

ОБЗОРЫ

OVERVIEWS

УДК: 007. 51:629. 7. 05:159. 9. 072:004. 946:004. 5:004. 89:004. 82:614. 8

ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ОСНАЩЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКА И СПАСАНИЯ КОСМОНАВТОВ В УСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ¹ (Часть 1)

А.В. Поляков, Ю.А. Бубеев, В.М. Усов,
А.М. Кашевник, А.И. Мотиенко

Канд. мед. наук А.В. Поляков; докт. мед. наук, проф. Ю.А. Бубеев;
докт. мед. наук, проф. В.М. Усов (ГНЦ РФ – ИМБП РАН)
Канд. техн. наук А.М. Кашевник; канд. техн. наук А.И. Мотиенко
(СПб ФИЦ РАН)

Выполнение операций поиска и спасания космонавтов в случаях нештатного спуска космического аппарата составляет одно из наиболее значимых направлений обеспечения безопасности пилотируемых космических полетов. При поиске членов экипажа в усложненных условиях окружающей среды при высокой начальной неопределенности ситуации особое значение придается оперативности выполнения начального этапа работ, которые включают разведку, обнаружение и уточнение местоположения членов экипажа с применением беспилотных аппаратов. Для улучшения ситуационной осведомленности и командного взаимодействия специалистов экстремального профиля деятельности актуально применение интерфейсных устройств, позволяющих обеспечить в режиме реального времени индикацию актуальной информации о возможном местоположении приземлившихся космонавтов, их текущем состоянии, условиях оказания первой помощи, фактическом наличии у космонавтов средств защиты и медикаментов и вновь возникших острых потребностях обеспечения выживания при действии экстремальных факторов окружающей среды и др. Одно из перспективных решений заключается в использовании в составе снаряжения спасателей носимых устройств по типу проекционных дисплеев, совместимых с конструкцией «умного шлема» и сопряженных с каналами данных, поступающих от бортовых систем беспилотных аппаратов, ресурсов навигационных систем, сенсоров носимого оборудования, средств связи и коммуникации спасателей. На основе анализа научной литературы выполнен поиск прототипов на базе

¹ Работа выполнена в рамках базовой тематики РАН FMFR 2024-0034 и FMFR 2024-0039.

носимых устройств дополненной реальности, имеющих высокий потенциал внедрения в области информационного обеспечения лиц экстремальных профессий при поиске и спасании космонавтов.

Ключевые слова: специалисты экстремального профиля деятельности, операции поиска и спасания, высокотехнологичное снаряжение, беспилотные аппараты, проекционный дисплей, дополненная реальность, «умный шлем»

High-Tech Solutions for Equipping the Specialists of Extreme Activity Profile for Search and Rescue of Cosmonauts in the Complicated Arctic Environment (Part I). A.V. Polyakov, Yu.A. Bubeev, V.M. Usov, A.M. Kashevník, A.I. Motienko

The Search-and-Rescue (SAR) of cosmonauts in cases of abnormal descent of a landing module is one of the most important areas of ensuring the safety of manned space flights. When searching for crew members in the complicated environmental conditions with a high initial uncertainty of the situation, the special importance is given to the promptness of the initial stage of operations, which includes reconnaissance, finding and clarification of the location of crew members with help of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). In order to improve the situational awareness and teamwork of specialists of extreme activity profile it is relevant to use interface devices that allow providing real-time information about the possible location of landed cosmonauts, their actual condition, provision for making the first aid, actual availability of protective equipment and medicines and newly emerged acute needs to ensure survival under the impact of extreme environmental factors and others. One of the promising solutions is the use of wearable tech devices compatible with the Smart Helmet design as part of rescuers equipment and interfaced with the data channels coming from onboard systems of UAVs, resources of navigation systems, sensors of wearable equipment, and different communication facilities of rescuers. By analyzing the literature, the search for prototypes based on wearable augmented reality (AR) devices with high potential to use them in the field of information support for extreme professions during SAR of cosmonauts was carried out.

