21. *Leonard N.E., Paley D.A., Davis R.E., Fratantoni D.M., Lekien F. and Zhang F.* Coordinated control of an underwater glider fleet in an adaptive ocean sampling field experiment in Monterey Bay, *J. Field Robotics*, 2010, Vol. 27, pp. 718-740. Doi: 10.1002/rob.20366.
22. *Beloglazov D.A., Gayduk A.R., Kosenko E.Yu., Medvedev M.Yu., Pshikhopov V.Kh., Solov'ev V.V., Titov A.E., Finaev V.I., Shapovalov I.O.* Gruppovoe upravlenie podvizhnymi ob"ektami v neopredelennykh sredakh [Group control of mobile objects in indeterminate environments], ed. by V.Kh. Pshikhopova. Moscow: Fizmatlit, 2015, 305 p.
23. RRTX: Asymptotically Optimal Single-Query Sampling-Based Motion Planning with Quick Replanning. Michael Otte and Emilio Frazzoli, *The International Journal of Robotics Research*, 2016, Vol. 29, Issue 7, pp. 797-822.

Статью рекомендовала к опубликованию д.т.н. Л.А. Мартынова.

Маевский Андрей Михайлович – АО НПП ПТ «Океанос»; e-mail: maevskiy_andrey@mail.ru; Санкт-Петерсбург, Россия; м.н.с.; аспирант ЮФУ.

Морозов Роман Олегович – e-mail: morozov.r.o.23@yandex.ru; м.н.с.; аспирант ЮФУ.

Горелый Артем Евгеньевич – e-mail: gorelyj1409@gmail.com; магистрант БГТУ «Военмех»; инженер по робототехнике.

Рыжов Владимир Александрович – СпбГМТУ; e-mail: ryzhov@smtu.ru; Санкт-Петерсбург, Россия; д.т.н.; профессор; зав. кафедрой.

Maevsky Andrey Mikhailovich – “Oceanos” JSC; e-mail: maevskiy_andrey@mail.ru; Saint Petersburg, Russia; junior researcher; post-graduate student of SFedU.

Morozov Roman Olegovich – e-mail: morozov.r.o.23@yandex.ru; junior researcher; post-graduate student of SFedU.

Gorely Artem Evgenievich – e-mail: gorelyj1409@gmail.com; master's student of BSTU "Voenmeh"; robotics engineer.

Ryzhov Vladimir Alexandrovich – SMTU; e-mail: ryzhov@smtu.ru; Saint Petersburg, Russia; dr. of eng. sc.; professor; head of department.

УДК 007:621.865.8 DOI 10.18522/2311-3103-2021-1-47-59

А.И. Наговицин, Б.Б. Молоткова

ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ НАЗЕМНЫХ РТК ВН СРЕДСТВАМ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОРАЖЕНИЯ (ПОДАВЛЕНИЯ) ПРОТИВНИКА

Проведен анализ уязвимых систем и элементов типового робототехнического комплекса. Сделан вывод о том, что наибольшую опасность представляют уязвимости каналов управления РТК ВН от средств радиоэлектронного подавления. Приведены классификация основных угроз для каналов управления РТК, а также результаты анализа возможных эффектов от воздействия описанных выше угроз на каждый из каналов. Проведена оценка эффективности канала радиоуправления при использовании станций активных маскирующих помех (САП), а также оценка эффективности функционирования канала передачи данных при применении САП. На основе оценки эффективности канала радиоуправления и канала передачи данных при применении противником станций активных маскирующих помех определена возможная зона эффективного управления, представляющая собой окружность различного радиуса с центром в точке расположения ПУ. С учетом общих технических требований к видам вооружения и военной техники сформулированы основные оперативно-тактические требования к системе противодействия РТК ВН в части радиоэлектронной защиты такие как электромагнитная совместимость (ЭМС), помехозащищенность и помехоустойчивость, радиотехническая маскировка радиоэлектронных средств (РЭС), защищен-

