найти и сообщить о местонахождении пораженного. Роботы активно использовались в процедурах поиска при многочисленных катастрофах.

На втором этапе выполняется извлечение пораженного из очага поражения. На третьем этапе осуществляется его безопасная доставка к месту оказания медицинской помощи. Для этого робот выполняет двигательные маневры и выносит / вывозит пораженного из зоны бедствия. Такие роботы-спасатели обычно крупнее и сложнее конструкций, ориентированных *только на поиск*. Ещё более сложные системы, предназначенные для выполнения следующей задачи – транспортировки пораженного к месту дальнейшего лечения – включают в себя роботизированную эвакуационную машину или мобильный робот для транспортировки [13–15], а также систему жизнеобеспечения (Life Support for Trauma and Transport – LSTAT) – носилки с набором сенсорного оборудования и роботизированным манипулятором [14, 15].

В настоящее время создано множество роботизированных систем (дронов) для ведения поисково-спасательных работ, включающих как наземные роботы, так и беспилотные летательные аппараты (БПЛА). В обзоре представлены образцы только наземной робототехники для поиска и извлечения пораженных из очагов поражения.

Модели роботов для поиска пораженных. При создании роботов робототехническим системам, относящимся к классу поисковых, всегда уделялось большое внимание. Такие роботы способны играть важную роль в обследовании территории пострадавших регионов и обнаружении людей, попавших в беду. Поисковые роботы, как правило, предназначены для работы в качестве мобильных сенсорных платформ, которые выполняют небольшие, но важные задачи, позволяющие использовать сложное оборудование обнаружения пораженных в помещениях, которые могут быть небезопасными или недоступными для человека. Кроме того, роботы могут работать непрерывно, останавливаясь только для подзарядки аккумуляторов, что облегчает непрерывный поиск.

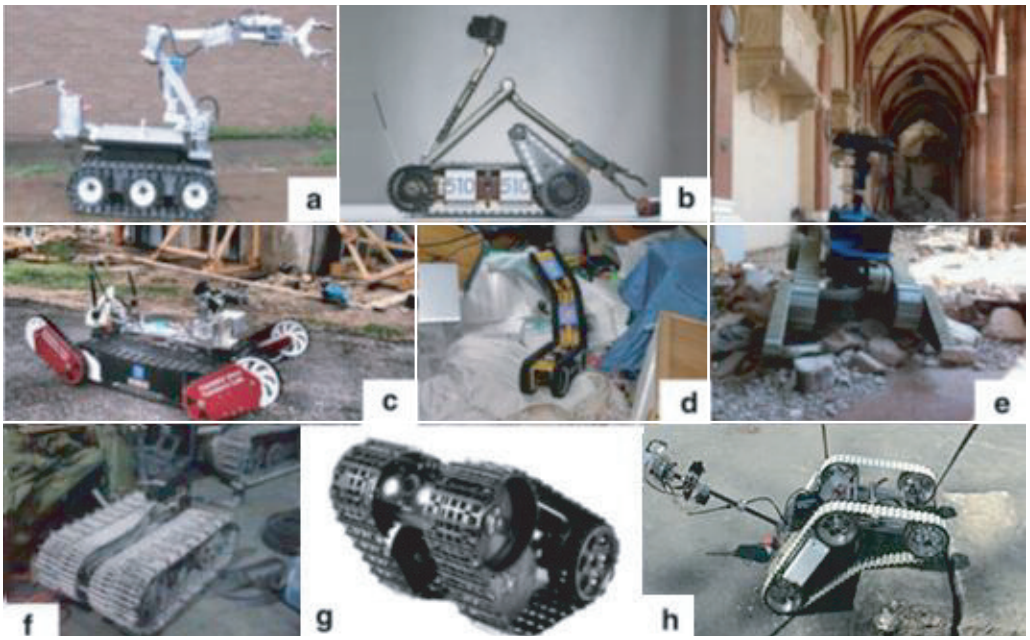

Рис. 1. Поисковые роботы: a – Remotec Wolverine, b – iRobot PackBot, c – Quince, d –Soryu III, e – NIFTi UGV, f – Foster-Miller Solem, g – VGTV-Xtreme, h – micro-VGTV преодолевает препятствие [13]