Keywords: specialists in extreme activities, search-and-rescue operations, high tech equipment, Unmanned Aerial Vehicle, projection display, augmented reality, Smart Helmet

Для обеспечения выживания космонавтов в случаях нештатного завершения полета в усложненных условиях (термическое поражение из-за возникновения пожаров, длительное холодное воздействие, травматизация при обрушении горных пород и др.) выполнение операций поиска и спасания после вынужденного приземления экипажа должно производиться в сжатые сроки. В этой связи исключительно большое значение придается снижению затрат времени на выполнение этапа поиска, включающего разведку, обнаружение и локализацию местоположения членов экипажа. От надежности, точности и оперативности выполнения этого этапа зависит качество принятия решений о привлечении и распределении сил и средств на всех последующих этапах, включающих решение задач экстренной доставки для членов

экипажа спасательного и медицинского оборудования, медикаментов для обеспечения выживания в условиях воздействия экстремальных факторов, оказание первой помощи, стабилизацию состояния пострадавших, выбор метода эвакуации и других.

Цель настоящего исследования – обосновать рациональный состав информационно-коммуникационных средств для оснащения специалистов экстремального профиля деятельности на базе носимых устройств дополненной реальности (*англ.*: augmented reality, AR), совместимых с конструкцией «умного шлема» (*англ.*: Smart Helmet) или шлема с элементами искусственного интеллекта (ИИ) в интересах улучшения командного взаимодействия и ситуационной осведомленности специалистов при проведении поиска и спасания космонавтов в случаях нештатного приземления спускаемого космического аппарата в экстремальной окружающей среде.

При дальнейшем изложении принимается положение о том, что при высокой неопределенности начальных условий поиска космонавтов критически важным фактором коллаборации с группой беспилотных аппаратов (БА), используемых для поддержки поиска и спасания, является слаженная работа в команде, взаимное информирование и высокий уровень ситуационной осведомленности участников. Для реализации этого предположения предлагается использовать инновационные методы как для групповой, так и для индивидуальной высокотехнологичной системы информационного обеспечения. Это решение будет включать интеграцию данных с исследуемых локаций и передачу релевантной информации на носимые устройства в реальном времени для их отображения. Такой подход в полной мере отвечает человекоориентированному распределению функций при роботизированной поддержке поиска и спасания в малоизученных экстремальных условиях окружающей среды.

Этот круг вопросов представлен в первой части выполненного анализа особенностей применения БА для поддержки поиска и спасания на этапе поиска космонавтов в экстремальных условиях окружающей среды.

Получение потока разнородной информации различной модальности из многочисленных источников внешней среды требует ее комплексирования для отображения в виде единой визуальной картины на носимых средствах индикации для спасателей без потери прямой видимости окружающей среды. Особое эксплуатационное требование заключается в возможности управления отображением виртуальных объектов на носимых устройствах информационного обеспечения посредством бесконтактного ввода команд, задаваемых голосом и жестами, с использованием алгоритмов искусственных нейросетей (ИНС).

Наибольшее внимание привлекает область мобильных носимых устройств по типу проекционных дисплеев, совместимых с конструкцией «умного шлема», в которых реализован мультимодальный интерфейс для управления цифровым контентом и доступа к данным, собираемым от бортового

оборудования БА, от сенсоров специального снаряжения спасателей и от хранилищ релевантной информации в дистанционном режиме коммуникации членов команды. Этот круг вопросов представлен во второй части статьи. На основе изучения состояния вопроса и с учетом тенденций развития и комплексирования инновационных технологий связи, коммуникации, навигации в составе пользовательских интерфейсов на базе AR представляется возможным говорить о наличии прототипов, перспективных для улучшения информационной поддержки лиц экстремального профиля деятельности.

1. Современное состояние разработки и применения высокотехнологичных решений для обеспечения безопасности лиц экстремального профиля деятельности

1.1. Направление роботизированной поддержки операций поиска и спасения пострадавших при чрезвычайных ситуациях

В последние годы в области обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях (ЧС) повышенное внимание уделяется вопросам, связанным с работой специалистов экстремального профиля деятельности при действии неблагоприятных факторов среды. К этому профилю деятельности относятся специалисты, привлекаемые к проведению поисково-спасательных работ.