ность РЭС от радиоэлектронного противодействия противника, защищенность РЭС от электромагнитных и ионизирующих излучений ядерного взрыва, снижение эффективности радиоэлектронной разведки противника, защищенность компьютерных средств ППДУ и образцов НРТС ВН от деструктивных информационных воздействий и другие. Определены требования к РЭС ППДУ и образцов НРТК ВН по ограничению плотности потока мощности электромагнитного поля, создаваемого излучением гетеродина приемопередающего устройства в целях исключения распознавания аппаратурой непосредственной разведки (обнаружения) средств РЭП и СНО противника. В заключении сформулирован вывод о том, что предложенный перечень оперативно-тактических требований к системе противодействия РТК ВН средствам радиоэлектронного поражения (подавления) противника и рекомендации по ограничению плотности потока мощности электромагнитного поля, создаваемого излучениями радиопередающих устройств систем управления НРТК ВН должны в полной мере учитываться при разработке и создании систем управления наземных робототехнических комплексов военного назначения. Кроме того, при разработке робототехнических комплексов военного назначения необходимо учитывать все возрастающие возможности перспективных средств радиоэлектронного поражения (подавления) противника.

Робототехнические комплексы военного назначения; оперативно-тактические требования; уязвимости каналов управления РТК ВН; радиоэлектронная защита; зона подавления; эффективное управление.

A.I. Nagovitsin, B.B. Molotkova

OPERATIONAL AND TACTICAL REQUIREMENTS FOR THE SYSTEM OF COUNTERING GROUND-BASED RTK VN MEANS OF ELECTRONIC DESTRUCTION (SUPPRESSION) OF THE ENEMY

The analysis of vulnerable systems and elements of a typical robotic complex is carried out. It is concluded that the greatest danger is represented by the vulnerabilities of the control channels of the RTK HV from the means of electronic suppression. The classification of the main threats for the RTK control channels, as well as the results of the analysis of possible effects from the impact of the threats described above on each of the channels are presented. The evaluation of the effectiveness of the radio control channel when using active masking interference stations (SAP) and the evaluation of the effectiveness of the data transmission channel when using SAP. Based on the evaluation of the effectiveness of the radio control channel and the data transmission channel when the enemy uses active masking interference (SAP) stations, a possible effective control zone is determined, which is a circle of different radii with the center at the location of the PU. Taking into account the general technical requirements for types of weapons and military equipment, the main operational and tactical requirements for the RTC VN counteraction system in terms of radio-electronic protection are formulated, such as electromagnetic compatibility(EMC), noise immunity and noise immunity, radio-technical masking of radio-electronic means (RES), protection of RES from enemy radio-electronic counteraction, protection of RES from electromagnetic and ionizing radiation of a nuclear explosion, reduction in the effectiveness of enemy radio-electronic reconnaissance, the security of computer means of PPDU and samples of NRTS VN from destructive information influences and others. Taking into account the general technical requirements for types of weapons and military equipment, the main operational and tactical requirements for the anti-RTK VN system in terms of electronic protection are formulated. The requirements for the RES of the PPDU and the samples of the NRTC of the HV for limiting the power flux density of the electromagnetic field created by the radiation of the heterodyne of the transceiver device in order to exclude the recognition by the equipment of direct reconnaissance (detection) of the enemy's REP and SNO means are defined. In conclusion, the conclusion is formulated that the proposed list of operational and tactical requirements for the system of countering the RTC VN means of electronic destruction (suppression) of the enemy and recommendations for limiting the power flux density of the electromagnetic field created by the radiation of radio transmitting devices of the control systems of the RTC VN should be fully taken into account when developing and creating control systems for ground-based robotic complexes for military use. In addition, when developing military robotic systems, it is necessary to take into account the ever-increasing capabilities of promising means of electronic destruction (suppression).

Military robotic systems; operational and tactical requirements; vulnerabilities of the control channels of the RTK VN; electronic protection; suppression zone; effective management.

Введение. На сегодняшний день исследованиями и разработками в области робототехнических комплексов (РТК) специального назначения занимаются порядка 900 научно-исследовательских организаций и предприятий промышленности из 50 технологически развитых стран. Интенсивные исследования в области создания специальных роботов проводятся в России, США, Великобритании, Германии, Франции, Израиле, Китае, Японии и Южной Корее [1, 2].

