

УДК 629.78:004.896:355.588

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

Канд. воен. наук, проф. В.И. Козлов; канд. воен. наук, проф. В.С. Николаев; И.А. Пеньков (ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России»)

Статья посвящена вопросу организации поиска и эвакуации с места посадки космонавтов и спускаемых космических аппаратов при нештатных ситуациях и при наличии чрезвычайных ситуаций (ЧС) в зоне приземления, а также возможности возникновения таких ЧС по причине аварийного приземления. Рассмотрены проблемы взаимодействия сил и средств МЧС России по оказанию помощи при проведении поисково-спасательных работ экипажа спускаемого космического аппарата (КА) с применением робототехнических средств.

Ключевые слова: робототехнические средства, космические аппараты, поисково-спасательный комплекс, пожаротушение, лесные пожары

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. Nikolaev, I.A. Penkov

The paper deals with the organization of the search-and-rescue operations and evacuation of cosmonauts and descent modules under off-nominal and emergency situations at the landing place as well as at the possibility of evolving such situations due to the emergency landing. The problems of interoperation of powers and facilities of the Russian MES for supporting search-and-rescue operations of the landing module crew using robotics are also considered.

Keywords: robotics, spacecraft, search-and-rescue complex, firefighting, forest fires

Организация поиска и эвакуации с места посадки космонавтов и спускаемых космических аппаратов, а также контроль поисково-спасательного обеспечения (ПСО) КА осуществляется руководителем Федеральной аэронавигационной службы в соответствии с «Положением по организации поисково-спасательного обеспечения полетов космических объектов» (Приказ Федеральной аэронавигационной службы, Министра обороны Российской Федерации, Федерального космического агентства от 06.08.2007 № 73/311/76) [1], через:

- Управление организации авиационно-космического поиска и спасания Федеральной аэронавигационной службы;
- Федеральное бюджетное учреждение «Служба единой системы авиационно-космического поиска и спасания» (ФБУ «Служба ЕС АКПС»);
- территориальные органы Федеральной аэронавигационной службы;
- Главный авиационный координационный центр поиска и спасания единой системы авиационно-космического поиска и спасания (ГКЦПС ЕС АКПС), который проводит непосредственное оперативное управление поисково-спасательного обеспечения полетов космических объектов.

В Министерстве обороны РФ поисково-спасательное обеспечение полетов космических объектов осуществляют органы военного управления, определенные Главкомандующим ВВС и Главкомандующим ВМФ.

Поиск спускаемых космических аппаратов и экипажей, оказание им помощи и дальнейшей эвакуации осуществляется силами и средствами поисково-спасательного комплекса ВВС и ВМФ на основании заключенных договоров.

При штатной посадке спускаемого аппарата (СА) предполагаемый район посадки заранее известен, а при его срочном спуске данные о районе посадки передаются из Главной оперативной группы управления (ГОГУ) Центра управления полетами в ГКЦПС ЕС АКПС не позднее чем за 90 минут до раскрытия основной парашютной системы спускаемого аппарата.

Для выполнения ПСО посадки СА требуется минимально необходимый состав поисковой авиационной и наземной техники в расчетных точках посадки в основном районе:

- по управляемой траектории спуска – 2 самолета, не менее 8 вертолетов, 4 поисково-эвакуационные машины (ПЭМ);
- по баллистической траектории спуска – 1 самолет и 2 вертолета.

В запасном районе – наземная техника (2 ПЭМ), а также авиационные средства из наряда сил основного района (1–2 самолета и до 5 вертолетов).

Таким образом, возникает проблема организации поиска и эвакуации с места посадки космонавтов и СА при нештатных ситуациях, при наличии ЧС в зоне приземления, а также возможности возникновения такой ЧС при аварийном приземлении. Необходима согласованность взаимодействия сил и средств МЧС России по оказанию помощи при проведении поисково-спасательных работ (ПСР) с экипажем спускаемого космического аппарата. Перечень таких работ и решаемых задач оговорены в руководящих документах МЧС РФ, но требуется четкое определение действий экипажа СА и порядок взаимодействия в ходе ПСР.

Последние годы на территории нашей страны периодически происходят ЧС, связанные с лесными пожарами и наводнениями крупных масштабов. Совпадение места аварийного приземления СА с зоной крупного лесного пожара приведет к возникновению трудностей при проведении поисковых и аварийно-спасательных работ.