По мнению ряда авторов, при выполнении поисковых, эвакуационных и медицинских процедур в ходе поиска и спасения в труднодоступных районах целесообразно применение широкой линейки робототехнических комплексов [1, 2]. В настоящее время применительно к таким операциям разработаны и описаны в литературе роботизированные комплексы с различным назначением, функционалом и разным базированием в среде [3–7]:

- БА воздушного, надводного и наземного базирования;
- роботы-скауты наземного базирования для картографирования разведки и точного наведения в конкретных локациях;
- медицинские роботы для эвакуации пострадавших в условиях действия экстремальных факторов среды и в ситуациях наличия показаний к экстренной реанимации (в жизнеугрожающих ситуациях) и др.

В работах [8, 9] авторы непосредственно обращаются к вопросам применения роботов при поиске и спасении в экстремальных условиях Арктической зоны России (АЗР).

Из перечисленных публикаций следует, что в настоящее время рассматривается применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как одно из наиболее действенных средств обеспечения поисково-спасательных работ. При этом достаточно часто рассматривается не изолированное применение этого типа БА, а применение БПЛА в группе и совместное применение роботов воздушного и наземного базирования, что, по мнению ряда авторов, позволяет существенно повысить уровень ситуационной осведомленности

спасателей о локации, в которой предполагается нахождение пострадавших. В то же время есть указания на то, что выполнение людьми визуального сканирования неструктурированной местности без привлечения БПЛА может потребовать чрезмерных затрат времени команды спасателей из-за трудоемкости и возможных помех в удаленных и малоизученных районах.

В исследованиях [3, 10] авторы акцентируют внимание на проблемах выполнения поиска и спасания с использованием БПЛА и построения связанных с ними вычислительных платформ для реализации развитых сенсорных технологий.

Выполненный авторами цитированных работ анализ показывает, что при проведении поиска и спасания применение сенсоров в составе бортового оборудования БПЛА должно способствовать достижению четырех ключевых задач, а именно определить:

- местонахождение человека (пострадавшего);
- безопасный маршрут, чтобы получить скорейший доступ в месторасположение пострадавшего;
- тяжесть состояния здоровья пострадавшего, чтобы найти способ как стабилизировать ситуацию в том числе с использованием средств медицинской помощи;
- возможность эвакуации пострадавшего в безопасную локацию.

Таким образом, ключевая фаза спасательной миссии – это поиск, содержание которого можно определить как решение задачи устранения неопределенности относительно возможного местонахождения пострадавшего человека. В процессе решения этой задачи для информационного обеспечения лиц, принимающих решение о выборе тактических вариантов и задающих индивидуальные планы действий спасателям в очаге ЧС, фактически производится создание многослойной электронной карты, одним из слоев которой является графическое представление распределения вероятностей нахождения целевых объектов и которая помогает спасательным командам уточнить требуемые ресурсы команды, выработать тактику распределения сил и средств.

Эту часть работы выполняет руководящее звено команды спасателей, которое с использованием компьютерных систем картографирования и маршрутизации собирает в режиме реального времени данные разведки и картографирования от БА, а также от спасателей на местности, которые имеют возможность верифицировать наблюдаемые ими данные при непосредственном обследовании локации с учетом визуально определяемых ориентиров и дать экспертную оценку степени риска в сложившихся условиях. В свою очередь сами спасатели нуждаются в конкретных сведениях об окружающей среде, в том числе вне зоны видимости, когда получают вводные на выполнение поиска.

Оповещение членов поисково-спасательных команд в удаленных локациях о вновь выявленных объектах и опасных условиях направлено на

улучшение знаний о текущих условиях и тенденциях развития ситуации. Оно должно способствовать координации усилий, снижению рисков для спасателей, правильному целеполаганию поисковой команды и сокращению времени поиска целевых объектов. Во многих исследованиях представлена аргументация о высокой значимости своевременного получения достоверной информации о ЧС в определенный критический период времени (при разном для видов ЧС вероятном ущербе здоровью пострадавших в отношении прогноза выживания), что является одним из преимуществ применения робототехнических средств [6, 11].

Очевидно, что спасатели и медицинский персонал могут своевременно приступить к оказанию экстренной помощи выжившим в ЧС только после получения необходимого состава данных об их местонахождении и установленных маршрутах перемещения в локацию.