Fig. 1. Search robot: a – RemotecWolverine, b – iRobot PackBot, c – Quince, d –Soryu III, e – NIFTi UGV, f – Foster-Miller Solem, g – VGTV-Xtreme, h – Micro-VGTV overcomes the hurdle [13]

Большинство систем этой категории могут выполнять *только поиск пораженного в случае стихийного бедствия* и не предназначены для его извлечения и проведения медицинской эвакуации (рис. 1).

Роботы Remotec Wolverine – производство компании Remotec Inc, как и роботы TALON (рис. 1a), первоначально разрабатывались для поиска и обезвреживания взрывчатых веществ, но затем были приспособлены для перемещения пораженных.

Робот iRobot (рис. 1b), – широко используемый в настоящее время промышленный робот для поисково-спасательных операций, разработанный в рамках программы DARPA по тактической мобильной робототехнике. Благодаря двум основным движителям и гусеницам способен передвигаться по пересеченной местности и преодолевать препятствия.

Мобильное устройство Quince (рис. 1c), разработанное также для поисково-спасательных операций, имеет базовую платформу с оборудованием для наблюдения и отличается оригинальной конструкцией движителей, повышающей его проходимость.

Soryu III (рис. 1d) – это робот-серпантин, относящийся к классу роботов, используемых для поисково-спасательных операций. Благодаря своей уникальной конструкции обладает способностью проникать глубоко под завалы на глубину до 30 м. Soryu III, созданный в Токийском технологическом институте и Международном институте систем спасения, обладает устойчивой гусеничной конструкцией, большим запасом прочности, защитой от воды и пыли, а также датчиками CO_2 для обнаружения людей.

Роботизированный модуль NIfTI UGV (рис. 1e) – это часть первого развертывания системы человеко-роботов в Европе, задействовавшей несколько типов роботов для оценки ущерба, наносимого историческим зданиям и культурным артефактам во время крупных землетрясений.

Foster-Miller Solem (рис. 1f), входит в число гусеничных роботов-спасателей. Изначально был разработан для обезвреживания взрывоопасных предметов. При массе 15 кг робот слишком громоздок для его установки в небольших помещениях.

По программе создания тактических мобильных роботов компаниями American Standard Robotics и Inuktun Services Ltd. были разработаны поисковые роботы из серии гусеничных машин с изменяемой геометрией (Variable Geometry Tracked Vehicle, VGTV) – VGTV-Xtreme (рис. 1 g), MicroVGTV (рис. 1h, 2a) и MicroTrak (рис. 2b) [16, 17]. Каждый из них укладывается в рюкзак и переносится одним человеком (рис. 2c).

Многие широко используемые роботизированные системы [1, 2] были модифицированы для проведения поисково-спасательных работ в чрезвычайных ситуациях. При этом их трансформация имела целью обеспечить возможность прохождения через небольшие отверстия, в которые не могут проникнуть люди и даже собаки. По сравнению с существующими активными / полуактивными шарнирно-сочлененными агрегатами, такие мини-роботы проникают в завалы глубже, одновременно взаимодействуя с окружающей средой, например, отбирая пробы или закрывая клапаны с помощью манипулятора.

Разрабатываемый в настоящее время исследовательский проект ICARUS включает в себя широкий спектр автономных и полуавтономных систем как наземного типа, так и летательных аппаратов, предназначенных для поиска и спасения, включая поисковые беспилотники на солнечных батареях, тяжелые беспилотные летательные аппараты – квадрокоптеры с манипулятором и небольшие беспилотные летательные аппараты для поиска в зданиях.