Для их решения необходимо оперативное согласование действий по привлечению сил и средств МЧС России к оказанию помощи в проведении поисковых и аварийно-спасательных работ экипажа СА в очаге пожара.

Исходя из сложной обстановки, складывающейся при данной ЧС, к проведению аварийно-спасательных работ привлекаются силы и средства всех подсистем РСЧС (Единая государственная система предупреждения и ликвидации ЧС).

Основные направления, подлежащие согласованию при организации взаимодействия:

- место проведения поисковых и аварийно-спасательных работ;
- требуемые силы и средства МЧС России для оказания помощи;
- период времени привлечения сил и средств МЧС России;
- порядок применения авиации для тушения очага пожара в районе аварийного приземления СА;
- порядок применения пожарно-спасательной техники и робототехники;
- остав и задачи спасательных парашютно-десантных групп (СПДГ);
- способ эвакуации экипажа СА из очага пожара;
- пункты управления силами и средствами.

На сегодняшний день для расширения решаемых задач и скорости выполнения проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения в МЧС России применяется робототехника в различных средах: наземные, воздушные и подводные [2]. В реагирующих подразделениях МЧС России сосредоточены разнообразные робототехнические комплексы и средства, среди которых 1561 единица воздушных беспилотных авиационных средств вертолетного и самолетного типа (рис. 1), 72 единицы наземных робототехнических комплексов, а также 16 единиц телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов. Использование этих сил может значительно снизить время обнаружения и проведение аварийно-спасательных работ, поиска и эвакуации космонавтов и СА в дистанционном режиме.



Рис. 1. Робототехнические комплексы МЧС РФ

Одним из направлений развития экстремальной робототехники в целом представляется создание функционально ориентированных группировок робототехнических средств в виде единого управляемого комплекса, способного решать задачи в динамически меняющейся среде [3].

Современный уровень систем телеуправления подобными робототехническими комплексами в недетерминированной обстановке аварийно-спасательных операций обеспечивает решение большинства требуемых задач. Очевидно, что создание многофункциональных группировок роботов с автономным принципом управления может быть реализовано на основе единой системы управления робототехническими средствами (ЕСУ РТС), основными требованиями к которой должны быть:

- обеспечение ориентации в пространстве (позиционирование), в том числе и без использования спутниковой системы навигации;
- помехоустойчивость каналов связи;
- возможность оперативного развертывания многофункциональной группировки робототехнических средств [4].

Существующие в настоящее время технологии позиционирования базируются, как правило, на использовании глобальных систем GPS/ГЛОНАСС. Однако в условиях ЧС с применением группировок наземных и воздушных робототехнических средств системы позиционирования GPS/ГЛОНАСС могут быть недоступны. Поэтому одним из основных направлений перспективных разработок в области систем управления РТС является уход от использования спутниковых навигационных систем с помощью альтернативных методов определения положения и ориентации объекта в пространстве [5].

Такой альтернативой может быть использование радиоканалов связи при синхронизации по информационному сигналу без применения синхроимпульсов и использование алгоритмов определения положения в пространстве на основе анализа взаиморасположения между точками связи (модифицированный метод К-ближайших соседей). Такую систему можно построить по принципу Mesh-сетей [6].

Проблема построения системы управления, в частности, для пожарно-спасательных роботов на основе Mesh-технологий (Wireless Mesh Network) состоит в том, что на данном этапе созданы некоторые технические средства, позволяющие организовывать сплошное информационное поле радиопокрытия для беспроводного доступа абонентов к источнику информации на любой местности (включая городской район, улицы, здания и помещения). Технические возможности такого оборудования даже на этапе планирования самоорганизующихся сетей позволяют утверждать, что беспроводное покрытие любой местности может быть использовано для быстрого развертывания надежно защищенной сети в случаях ЧС на пересеченной местности или в городе. Применение Mesh-сети позволит объединить отдельные РТС любого типа в адаптивную самоорганизующуюся сеть и удаленно управлять такой группировкой как единым комплексом (рис. 2) [7].