Полезность БПЛА для повышения ситуационной осведомленности была отмечена рядом источников [12, 13]. Ситуационная осведомленность в данном контексте – это степень осведомленности о состоянии окружающей среды в месте бедствия. Этот состав сведений может включать местонахождение выживших, объекты потенциальных коллизий и другие опасности или любой другой фактор окружающей среды, который может значимо повлиять на усилия команды спасания. В числе задач поискового этапа – составление когнитивной карты местности с разметкой электронной топографической карты не только с помощью опознаваемых ориентиров и проложенных рациональных маршрутов для перемещения спасательных средств, но и с указанием локализации источников патогенного воздействия, наиболее опасных участков, обозначением с помощью маяков мест складирования медицинского имущества и (при необходимости) дополнительных мест укрытия пострадавших и самих спасателей.

Для выполнения этого этапа ведутся разработки БПЛА, оснащенных сенсорами, датчиками и системами технического зрения для автоматической разведки, рекогносцировки и картографирования по SLAM (*англ.*: Simultaneous localization and mapping) технологии [14].

В работе [15] отмечается, что в русле проектирования взаимодействия «человек – робот» (*англ.*: Human Robot Interaction, HRI) для применения в экстремальных ситуациях ведутся исследования по интеграции высокотехнологичных решений из смежных областей науки и техники, включая направления ИИ. В их числе называются:

- дистанционное зондирование и мониторинг для измерения физических свойств окружающей среды и обнаружения событий и/или изменений в экстремальных условиях;
- реконструкция динамических сцен на основе значимых наборов данных с визуализацией в системе виртуального окружения;
- автономная навигация и позиционирование для обеспечения перемещения в условиях экстремальных сред;

- интерфейсы «человек – робот» для дистанционного управления роботами в экстремальных условиях, включая технологии распознавания голосовых и жестовых команд на основе мультимодальных интерфейсов;
- безопасное переключение между уровнями автономности для телеуправления в системе взаимодействия «человек – робот» при коллаборации с группой разнородных роботов;
- человеческие факторы при использовании роботизированной поддержки в экстремальных условиях окружающей среды и др.

1.2. Робототехническая поддержка при поиске и спасании космонавтов в прогнозируемых условиях северных климатических зон

Рассмотренный круг вопросов имеет непосредственное отношение к актуальным направлениям медико-технического обеспечения безопасности пилотируемых космических полетов. Применительно к области пилотируемой космонавтики проблема повышения результативности и оперативности проведения поисково-спасательных операций связана с необходимостью экстренного реагирования на риски для безопасности и выживания экипажа космонавтов после нештатных спусков пилотируемого космического аппарата. Эта ситуация во многом аналогична той, которая возникает при летных инцидентах и нештатных посадках авиационных летательных аппаратов. Одно из современных направлений в этой области посвящено вопросам оперативно-тактического плана и характеристике состава обеспечивающих технологий в экстремальных условиях [16–18].

Несмотря на значительные достижения в области технологий поиска и спасания пострадавших в инцидентах, критическим звеном остается первый этап экстренного реагирования на возникшую ситуацию, так как до обнаружения пострадавших и уточнения их местоположения все другие виды работ не могут быть спланированы и реализованы в полном объеме. Высокая неопределенность начального периода работ в общем случае не позволяет достоверно определить то резервное время, в течение которого человек сохраняет способность к выживанию при различных условиях окружающей среды и при потенциально возможном повреждении органов и систем организма. Это заставляет ориентироваться на самые жесткие временные ограничения, исходя из тех данных выживания пострадавших, которые доступны в медицинских работах о холодовых травмах в АЗР [16].

Согласно этим исследованиям, с точки зрения организации оказания медицинской помощи экипажам, совершившим вынужденную посадку в районах Крайнего Севера, имеются особенности, обусловленные влиянием специфических климатогеографических факторов, наиболее значимые из которых – воздействие холода, связь зимнего сезона с полярной ночью, протяженные безлюдные пространства и малонаселенность, отсутствие развитой дорожной сети, а также удаленность от клинических стационаров и др.