Дополнительные возможности роботов – способность работать долго и использовать широкий спектр датчиков для обнаружения токсичных или взрывоопасных газов в окружающей среде, делают их более приспособленными для поисковой деятельности по сравнению с людьми или животными [13].

Роботы для извлечения пораженных из очага поражений после аварий или катастроф. Извлечение человека с помощью робота – сложная задача ввиду необходимости взаимодействия между роботом и пораженным. Один из первых таких роботов на гусеничном ходу был спроектирован в 2004 г. компанией iRobot и получил название Valkyrie (рис. 3a, b).

Этот робот создан компанией Irobot на основе модификации поискового робота-медика iRobot Bloodhound на платформе Packbot (пакбот). При спасении пораженного в зоне разрушений гусеничный транспортер-робот Valkyrie с носилками подъезжает к цели (рис. 3 a). После этого пораженный должен перекатиться на носилки, связанные с Valkyrie гибкой сцепкой, для его последующей доставки в безопасное место.

Для робота Valkyrie характерна простота его дистанционного управления оператором, так как у данной платформы нет активных манипуляторов со многими степенями свободы – используются только джойстик и видеокамера. Пластиковые носилки имеют низкий коэффициент трения и хорошо скользят при полной загрузке. Это позволяет маленькому роботу маневрировать и перемещать груз, в несколько раз превышающий его

a b c

Рис. 2. Поисковые роботы [16, 17]: – micro-VGTV (a) и micro-tracks (b) с блоками управления, в сложенном для переноски состоянии (c)

Fig. 2. Search robot [16, 17]: micro-VGTV (a) and micro-tracks (b) micro-tracks with its control unit folded for carrying (c)

a b

Рис. 3. Образец Valkyrie на гусеничном ходу для роботизированного извлечения пораженных и их транспортировки в безопасное место [14]: a – оборудование для эвакуации пораженных (носилки-волокуши, трос, элементы крепления пораженного к носилкам, бронезащита); b - концепция медицинской эвакуации пораженных роботом Valkyrie

Fig. 3. Valkyrie sample for robotic recovery of the wounded to a safe place on a tracked track [14]: a – equipment for the evacuation of the wounded (stretcher-travois, rope, fastening elements of the victim to the stretcher, armor protection); b – the Valkyrie robot evacuation concept