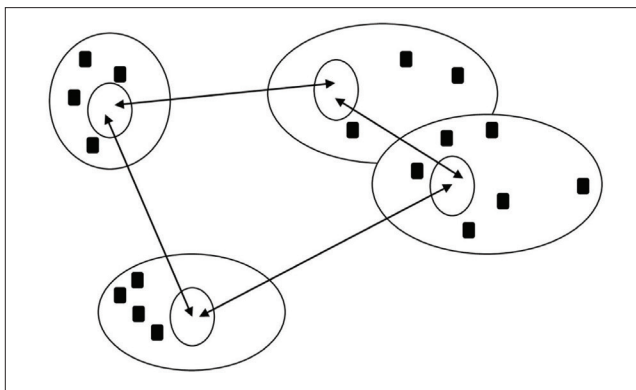


Рис. 2. Принцип работы РТ и РТС в Mesh-сети

Такая самоорганизующаяся многоагентная система строится как множество автономных робототехнических средств, способных воспринимать и коллективно оценивать ситуацию, принимать решения в реальном времени и обучаться. ЕСУ РТС должна включать протоколы связи, алгоритмы управления и методы взаимного обнаружения [8].

При этом робототехнические средства будут оставаться мобильными и автономными, обеспечивающими бесконфликтность выполнения общей задачи. Mesh-сеть обеспечивает большую дальность передачи данных (посредством ретрансляции сигналов) и устойчивость сети к помехам и потерям связи, что важно при проведении поисково-спасательных работ экипажа спускаемого космического аппарата при его аварийном приземлении в зонах крупных лесных пожаров. Организация управления и функционирования группировки роботов основана на «командной работе»: РТС решают общую задачу и при этом оператором они воспринимаются как единый объект управления [9].

Применение такой системы позволит обеспечивать радиосвязь на значительной территории при минимальной мощности излучения и возможности свободного перемещения РТС [10].

Сравнительная оценка эффективности робототехнических комплексов должна осуществляться с помощью системы количественно-качественных показателей. Так, конструктивно-техническое качество РТС целесообразно характеризовать степенью универсальности (многофункциональности) по выполнению типовых задач при возможно возникающих ЧС различного характера. Данный показатель можно оценить с учетом критерия Лапласа по формулам вида (1, 2):

$$y_{\text{пр}} = \sum_{Z=1}^{N_{\text{чс}}} \eta_Z M_{\text{пр},Z}; \quad \sum_{Z=1}^{N_Z} \eta_Z = 1,0, \quad (1)$$

$$y_{\text{пр},Z} = \sum_{\beta_Z}^{M_Z} \eta_{\beta_Z}; \quad \sum_{\beta_Z}^{m_Z} = 1,0, \quad (2)$$

где $y_{\text{пр}}$ – степень универсальности робототехнического средства;

$M_{\text{пр}}$ – степень применяемости робототехнического средства в ЧС Z -го вида;

η_{β_Z} – коэффициент весомости задачи β -го типа в ЧС Z -го вида;

$N_{\text{чс}}$ – количество рассматриваемых ЧС;

η_z – коэффициент весомости (прогнозируемая частота возникновения) ЧС Z -го вида, соответственно количество типов задач при ЧС Z -го типа и количество выполняемых задач робототехнических средств в этой ЧС Z -го типа.

Для условий неопределенности, считая равновероятным возникновение крупномасштабных аварий и равновероятной потребность выполнения различных типов задач (работ) в каждой аварии, степень универсальности робототехнического средства возможно определить по упрощенной формуле (3):

$$y_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{вз}}}{N_{\text{оз}}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{оз}}$ – общее количество прогнозируемых типов задач во всех рассматриваемых авариях;

$N_{\text{вз}}$ – общее количество типов задач, которые может выполнять многофункциональное робототехническое средство.

По данным проведенного обобщенного анализа последствий произошедших техногенных ЧС можно систематизировать типовые работы в количестве семи основных блоков для крупномасштабных аварий радиационного, химического, взрывопожарного характера и пр. [11].