Широкий спектр потенциального применения робототехнических комплексов, специфика задач, решаемых в условиях боевого противостояния, накладывает на устройства военной робототехники требование способности работы в реальной обстановке при частичном или полном отсутствии исходной информации о среде функционирования и определяет повышенные требования к функциональным возможностям соответствующих систем управления [3–8]. Однако на сегодняшний день практически все робототехнические комплексы военного назначения и в особенности их системы управления по прежнему остаются достаточно уязвимыми системами прежде всего от средств радиоэлектронной борьбы [9–12]. Поэтому разработка и внедрение в Вооруженные Силы робототехнических комплексов требует системного подхода и всестороннего военно-технического обоснования требований к их функционирования в условиях воздействия мощной группировки РЭБ противника [13–18].

Поэтому, одной из актуальных задач сегодняшнего дня, является задача определения перечня оперативно-тактических требований к системе противодействия РТК ВН средствам радиоэлектронного поражения (подавления) противника.

Постановка задачи. РТК ВН может быть представлен совокупностью достаточно уязвимых систем и элементов. Типовой робот состоит из следующих систем, состоящих из отдельных элементов:

- информационно-измерительная (сенсорная) система;
- управляющая система;
- система связи с человеком или другими роботами;
- исполнительная (моторная) система.

В зависимости от поражения тех или иных уязвимых элементов РТК ВН может потерять огневую мощь (способность вести разведку – для разведывательных РТК), подвижность или оба свойства одновременно, что приведет к потере боеспособности.

В качестве элементов сенсорной системы РТК обычно используются телевизионные и оптико-электронные устройства, лазерные и ультразвуковые дальномеры, тактильные и контактные датчики, датчики положения, тахометры, акселерометры, гироскопы, передатчики GPS и т.п. Повреждение данных элементов может привести к частичной или полной дезориентации РТК на местности, способности к точному наведению вооружения в цель и др.

Управляющая система служит для выработки закона управления приводами (двигателями) механизмов исполнительной системы на основе сигналов обратной связи от сенсорной системы, а также для организации общения робота с оператором. Обычно управляющая система реализуется на базе управляющих ЭВМ. Такие ЭВМ строятся в малогабаритном, транспортабельном исполнении и обладают повышенной надежностью. Вывод из строя данной ЭВМ может привести к потере возможности управлять вооружением (средствами разведки), передвижением РТК или к полной потере его боеспособности.

Система связи организует обмен информацией между роботом и оператором или другими роботами. Связь может осуществляться по оптоволоконному кабелю, по радио или на основе атмосферных оптических линий связи (АОЛС). Повреждение элементов, обеспечивающих связь с оператором, может привести к потере боеспособности РТК при отсутствии дублирующих каналов связи.

Исполнительная система, определяющая «моторику» робота, может включать приводы управления вооружением (средствами разведки), манипуляторы, двигатель, трансмиссию, ходовую часть (гусеничную или колесную), приводы управления движением робота и многое другое. Повреждение данных элементов может привести к потере огневой мощи, подвижности или других свойств РТК.

Особенностью расположения уязвимых элементов РТК, в отличие от обитаемых образцов ВВТ, является их компактное размещение.

Помимо перечисленных уязвимых элементов потеря боеспособности РТК ВН может быть достигнута выводом из строя оператора (операторов), осуществляющего управление роботом, который может находиться на расстоянии от 300 м до 1–1,5 км при управлении по радио или с применением АОЛС.

При этом наибольшую опасность представляют уязвимости каналов управления робототехническими комплексами от средств радиоэлектронного подавления [19, 20].

В связи с тем, что РТК ВН по степени защищенности сравнимы с легкобронированными образцами ВВТ [21] и вопросы противодействия которых, средствам огневого поражения противника достаточно хорошо изучены, необходимо сформулировать оперативно-тактические требования только к системе противодействия РТК ВН средствам радиоэлектронного поражения (подавления) противника.

В связи с тем, что РТК ВН по степени защищенности сравнимы с легкобронированными образцами ВВТ [21] и вопросы противодействия которых, средствам огневого поражения противника достаточно хорошо изучены, целесообразно рассмотреть оперативно-тактические требования к системе противодействия РТК ВН только средствам радиоэлектронного поражения (подавления) противника.