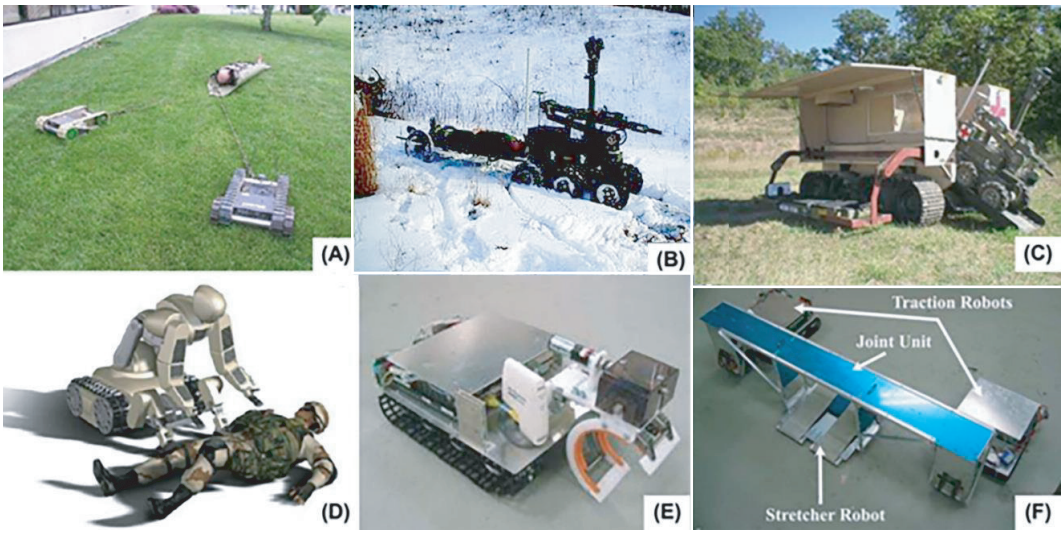

Рис. 4. Роботы для извлечения пораженных: a – Valkyrie, b – REX, c – эвакуационная система REV / REX, d – cRONA, e – Modular rescue robot (тяговый робот), f – Modular rescue robot (тяговый робот с механизмом объединения двух платформ для размещения носилок с пораженным и роботом-«носилочником») [13]

Fig. 4. Fig. 4. Robots for the extraction of Injured [13]: a – Valkyrie, b – REX, c – evacuation system REX / REV, d – cRONA, e – Modular rescue robot (Traction Robot), f – Modular rescue robot (a traction robot with a mechanism for combining two platforms to accommodate a stretcher with a Injured person and a stretcher robot)

собственную массу. В тех случаях, когда один робот не в состоянии тащить носилки, возможно использование двух таких роботов (рис. 4 a). Некоторые проблемы с его использованием: 1 – неоднородный рельеф местности с препятствиями и неровностями удлиняет время доставки пораженного; 2 – робот не может погрузить пораженного на носилки – последний должен сам перекатиться или забраться на носилки; при потере пораженным сознания или его неспособности сделать это, пораженному должен помочь кто-то из его окружения; 3 – риск опрокидывания носилок; 4 – риск опрокидывания робота при его перемещении по неровной поверхности, характерной для многих спасательных ситуаций.

Платформа-носилки «Реанимация при травмах и транспортировке» (Life Support for Trauma and Transport, LSTAT) разработана компанией Integrated Medical Systems Inc. [14] для жизнеобеспечения пораженных с травмами при их транспортировке. Платформа-носилки не является роботом, но обладает возможностями мобильного отделения интенсивной терапии (рис. 4b, 4c, 5a, 5b). В каждую из двух носилок интегрирована медицинская система (Integrated Medical Systems) (рис. 5c) с датчиками для контроля показателей артериального давления (АД), пульсоксиметрии, концентрации CO_2 и напряжения O_2 в крови, t °C и ЭКГ. Эти данные отображаются на дисплее, установленном на носилках (рис. 5d), а также передаются на ручной монитор и в доступные беспроводные сети. В дополнение к LSTAT может использоваться аппарат искусственной вентиляции легких (ИВЛ), дефибриллятор, вакуумный насос, насос для инфузии жидкостей и лекарственных препаратов, а также анализатор химического состава крови.

В последующем была выполнена интеграция носилок LSTAT с электронной «рукой» в виде «змеиного» робота Snakebot (рис. 5e, 5c), который управляется оператором дистанционно с помощью джойстика. Гибкая конструкция Snakebot может перемещаться по любому участку тела человека в целях первичной медицинской оценки его состояния в полевых условиях, а датчики и видеокамера позволяют врачу отслеживать состояние пораженного, пока его не эвакуируют в лечебное учреждение. Электронная рука благодаря множеству шарниров способна изгибаться и перемещаться в разных направлениях по телу человека и оснащена большим количеством датчиков для оценки состояния пораженного в полевых условиях – осмотр головы, брюшной полости и др. Датчики дыхания способны установить, дышит пораженный или нет. Управление электронной рукой – дистанционное, с помощью джойстика. В будущем планируется оснастить это устройство ультразвуковым анализатором для определения внутреннего кровотечения.