При общем подходе степень влияния на эффект применения робототехнических средств по различным базовым показателям Π можно рассчитать по формуле (4):

$$S_{\text{пр}} = \frac{\Pi_{\text{РТС}}^{\text{ДУ}} - \Pi_{\text{РТС}}^{\text{ЭК}}}{\Pi_{\text{РТС}}^{\text{НУ}}}, \quad (4)$$

где $\Pi_{\text{РТС}}^{\text{ДУ}}$, $\Pi_{\text{РТС}}^{\text{ЭК}}$, $\Pi_{\text{РТС}}^{\text{НУ}}$ – значения базового показателя при применении робототехнических средств соответственно в ЧС в режиме дистанционного управления, в ЧС в режиме экипажного управления, в нормальных условиях в режиме экипажного управления.

В качестве базовых показателей целесообразно применять: t – время, V – производительность и Q – объем выполнения задач [12].

Так, S_t – степень применения РТС в режиме ДУ на время выполнения задачи (t) будем рассчитывать по формуле (5):

$$S_t = \frac{t_{\text{РТС}}^{\text{ДУ}} - t_{\text{РТС}}^{\text{ЭК}}}{t_{\text{РТС}}^{\text{НУ}}}. \quad (5)$$

S_V – степень влияния применения РТС в режиме ДУ на производительность выполнения задачи (V) будет определяться формулой (6):

$$S_V = \frac{V_{\text{РТС}}^{\text{ДУ}} - V_{\text{РТС}}^{\text{ЭК}}}{V_{\text{РТС}}^{\text{НУ}}}. \quad (6)$$

S_Q – степень влияния применения РТС в режиме ДУ на объем выполнимой задачи (Q) будет рассчитываться по формуле (7):

$$S_Q = \frac{Q_{\text{РТС}}^{\text{ДУ}} - Q_{\text{РТС}}^{\text{ЭК}}}{Q_{\text{РТС}}^{\text{НУ}}}. \quad (7)$$

Таким образом, эффективность применения РТС при организации поиска и эвакуации с места посадки космонавтов и СА при нештатных ситуациях, при наличии ЧС в зоне приземления, а также возможности возникновения такой ЧС при аварийном приземлении СА, будет выражаться в вероятности более раннего обнаружения места посадки СА за счет большего ряда одновременно решаемых задач (рис. 3).

Эффективность применения РТК

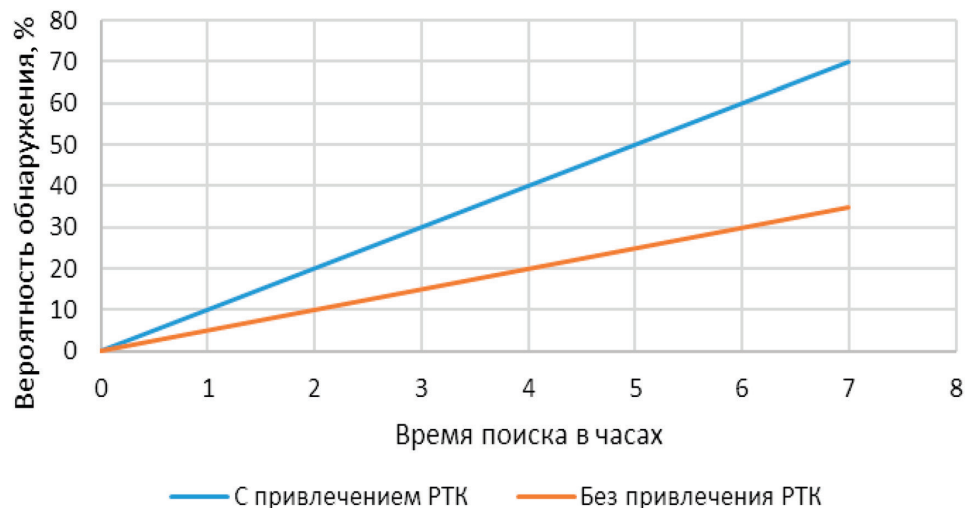


Рис. 3. График эффективности применения РТК

Выводы

1. Для выполнения ПСО посадки СА требуется минимально необходимый состав поисковой авиационной и наземной техники в расчетных точках посадки в основном районе:

- по управляемой траектории спуска – 2 самолета, не менее 8 вертолетов, 4 поисково-эвакуационные машины (ПЭМ);
- по баллистической траектории спуска – 1 самолет и 2 вертолета.

В запасном районе – наземная техника (2 ПЭМ), а также авиационные средства из наряда сил основного района (1–2 самолета и до 5 вертолетов).