Предварительный анализ [22] существующих и перспективных способов противодействия с помощью радиоэлектронных средств на робототехнические комплексы разведки и огневой поддержки и их системы управления показывает, что основными объектами подавления (или поражения) рассматриваемого РТК могут быть:

- каналы радиоуправления РТК;
- каналы передачи данных с РТК оператору;
- другие информационные каналы (разведывательный канал, канал спутниковой навигационной системы и др.).

Следовательно основные угрозы для РТК и их систем могут представлять:

- станции маскирующих помех;
- станции имитирующих помех;
- средства функционального поражения.

В табл. 1 приведены результаты анализа возможных эффектов от воздействия описанных выше угроз на каждый из каналов.

Для выработки требований к системе противодействия РТК ВН необходимо оценить эффективность подавления различных каналов РТК, рассмотрим наиболее важные из них, характеристики которых известны - канала передачи данных с РТК на пункт управления (ПУ) и канала управления РТК.

Оценка эффективности канала радиоуправления при использовании станций активных маскирующих помех (САП). Известно [9, 12], что граница зон подавления и неподавления для рассматриваемой ситуации описывается выражением:

$$C^2 = \frac{D_{\text{непод}}^2}{D_{\text{п}}^2}; \quad (1)$$

где $D_{\text{непод}}$ – расстояние от управляемого РТК до пункта управления, при нахождении, в пределах которого управляемый объект может эффективно принимать команды управления в условиях радиоэлектронного противодействия (РЭП); $D_{\text{п}}$ – расстояние от станции помех до управляемого средства (объекта подавления).

Таблица 1

Возможные эффекты от использования средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ)

Виды используемых воздействий	Достижимый эффект при воздействии на каналы	
	Управления РТК с ПУ	Передачи данных с РТК оператору
Создание маскирующих помех	Сокращение зоны в пределах которой возможно эффективное управление РТК	Сокращение области, в пределах которой возможна передача данных, необходимых оператору для управления
Создание имитирующих помех	Нарушение управления РТК (даже при правильных командах оператора). Возможность увода РТК от объектов атаки (целей)	Передача оператору ложных данных (даже если разведывательной аппаратурой была выявлена истинная обстановка)
Использование средств функционального поражения	Невозможность управления РТК из-за вывода из строя системы управления	Затруднение управления РТК из-за отсутствия у оператора данных об обстановке (даже если она выявлена РТК)

Анализ показывает, что описываемая (1) зона надежного управления может иметь 3 различных вида. В нашем случае величина $C<1$.

Можно показать, что при этом граница зоны подавления представляет собой окружность радиусом

$$R = \frac{C^2 D}{1-C^2}, \quad (2)$$

центр которой размещен на линии САП – ПУ за пунктом управления на расстоянии от нее

$$\Delta D = \frac{C^2}{1-C^2} D. \quad (3)$$

При некоторых упрощениях (без учета особенностей диаграмм направленностей антенных систем САП, приемной и передающей антенн канала управления РТК) можно считать, что

$$C^2 = \frac{P_{\text{с}} G_{\text{с}}}{P_{\text{п}} G_{\text{п}}} \frac{K_{\text{п}}}{\gamma_{\text{п}} K_{\text{ƒ}}}, \quad (4)$$

Где $P_{\text{с}}$ и $\text{Р}_{\text{п}}$ – соответственно мощности передатчиков сигналов управления и САП;

$G_{\text{с}}$ и $G_{\text{п}}$ – коэффициенты усиления их антенных систем;

$K_{\text{п}}$ – коэффициент подавления канала управления;

$\gamma_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий разницу поляризаций сигнала управления и САП;

$K_{\text{ƒ}}$ – коэффициент, учитывающий разницу спектров сигнала управления и помех;

D – расстояние между САП и ПУ.