Таким образом, LSTAT является портативным реанимационным аппаратом, функциональные возможности которого аналогичны нескольким устройствам для мониторинга. Эта система была задумана как компонент интеграции оказания медицинской помощи на этапах медицинской эвакуации и последующего лечения. Как только пораженного укладывают на носилки и начинается наблюдение, носилки могут предоставлять медицинскому персоналу подробную информацию о его жизненно важных показателях. Стандартный размер носилок позволяет переносить пораженного из эвакуационной машины сразу в операционную, обеспечивая непрерывный мониторинг и сокращая трудозатраты персонала. Платформа-носилки LSTAT хорошо зарекомендовала себя в многочисленных испытаниях и в реальной обстановке, успешно использовалась при оказании медицинской помощи пораженным в ЧС, в том числе при проведении санитарно-авиационной эвакуации. Один из недостатков LSTAT заключается в том, что пораженных приходится грузить вручную на эти носилки с риском для лиц, выполняющих погрузку. Поэтому дальнейшее развитие системы было направлено на её полную автоматизацию. Другим недостатком LSTAT считается отсутствие тактильной информации, которой обладает медицинский специалист, что особенно важно для пациентов с тяжёлыми травмами. Разработчики платформы-носилок LSTAT (исследовательский центр TATRC) и манипулятора Snakebot (Университет Карнеги-Меллона) в настоящее время сотрудничают с целью совмещения этих конструкций.

Для роботизации медицинской эвакуации компанией Applied Perceptions Inc. в сотрудничестве с TATRC были сконструированы роботы-медботы REV и REX. Робот REV