Теме проведения поиска и спасания космонавтов в АЗР и связанным с этими особенностями медицинским обеспечением пилотируемых полетов и оснащением специалистов медицинским инструментом в свете перспективных проектов посвящены исследования ряда последних лет [16–18]. Показано, что применение роботизированной поддержки и, в частности, использование БПЛА является одним из перспективных направлений повышения эффективности поисково-спасательных работ в условиях Крайнего Севера за счет качественного проведения разведки и картографирования местности в районе аварийной посадки экипажа космонавтов. С использованием роботизированной поддержки целесообразно организовать пополнение аварийных запасов и дооснащение терпящих бедствие космонавтов всем необходимым для самостоятельного выживания, включая комплектование защитным снаряжением от холодового поражения, медицинским имуществом и медикаментами и др.

1.3. Состав требований к операторскому интерфейсу специалистов экстремального профиля деятельности при ведении поиска пострадавших в ЧС

В ходе экстренного реагирования на ЧС и при ликвидации ее последствий остро стоит проблема сбора необходимого состава исходных данных (с использованием широкого набора сенсоров и устройств сбора и обработки данных) и применения развитых средств операторского интерфейса для отображения разнородной информации специалистам в зоне очага на местности.

Сочетание возможностей постоянного расширенного доступа к актуальной информации в режиме реального времени с одновременным сохранением привычных способов ведения зрительной пространственной ориентировки и прямого контроля событий в окружающей среде признается сложной и значимой задачей для надежности деятельности специалистов экстремального профиля. В числе актуальных направлений, которые относятся к изучению комплекса возникающих в этой связи вопросов, можно указать инструментальные средства для выполнения задач:

- разведка, картографирование, навигация, локализация и идентификация для оперативного обнаружения пострадавших в сложно структурированной окружающей среде;
- выявление источников патогенного действия на организм, средства медицинской диагностики здоровья человека и медицинского оборудования для оценки показаний к неотложным мероприятиям и др.;
- оперативный контроль работоспособности и психических проявлений у самого специалиста, выполняющего свои обязанности в условиях психологического и физиологического стресса и воздействия повреждающих факторов.

При проектировании средств индикации для таких условий необходимо использовать возможности комбинирования разнотипной визуальной информации:

- воспринимаемой непосредственно из реальной физической среды (через оптические и оптоэлектронные приборы);
- синтезируемой с помощью компьютерной техники и имитационного моделирования;
- извлекаемой из хранилищ электронных данных.

Представляется целесообразным обеспечить применение высокотехнологичных видов операторского интерфейса при реализации следующего состава командного взаимодействия и индивидуальных действий:

- безопасное преодоление видимых препятствий в зоне двигательной активности с предварительным распознаванием, идентификацией и измерением расстояний до объектов естественного происхождения на поверхности, что становится критически важным фактором в случае пониженной видимости;
- периодический круговой обзор окружающего ландшафта без изменения положения тела человека и выполнения им поворотов, что предполагает достижение посредством управления движениями головы и глаз, фиксацией направления взгляда с подтверждением речевой командой и др.;
- активное управление ходом диалога с группой поддержки посредством адресного указания абонента связи (коммуникации в группе), темы диалога и ключевых слов, срочности получения справки/инструкции, переадресации запросов на востребованные в контексте развития ситуации источники (на руководства и иллюстрации), включая инструкции выполнения предписанных алгоритмов в мультимедийном представлении;
- формирование экстренных сообщений о внеплановом развитии событий, возникших неполадках в работе средств индивидуальной защиты и другие действия.

Достаточно долгое время казалось, что такой состав требований практически не реализуем в реальных операциях поиска и спасания, хотя востребованность инновационных средств визуализации не вызывала сомнения у исследователей человеческого фактора, особенно для контингента пользователей, которому жизненно необходима поддержка пространственно-ситуационной осведомленности в неструктурированной среде и при командной организации поведения и деятельности.

Проблема в последнее время решалась адаптацией к эксплуатационным производственным условиям в специальном исполнении таких носимых устройств как смартфоны и планшеты, в том числе конструктивно сопряженные с элементами специального снаряжения, что расширило рамки ведения связи, а также доступ к априорно собранной информации о целевых объектах. К ограничениям такого подхода относится необходимость задействования ручного способа ввода запросов и командных строк с клавиатуры изделий или специальных управляющих оконечных устройств типа джойстика и др. Эти проблемы взаимодействия в системе «человек – машина» и «человек – робот» стали более успешно решаться по мере создания алгоритмов на базе ИИ для построения многомодального интерфейса.