Будем считать, что спектр заградительной помехи перекрывает весь возможный диапазон рабочих частот канала радиоуправления

$$\Delta F_{\text{п}} = \Delta F_{\text{р}} = (800 - 600)\text{МГц} = 200\ \text{МГц}. \quad (5)$$

Тогда значение коэффициента

$$K_{\text{ф}} = \frac{\Delta F_{\text{с}}}{\Delta F_{\text{п}}} = \frac{20}{200} = 0{,}1. \quad (6)$$

Коэффициент усиления антенны САП рассчитываем для типовых значений ширины ДНА в азимутальной и угломестных плоскостях

$$\theta_{0,5} = \varphi_{0,5} = 30^{\circ}.$$

В этом случае

$$G_{\text{п}} = \frac{25000}{\theta_{0,5}\varphi_{0,5}} = \frac{25000}{30\times30} = 28. \quad (7)$$

Для $P_{\text{п}}$=1 кВт и $\gamma_{\text{п}}$=0,5 и исходных данных передатчика канала управления $P_{\text{с}}$=5 Вт и $G_{\text{с}}$=10 для $K_{\text{п}} = 2$ получим :

$$C^2 = \frac{5\times10}{1000\times28} \times \frac{2}{0{,}5\times0{,}1} = 0{,}071;\ C{=}0{,}27.$$

Рассчитанные для этого случая значения величины R и ΔD для удалений САП от ПУ на 3;5;10 и 20 км представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зоны работы системы управления РТК для различных удалений постановщика помех

Удаление САП от ПУ, км	Радиус зоны работы системы управления, км	Смещение центра зоны работы системы управления относительно ПУ, км
3	0,9	0,22
5	1,5	0,38
10	2,9	0,75
20	5,8	1,5

Таким образом, требуемая зона эффективного управления, представляющая собой окружность радиусом 3 км с центром в точке расположения ПУ.

Видно, что при удалении САП на расстояние, меньше, чем 11–12 км, размер зоны эффективной работы системы управления (СУ) сокращается. Если САП находится в 3 км от ПУ, то реальная зона управления составляет всего 9 % от требуемой.

Оценка эффективности функционирования канала передачи данных при применении САП. Оценка эффективности подавления канала передачи данных с РТК на ПУ может быть определена аналогично предыдущему случаю.

Для САП с такими же параметрами, как и ранее, при $P_{\text{с}} = 5$ Вт, $\Delta F_{\text{с}} = 300$ МГц и использовании диапазона частот 2,6–4,2 ГГц, при допущении, что весь диапазон перекрывается 4 передатчиками помех, можно получить, что $C^2 = 0{,}15$, а $C = 0{,}39$.

Можно показать, что зона подавления (зона, при нахождении в пределах которой РТК, канал передачи данных от него будет подавлен) представляет собой всю территорию, за исключением круга радиусом R с центром в точке размещения ПУ (рис. 1).

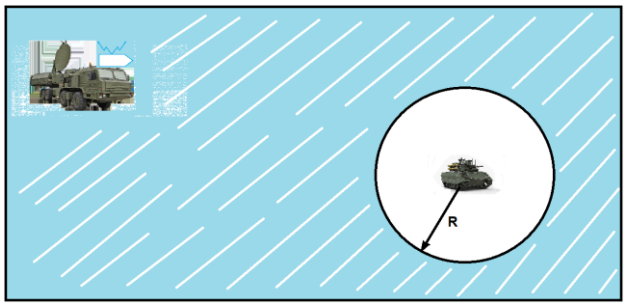

Рис. 1. Зона подавления САП

Радиус зоны неподавления определяется в этом случае выражением

$$R = CD.$$

Рассчитанные с учетом определенных выше значений C величины радиуса зоны неподавления для различных удалений САП от ПУ показаны в табл. 3.

Таблица 3

Размеры зон неподавления канала передачи данных

Удаление САП от ПУ, км	Радиус зоны неподавления канала передачи данных, км
3	1,2
5	2
10	3,9
20	7,8

Видно, что даже при достаточно удаленном расположении САП от ПУ (при $D \approx 7{,}7$ км) надежное управление РТК на дальности до 3 км от ПУ не обеспечивается, так как канал передачи данных, необходимый для управления РТК, будет подавлен.

С учетом изложенного и материалов представленных в [23, 24] сформулируем требования к системе противодействия РТК ВН в части радиоэлектронной защиты.