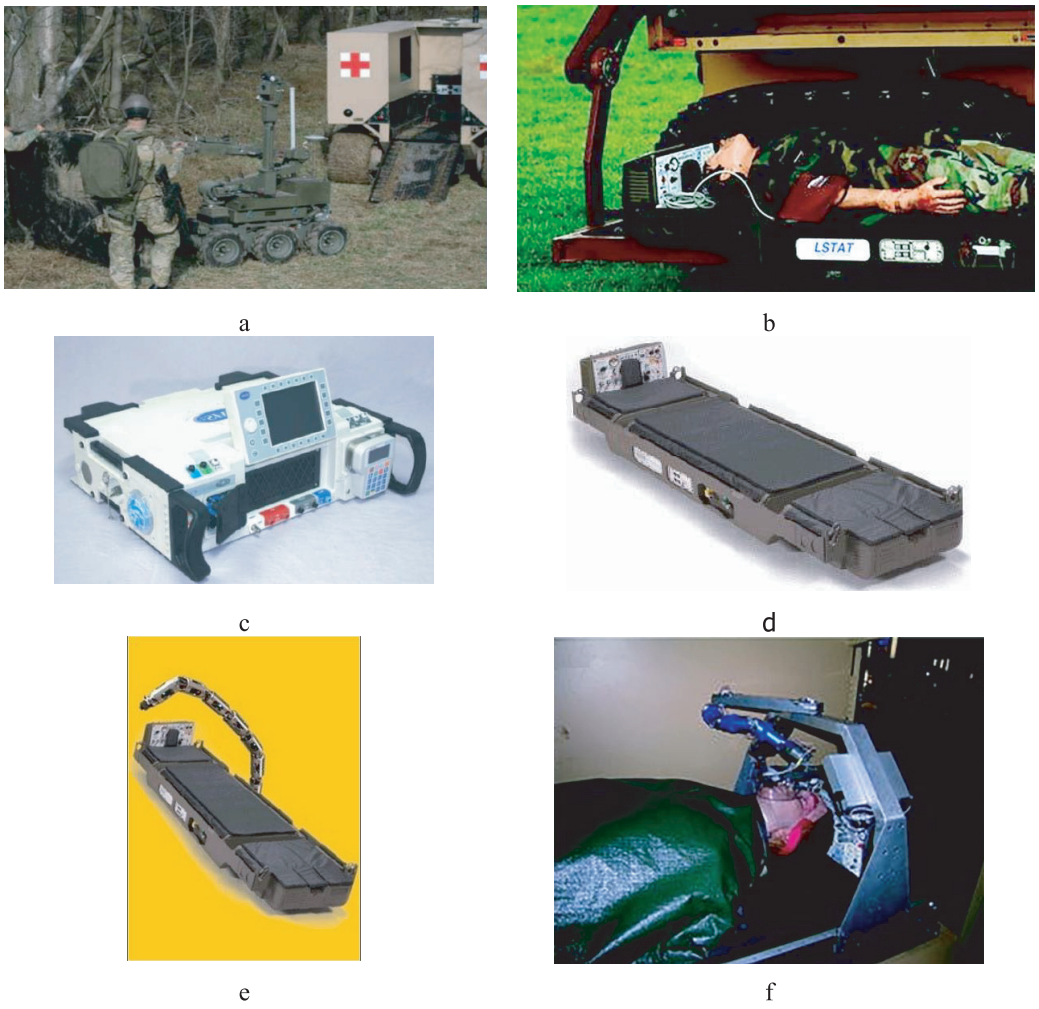

Рис. 5. Оборудование эвакуационной платформы-носилок LSTAT: a – перемещение пораженного с REX на REV, b – пораженный на эвакуационной платформе-носилках LSTAT, размещенных на REV, c – бортовой монитор LSTAT, d – платформа-носилки LSTAT с бортовым монитором, e – LSTAT с манипулятором Snakebot, e – обследование манипулятором Snakebot головы пораженного [13-15]

Fig. 5. LSTAT Evacuation Platform Stretcher equipment: a – moving the victim from REX to REV, b –the victim on the LSTAT evacuation platform stretcher, c – LSTAT on-board monitor, d – LSTAT stretcher platform with on-board monitor, e – LSTAT with Snakebot manipulator, f – examination of the victim's head with a Snakebot manipulator [13 – 15]

(Robotic Evacuation Vehicle) – это крупная автоматизированная транспортная часть эвакуационной пары REX и REV [15], несущая на себе робота REX (Robotic Extraction Vehicle). По прибытии в опасную зону REV разгружает транспортер REX (рис. 4c), затем он передвигается к месту расположения пораженного и, используя выдвижную гибкую руку с шестью суставами, способен аккуратно перетащить человека на носилки на колесиках и отбуксировать их к REV (рис. 4b). После этого REV действует как автономная эвакуационная машина для перевозки двух пораженных на носилках LSTAT в отсеках, оснащенных баллистической броней для безопасной транспортировки. REV оборудован системой жизнеобеспечения, видеокамерой и жидкокристаллическим экраном перед лицом пораженного, чтобы операторы могли видеть и общаться с ним, если он в сознании.

Управление эвакуатором REV – достаточно простое и понятное, в то время как REX может создавать определенные трудности. Сложность автономной работы REX возникает при попытке поднять человека на буксируемые носилки с помощью одного манипулятора – достаточно сложно бывает захватить человека без сознания с помощью одного клешневого устройства и при этом не усугублять имеющиеся травмы и не наносить ему новые. Кроме того, использование одной руки-манипулятора для перемещения тучного человека требует значительных усилий, которые трудно обеспечить маленькому роботу REX. Носилки на колесиках облегчают транспортировку, но могут откатываться при попытке погрузить на них пораженного. Кроме того, достаточно длинные носилки и сама сцепка усложняют управление таким «автопоездом». Риск опрокидывания также создаёт трудности при успешном использовании этой системы.

cRONA (рис. 4d) — это робот, созданный для перемещения человека из одной горизонтальной плоскости в другую, его функция – переложить пораженного двумя роботизированными руками на носилки, а не транспортировать его из опасного места. При загрузке робота комплектом носилок обеспечивается скорейшая транспортировка нескольких пораженных, но это может создавать трудности при движении по пересеченной местности. Основные недостатки робота – невозможность поддерживать голову (шею) пораженного и невозможность переложить на носилки пораженного с переломом обеих ног.