Применение РТС специального назначения необходимо для повышения эффективности поиска экипажа и СА.

2. Проведенные вышеизложенные математические обоснования предварительной оценки эффективности применения РТС специального назначения в составе основных сил и средств МЧС России наглядно демонстрируют расширенные возможности при проведении поисково-спасательных работ экипажа СА при его аварийном приземлении в зонах крупных лесных пожаров.

3. Исследование, проведенное авторами статьи по рассмотренной теме, актуально в разработке рекомендаций по подготовке космонавтов к действиям при аварийном приземлении в зонах пожаров (возникновении пожара после приземления), а также порядке взаимодействия с подразделениями МЧС, использующих робототехнические комплексы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Об утверждении Положения по организации поисково-спасательного обеспечения полетов космических объектов // Приказ Федеральной аэронавигационной службы, Министра обороны Российской Федерации, Федерального космического агентства от 06.08.2007 № 73/311/76. – URL: <https://base.garant.ru/191697/> (дата обращения 10.07.2023).
- [2] Состав, предназначение и основы деятельности группировки робототехнических средств (комплексов) специального назначения при проведении крупномасштабных пожарно-спасательных операций подразделениями МЧС России / М.В. Савин, Ю.И. Носач [и др.] // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2017. – Том 1. – С. 162–167.
- [3] Носач, Ю.И. Тактические приемы наземных робототехнических комплексов при тушении пожаров на основе опыта применения в составе группировки ФГБУ ВНИИПО МЧС России / Ю.И. Носач, Ю.В. Гаршин, И.А. Пеньков // Применение робототехнических комплексов специального назначения. Сборник трудов XXX Международной научно-практической конференции, 2020. – С. 33–38.
- [4] Галий, С.Н. Технические средства пространственного ориентирования робототехнических устройств / С.Н. Галий, В.К. Доля, А.Е. Панич // Перспективные системы и задачи управления: материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции и XII молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах». – Таганрог: ИП М.Р. Марук, 2021. – С. 85–89.

- [5] Andreev, V. Multi-access Control of Distributed Mobile Robotic Systems on the Base of Networking Technologies / V. Andreev, V. Pryanichnikov, E. Prysev // Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Interdisciplinary Solutions” 20–23rd October 2010, Zadar, Croatia. – P. 15–16. – ISSN 1726-9679.
- [6] Realization of an Autonomous Team of Unmanned Ground and Aerial Vehicles / M. Langerwisch, M. Ax, S. Thamke [et al.] // International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA 2012), Montreal, Canada 3 October 2012. – DOI:10.1007/978-3-642-33509-9_29
- [7] О создании единой системы группового управления робототехническими комплексами / В.А. Агамалян, Е.С. Калинина [и др.] // Труды Международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург: Политехника-сервис, 2014. – 416 с.
- [8] Алгоритм работы и порядок применения автономных робототехнических комплексов для повышения эффективности проведения АСР и пожаротушения / О.А. Коренкова, Е.В. Павлов [и др.] // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Железногорск, 2022. – С. 383–385.
- [9] Adaptive Environment for Developing and Programming of Mobile Robots / V. Pryanichnikov, V. Andreev, V. Ivchenko [et al.] // Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity” 23–26th November 2011, Vienna, Austria. – V. 22. – No 1. – P. 609–610. – ISSN 1726-9679.
- [10] Васильев, А.В. Мобильные мини-роботы разведки: текущее состояние, характерные черты и общие тенденции развития // Известия ЮФУ. Технические науки: Тематический выпуск «Перспективные системы и задачи управления». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – № 3 (104). – С.119–124; Васильев А.В. Малогабаритный реконфигурируемый мобильный робот // Перспективные системы и задачи управления: Материалы Седьмой всероссийской научно-практической конференции. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – С. 61–71.
- [11] Развитие, технология и эффективность применения робототехники в чрезвычайных ситуациях: монография. Часть 1–4 / под ред. науч. рук. и общ. ред. Н.В. Северова. – Химки: АГЗ МЧС России, 2010. – 702 с.
- [12] Павлов, Е.В. Разработка методики обоснования тактико-технических требований к робототехническому комплексу многорежимного пожаротушения // Технологии гражданской защиты. – 2020. – Т. 17. – № 2(64). – С. 61. – ISSN 1996-8493.