Эти два направления будут представлены во второй части настоящего исследования. Радикальное изменение ситуации в анализируемой области построения операторских интерфейсов произошло при появлении коммерчески доступных продуктов микроэлектроники, включающих носимые мобильные устройства на базе виртуальной и AR-технологий. Эти достижения привели к ожидаемым попыткам комплексирования технологий ИИ (технологии смешанной и расширенной реальности), что позволило достичь эффекта совмещения в восприятии человека реального и виртуального миров с избирательным отображением семантически значимой информации в виде виртуального контента без потери видимости реального окружения, чтобы облегчить ориентировку и коммуникацию с другими индивидами, использующими аналогичные инструменты для взаимодействия в общем информационном пространстве.

В качестве резюме по первой части настоящего исследования можно сформулировать следующее положение: роботизированная поддержка выполнения операций поиска и спасания космонавтов в нештатных медицинских ситуациях, возникающих при приземлении спускаемого космического аппарата, рассматривается в плане безопасности самого спасателя в экстремальной среде и создания благоприятных условий выживания пострадавших.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев, С.Ф. Методологические проблемы инженерной психологии и эргономики техногенного мира / С.Ф. Сергеев. – DOI: 10.31857/S020595920020493-8 // Психологический журнал. – 2022. – Т. 43, № 3. – С. 25–33.
2. Williams, A. Review and analysis of search, extraction, evacuation, and medical field treatment robots / A. Williams, B. Sebastian, P. Ben-Tzvi. – DOI: 10.1007/s10846-019-00991-6 // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2019. – Vol. 96, No 3. – P. 401–418.
3. Unmanned aerial vehicles for search and rescue: A survey / M. Lyu, Y. Zhao, C. Huang, H. Huang. – DOI: 10.3390/rs15133266 // Remote Sensing. – 2023. – Vol. 15, No 13. – P. 3266
4. Козлов, В.И. К вопросу применения робототехнических средств специального назначения МЧС России при проведении аварийного поиска и спасания экипажа спускаемого космического аппарата при его приземлении в зонах крупных лесных пожаров / В.И. Козлов, В.С. Николаев, И.А. Пеньков // Пилотируемые полеты в космос. – 2023. – № 3(48). – С. 70–79.
5. Лопота, А.В. Мобильные наземные робототехнические комплексы профессионального назначения / А.В. Лопота, Б.А. Спасский. – DOI: 10.31776/RTCJ.8101 // Робототехника и техническая кибернетика. – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 5–17.
6. Arnold, R.D. Search and rescue with autonomous flying robots through behavior-based cooperative intelligence / R.D. Arnold, H. Yamaguchi, T. Tanaka. – DOI:

- 10.1186/s41018-018-0045-4 // *Journal of International Humanitarian Action*. – 2018. – Vol. 3, No 1. – P. 1–18.
7. The current state and future outlook of rescue robotics / J.A. Delmerico, S. Mintchev, A. Giusti, B. Gromov [et al.]. – DOI: 10.1002/rob. 21887 // *Journal of Field Robotics*. – 2019. – Vol. 36, No 7. – P. 1171–1191.
8. Спасание пострадавших в авиационных инцидентах в Арктике / А.В. Поляков, Н.А. Грязнов, Б.И. Крючков, В.М. Усов. – DOI: 10.30981/2587-7992-2020-103-2-40-53 // *Воздушно-космическая сфера*. – 2020. – № 2(103). – С. 40–53.
9. Лопота, А.В. Концептуальные вопросы разработки роботизированных систем для поиска и спасения людей, терпящих бедствие, в условиях Арктики / А.В. Лопота, П.К. Шубин // *Робототехника и техническая кибернетика*. – 2018. – № 1(18). – С. 3–9.
10. Supporting Search and Rescue Operations with UAVs / A. Karamanou, G.-C. Dreliosi, D. Papadimitos, A. Hahlakis. – DOI: 10.16084/m9.figshare. 8986412 // In: *Proceedings of the 5th International Conference on Civil Protection & New Technology*. – 2018. – Vol. 31. – P. 63–75.
11. Search is a time-critical event: when search and rescue missions may become futile / A.L. Adams, T.A. Schmidt, C.D. Newgard, C.S. Federiuk [et al.]. – DOI: 10.1580/06-WEME-OR-035R1.1 // *Wilderness & Environmental Medicine*. – 2007. – Vol. 18, No 2. – P. 95–101.
12. Help from the sky: Leveraging UAVs for disaster management / M. Erdelj, E. Natalizio, K.R. Chowdhury, I.F. Akyildiz // *IEEE Pervasive Computing*. – 2017. – Vol. 16, No 1. – P. 24–32.
13. Drones to the Rescue! Inside GNSS. Unmanned aerial search missions based on thermal imaging and reliable navigation / P. Molina, I. Colomina, P. Victoria, J. Skaloud [et al.] // *InsideGNS*. – 2012. – P. 38–47.
14. Использование графоаналитических методов для составления дорожных карт и определения контрольных точек на маршрутах луноходов для отслеживания космонавтами точности позиционирования по навигационным маякам / М.М. Князьков, М.В. Михайлюк, Б.И. Крючков, В.А. Довженко [и др.] // *Пилотируемые полеты в космос*. – 2024. – № 2(51) – С. 120–144.
15. Editorial: Robotics in Extreme Environments / C. Takahashi, M. Giuliani, B. Lennox, W.R. Hamel [et al.]. – DOI: 10.3389/frobt.2021.744092 // *Frontiers in Robotics and AI*. – 2021. – Vol. 8. – 744092 p.
16. Инновационные технологии для медицинского обеспечения пострадавших в нештатных и аварийных ситуациях в условиях Арктики / А.В. Поляков, Е.А. Ильин, В.М. Усов, М.В. Дворников [и др.]. – DOI: 10. 21687/0233-528X-2020-54-2-5-21 // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2020. – Т. 54, № 2. – С. 5–21.
17. Инновационные решения для проведения поиска, спасания и оказания помощи космонавтам на месте вынужденной посадки спускаемого аппарата транспортного пилотируемого корабля в экстремальных условиях Северных климатогеографических зон / А.В. Поляков, В.М. Усов, Б.И. Крючков, Ю.П. Чернышев [и др.] // *Пилотируемые полеты в космос*. – 2019. – № 2(31). – С. 76–95.
18. Предложения по организации медицинского обеспечения поисково-спасательных работ при аварийной посадке экипажей Российской орбитальной станции

(РОС) в условиях Крайнего Севера / А.В. Поляков, М.В. Поляков, Е.А. Ильин, В.М. Усов // В Сб.: Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации: материалы научно-практической конференции. – Мурманск: МАГУ, 2023. – С. 256–258.