Modular rescue robot (Traction Robot) (рис. 3e, 3f) – это модульная система транспортировки, созданная

для медицинской эвакуации пораженных при аварии на ядерном объекте. Робот-«носилочник» приближается к лежащему человеку, загружает его на носилки и вывозит в безопасное место к модульной системе. Затем робот-«носилочник» вместе с носилками заезжает под платформу для дальнейшего проведения медицинской эвакуации. Как видно на рис. 3e, вся система включает два тяговых робота с объединяющей их платформой (рис. 3f) для размещения на ней носилок с пораженным и под ней – тягового робота-«носилочника». Эта конструкция апробирована для гладких бетонных поверхностей и больших открытых площадок, характерных для атомных электростанций (АЭС). Однако её использование на пересеченной местности может привести к сбою.

Таким образом, роботы для поиска и извлечения пораженных из очага поражения после аварии или катастрофы в скором времени станут незаменимы в ситуациях, когда существует высокий риск для жизни спасателей. Это особенно актуально для решения проблемы извлечения пораженных из очагов радиационных и химических аварий и катастроф, а также для предотвращения радиационного облучения спасателей и медицинского персонала. Главные преимущества наземных поисковых роботов перед другими поисковыми системами – их адаптируемость к местности, способность взаимодействовать с окружающей средой, в том числе возможность оценить состояние физиологических функций человека. Перспективные научные исследования в США направлены на разработку принципов формирования команды, быстро реагирующей на стихийные бедствия и оптимально распределяющей ресурсы. При этом совместная работа членов команды позволит добиться в итоге большей эффективности, чем простое сочетание её отдельных компонентов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. *Башкиров Н.* Перспективы использования и развития робототехнических комплексов в вооруженных силах США // Зарубежное военное обозрение. 2024. №6. С. 32-38 [Bashkirov N. Prospects for the Use and Development of Robotic Systems in the US Armed Forces. *Zarubezhnoye Voyennoye Obozreniye* = Foreign Military Review. 2024;6:32-38 (In Russ.)]. URL: https://zvo.ric.mil.ru/Nomera/4/ (Date of Access: 25.05.2025).

2. *Шуленин Н.С., Мавренков Э.М., Жангиреев К.Г.* Наземные роботизированные платформы для эвакуации раненых и пострадавших: международный опыт и перспективы применения // Морская медицина. 2025. Т.11. №5. С. 46–57 [Shulenin N.S., Mavrenkov E.M., Zhangireyev K.G. Ground-Based Robotic Platforms for the Evacuation of the Wounded and Injured: International Experience and Application Prospects. *Morskaya Meditsina* = Maritime Medicine. 2025;11;5:46-57 (In Russ.)]. Doi: 10.22328/2413-5747-2025-11-1-46-57.

3. DTIC ADA521095: Army Medical Robotics Research. By Defense Technical Information Center. 2007. URL: https://ia903100.us.archive.org/24/items/DTIC_ADA521095/DTIC_ADA521095.pdf (Date of Access: 25.05.2025).

4. Robotic Research to Expand US Army's AUSTC for Counter-WMD Mission. 2018. URL: https://www.army-technology.com/news/robotic-research-to-support-us-armys-austc-effort-for-counter-wmd-mission/?cf-view (Date of Access: 25.05.2025).

5. Martinic G. Glimpses of Future Battlefield Medicine – the Proliferation of Robotic Surgeons and Unmanned Vehicles and Technologies. Journal of Military and Veterans' Health (JMVH). 2014;22.;3:1-12. URL: https://jmvh.org/article/glimpses-of-future-battlefield-medicine-the-proliferation-of-robotic-surgeons-and-unmanned-vehicles-and-technologies/ (Date of Access: 25.05.2025).

6. RE2 Robotics to Develop Mobile Robotic Manipulation System for US Army to Extract Injured Soldiers. 2020. URL: https://www.armyrecognition.com/archives/archives-land-defense/land-defense-2020/re2-robotics-to-develop-mobile-robotic-manipulation-system-for-us-army-to-extract-injured-soldiers (Date of Access: 25.05.2026).