REFERENCES

- [1] On Approval of the Regulations on the Organization of Search and Rescue Support for Flights of Space Objects // Order of the Federal Air Navigation Service, Minister of Defense of the Russian Federation, Federal Space Agency dated 06.08.2007 – No 73/311/76. – URL: <https://base.garant.ru/191697/> (accessed 10.07.2023).
- [2] Savin, M.V., Nosach Yu.I., at alias. Configuration, Designation and Operation Basis of the Group of Special-Purpose Robotic Complexes when Carrying out the Large-Scale Fire-And-Rescue Operations by Squads of the MES of Russia. // Problems

- of Ensuring Safety During an Elimination of the Consequences of Emergency Situations. – 2017. – Vol 1. – P. 162–167.
- [3] Nosach, Yu.I. Tactical Methods of Ground-Based Robotic Complexes for Firefighting Based on the Experience of Using them by as Part of the FSBI VNIPO of the MES of Russia / Nosach Yu.I., Garshi Yu.V., Penkov I.A. // An Application of Special-Purpose Robotic Complexes. Proceedings of the XXX International Scientific and Practical Conference, 2020. – P. 33–38.
- [4] Galiy, S.N. Technical Means for spatial Orientation of Robotic Devices / S.N. Galiy, V.K. Dolya, A.E. Panich // Advanced Systems and Control Tasks: Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Practical Conference and the XII Youth School-Seminar “Control and Information Processing in Technical Systems”. – Taganrog: IP M.R. Maruk, 2021. – P. 85–89.
- [5] Andreev, V. Multi-access Control of Distributed Mobile Robotic Systems on the Base of Networking Technologies / V. Andreev, V. Pryanichnikov, E. Prysev // Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Interdisciplinary Solutions” 20–23rd October 2010, Zadar, Croatia. – P. 15–16. – ISSN 1726-9679.
- [6] Realization of an Autonomous Team of Unmanned Ground and Aerial Vehicles / M. Langerwisch, M. Ax, S. Thamke [at al.] // International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA 2012), Montreal, Canada, 3 October 2012. – DOI:10.1007/978-3-642-33509-9_29.
- [7] On the Creation of a Unified System for Group Control of Robotic Complexes / V.A. Agamalyan, E.S. Kalinina [at al.] // Proceedings of the International Scientific-and-Technical Conference. – St. Petersburg: Polytechnic-service, 2014. – 416 p.
- [8] Algorithm of Operation and Procedure for the Use of Autonomous Robotic Complexes to Improve the Efficiency of Carrying out Emergency-Rescue Operations and Firefighting / O.A. Korenkova, E.V. Pavlov [at al.] // Topical Problems of Ensuring Fire Safety and Emergencies Protection. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. – Zheleznogorsk, 2022. – P. 383–385.
- [9] Adaptive Environment for Developing and Programming of Mobile Robots / V. Pryanichnikov, V. Andreev, V. Ivchenko [et al.] // Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity” 23–26th November 2011, Vienna, Austria. – V. 22. – No 1. – P. 609–610. – ISSN 1726-9679.
- [10] Vasiliev, A.V. Mobile Reconnaissance Mini-Robots: Current Status, Characteristics and General Development Trends // Izvestiya SFU. Technical Sciences: Thematic Issue “Advanced Systems and Control Tasks”. Taganrog: Publishing House TTI SFU, 2010. – No 3 (104). – P. 119–124; Vasiliev A.V. Small-sized Reconfigurable Mobile Robot // Advanced Systems and Control Tasks: Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference. Taganrog: Publishing house TTI SFU, 2012. – P. 61–71.
- [11] Development, Technology, and Efficiency of Using Robotics in Emergency Situations: A Monograph. Part 1–4 / Under Academic Supervision and General ed. of N.V. Severov. – Khimki: Civil Defense Academy of the MES of Russia, 2010. – 702 p.
- [12] Pavlov, E.V. Development of the Methodology for Substantiating the Tactical and Technical Requirements for a Robotic Complex for Multi-Mode Firefighting // Civil protection technologies. – 2020. – Vol. 17. – No 2. – P. 61. – ISSN 1996-8493.