REFERENCES

1. Sergeev, S.F. Methodological problems of engineering psychology and ergonomics of the technogenic world / S.F. Sergeev. – DOI: 10.31857/S020595920020493-8 // *Psihologicheskij zhurnal*. – 2022. – Vol. 43, No 3. – P. 25–33.
2. Williams, A. Review and analysis of search, extraction, evacuation, and medical field treatment robots / A. Williams, B. Sebastian, P. Ben-Tzvi. – DOI: 10.1007/s10846-019-00991-6 // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. – 2019. – Vol. 96, No 3. – P. 401–418.
3. Unmanned aerial vehicles for search and rescue: a survey / M. Lyu, Y. Zhao, C. Huang, H. Huang. – DOI: 10.3390/rs15133266 // *Remote Sensing*. – 2023. – Vol. 15, No 13. – 3266 p.
4. Kozlov, V.I. Pertaining to the use of special-purpose robotics of the MES of Russia when carrying out an emergency search-and-rescue mission of the descent module crew under large-scale forest fire conditions at the landing place / V.I. Kozlov, V.S. Nikolayev, I.A. Penkov // *Manned Spaceflight*. – 2023. – No 3(48). – P. 70–79.
5. Lopota, A. Mobile ground-based robot systems for professional use / A. Lopota, B. Spassky. – DOI: 10.31776/RTCJ.8101 // *Robotics and Technical Cybernetics*, – 2020. – Vol. 8, No 1. – P. 5–17.
6. Arnold, R.D. Search and rescue with autonomous flying robots through behavior-based cooperative intelligence / R.D. Arnold, H. Yamaguchi, T. Tanaka. – DOI: 10.1186/s41018-018-0045-4 // *Journal of International Humanitarian Action*. – 2018. – Vol. 3, No 1. – P. 1–18.
7. The current state and future outlook of rescue robotics / J.A. Delmerico, S. Mintchev, A. Giusti, B. Gromov [et al.]. – DOI: 10.1002/rob. 21887 // *Journal of Field Robotics*. – 2019. – Vol. 36, No 7. – P. 1171–1191.
8. Victims of aviation incidents rescue in the Arctic / A.V. Polyakov, N.A. Gryaznov, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov. – DOI: 10.30981/2587-7992-2020-103-2-40-53 // *Aerospace Sphere Journal*. – 2020. – No 2(103). – P. 40–53.
9. Lopota, A. Conceptual development issues of robotic systems for search and rescue of people in distress in Arctic conditions / A. Lopota, P. Shubin // *Robotics and Technical Cybernetics*. – 2018. – No 1(18). – P. 3–9.
10. Support of the search and rescue operations with UAVs / A. Karamanou, G.-C. Dreliosi, D. Papadimatos, A. Hahlakis. – DOI: 10.1007/978-3-319-89864-1_9 // *Proceedings of the 5th International Conference on Civil Protection & New Technology*. – 2018. – Vol. 31. – P. 63–75.
11. Search is a time-critical event: when search and rescue missions may become futile / A.L. Adams, T.A. Schmidt, C.D. Newgard, C.S. Federiuk [et al.]. – DOI: 10.1580/06-WEME-OR-035R1.1 // *Wilderness & Environmental Medicine*. – 2007. – Vol. 18, No 2. – P. 95–101.

12. Help from the sky: Leveraging UAVs for disaster management / M. Erdelj, E. Natalizio, K.R. Chowdhury, I.F. Akyildiz // *IEEE Pervasive Computing*. – 2017. – Vol. 16, No 1. – P. 24–32.
13. Drones to the Rescue! Inside GNSS. Unmanned aerial search missions based on thermal imaging and reliable navigation / P. Molina, I. Colomina, P. Victoria, J. Skaloud [et al.] // *InsideGNS*. – 2012. – P. 38–47.
14. Use of Graph Analytic Techniques for Roadmapping and Marking the Control Points on the Lunar Rovers Routes by Cosmonauts to Track the Positioning Accuracy by Navigation Beacons / M.M. Knyazkov, M.V. Mikhailuk, B.I. Kryuchkov, V.A. Dovzhenko [et al.] // *Manned Spaceflight*. – 2024. – No 2(51). – P. 120–144.
15. Editorial: Robotics in Extreme Environments / C. Takahashi, M. Giuliani, B. Lennox, W.R. Hamel [et al.]. – DOI: 10.3389/frobt.2021.744092 // *Frontiers in Robotics and AI*. – 2021. – Vol. 8. – 744092 p.
16. Innovative medical care technologies for persons aggrieved in off-nominal and emergency situations in the Arctic / A.V. Polyakov, E.A. Ilyin, V.M. Usov, M.V. Dvornikov [et al.]. – DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-2-5-21 // *Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina* – 2020. – Vol. 54, No 2. – P. 5–21.
17. Innovative solutions for searching, rescuing, and rendering assistance to cosmonauts on the forced landing place of the descent module under extreme conditions of the Northern climatic zone / A.V. Polyakov, V.M. Usov, B.I. Kryuchkov, Yu.P. Chernyshev [et al.] // *Manned Spaceflight*. – 2019. – No 2(31). – P. 76–95.
18. Proposals for organizing medical support for search and rescue operations during emergency landing of Russian Orbital Station (ROS) Crews under the Far North conditions / A.V. Polyakov, M.V. Polyakov, E.A. Ilyine, V.M. Usov // *Emergency management in the Arctic zone of the Russian Federation: materials of the scientific and practical conference*. – Murmansk: MAGU, 2023. – P. 256–258.