7. Army Seeks Robots to Transport Wounded Troops. Robotics and Autonomous Systems. National Defense Magazine. 2021. URL: https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2021/1/4/army-seeks-robots-to-transport-wounded-troops (Date of Access: 25.05.2025).

8. Senthilkumaran R.K., Prashanth M., Viswanath H., Kotha S., Tiwari K., Bera A. ARTEMIS: AI-Driven Robotic Triage Labeling and Emergency Medical Information System. arXiv:2309.08865 [cs.RO] or arXiv:2309.08865v3 [cs.RO]. 23 Mar 2024. Doi: 10.48550/arxiv.2309.08865. URL: https://arxiv.org/pdf/2309.08865v3.

9. Robotic Platform Being Developed to Help Medics Optimize Triage during Mass Casualty Incidents. 2024. URL: https://cra.com/medical-triage-robotic-platform-mass-casualty-incidents/ (Date of Access: 25.05.2025).

10. A Robotic Medical Triage System that Aids Medics during a Mass Casualty Incident. 2025. URL: https://cra.com/projects/pointer/#:~:text=POINTER%20is%20a%20robotic%20platform,report%20injury%20status%20to%20medics (Date of Access: 25.05.2025).

11. Remondelli M.H., Remick K.N., Shackelford S.A., et al. Casualty Care Implications of Large-Scale Combat Operations. J Trauma Acute Care Surg. 2023;95;2S:180–184. Doi: 10.1097/TA.0000000000004063.

12. Pamplin J.C., Remondelli M.H., Fisher N., Quinn M.T. Fully Autonomous Casualty Care on the Future Battlefield. Military Medicine. 2025;190;3-4:81–85. Doi: 10.1093/milmed/usae377.

13. Williams A. A Robotic Head Stabilization Device for Post-Trauma Transport. Robotics. 2019;8;1:23. Doi: 10.3390/robotics8010023. URL: https://www.mdpi.com/2218-6581/8/1/23 (Date of Access: 25.05.2025).

14. Gilbert G., Turner T., Marchessault R. Army Medical Robotics Research. MD, Army Telemedicine and Advanced Technology Research Center, Bldg. Fort Detrick, 2007. URL: https://archive.org/details/DTIC_ADA521095/page/21/mode/2up (Date of Access: 25.05.2025).

15. Gilbert G.R., Beebe M. United States Department of Defense Research in Robotic Unmanned Systems for Combat Casualty Care. U.S. Army Medical Research and Materiel Command Telemedicine and Advanced Technology Research Center. 2010. 11 p. URL: https://www.hsdl.org/c/view?docid=713523 / https://www.semanticscholar.org/paper/United-States-Department-of-Defense-Research-infor-Gilbert-Beebe/9eef5f1a85f4902e21a53f11aaa6c478107345b2 (Date of Access: 25.05.2026).

16. Binoy Shah, Howie Choset. Survey on Urban Search and Rescue Robots. JRSJ. July, 2004;22;5:582-584.

17. Paillat J.-L., Lucidarme Ph., Hardouin L. Original Design of an Unmanned Ground Vehicle for Exploration in Rough Terrain (Variable Geometry Tracked Unmanned Grounded Vehicle: model, stability and experiments). Advanced Robotics. 2010;24;1-2:255-276. Doi: 10.1163/016918609X12586221919482. URL: https://www.researchgate.net/publication/220670919_Original_Design_of_an_Unmanned_Ground_Vehicle_for_Exploration_in_Rough_Terrain (Date of Access: 25.05.2025).

Материал поступил в редакцию 30.03.26; статья принята после рецензирования 19.04.26; статья принята к публикации 16.06.26
The material was received 30.03.26; the article after peer review procedure 19.04.26; the Editorial Board accepted the article for publication 16.06.26