Радиоэлектронная защита РЭС установленных в ППДУ и на образцах НРТК ВН должна обеспечивать:

- **электромагнитную совместимость** (ЭМС) установленного в ППДУ и на образцах НРТК ВН всех классификационных группировок радиоэлектронного, электронного и электрооборудования при совместной одновременной их работе, а также между образцами НРТК ВН и образцами ВВТ взаимодействующих общевойсковых формирований в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 20.39.309-98 [25];
- **помехозащищенность и помехоустойчивость** РЭС НРТК ВН в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 20.39.309 и ГОСТ В 25232 [25, 26];
- **радиотехническую маскировку** РЭС при воздействии преднамеренных помех в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 20.39.308 [27];
- **защищенность РЭС от радиоэлектронного противодействия** противника в соответствии с требованиями ОТТ 1.1.3 [28];
- **защищенность РЭС от электромагнитных и ионизирующих излучений** ядерного взрыва и других электромагнитных излучений от внешних полей естественного и искусственного происхождения, в том числе устойчивость функционирования РЭС в условиях изменения среды распространения указанных излучений в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 20.39.302 и ГОСТ РВ 20.39.305 [29, 30];

♦ **снижение эффективности радиоэлектронной разведки противника** в соответствии с требованиями ОТТ 1.1.6 [31];

♦ **уровень напряжения индустриальных помех в сети электропитания**, а также уровни напряженности электромагнитных полей радиопомех, создаваемые электрическими установками и другим оборудованием пункта управления (пультов управления) и образцов НРТК ВН, в соответствии с требованиями ГОСТ В 25803 [32];

♦ **уровень низкочастотных и высокочастотных помех**, создаваемых РЭС пункта управления (пультов управления) и образцов НРТК ВН, не должен превышать величин, установленных ГОСТ В 25803 и ГОСТ В 21999 [33];

♦ **защищенность компьютерных средств ППДУ и образцов НРТС ВН** от деструктивных информационных воздействий.

Кроме того, должен выполняться весь комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению **скрытности и устойчивости** функционирования РЭС ППДУ (ПДУ) и образцов НРТС ВН при воздействии средств радиоразведки противника в условиях радиоэлектронного противодействия противника.

В образцах НРТК ВН должны быть предусмотрены устройства, позволяющие осуществлять секторный режим работы передатчиков РЭС с шириной сектора от 30о до 60о в горизонтальной и вертикальной плоскостях, затрудняющие распознавание аппаратурой непосредственной разведки (обнаружения) средств РЭП и СНО противника, а также устройства ориентирования антенн передатчиков образцов на пункт управления (ретранслятор).

В РЭС ППДУ и образцов НРТК ВН должно обеспечиваться ограничение плотности потока мощности электромагнитного поля, создаваемого излучением гетеродина приемопередающего устройства через антенну, на уровне не более 10–16 Вт/м2 на расстоянии до 1000 м при работе ее на всех рабочих частотах в целях затруднения распознавания аппаратурой непосредственной разведки (обнаружения) средств РЭП и СНО противника.

В РЭС НРТК ВН должно обеспечиваться ограничение плотности потока мощности электромагнитного поля, создаваемого излучениями радиопередающего устройства в полосе частот от 0.5 fp до 1.5 fp в режиме работы на эквивалент антенны и в паузах излучения полезного сигнала на уровне не более 10–16 Вт/м2 на расстоянии до 1000 м в целях исключения распознавания аппаратурой непосредственной разведки (обнаружения) средств РЭП и СНО противника.

В РЭС НРТК ВН должно обеспечиваться ограничение плотности потока мощности электромагнитного поля, создаваемого излучениями радиопередающего устройства в полосе рабочих частот в режиме работы на эквивалент антенны и в паузах излучения полезного сигнала на уровне не более 10–16 Вт/м2 на расстоянии до 1000 м в целях исключения распознавания аппаратурой непосредственной разведки (обнаружения) средств РЭП и СНО противника.

Заключение. Подводя итог вышеизложенному отметим, что предложенный перечень оперативно-тактических требований к системе противодействия РТК ВН средствам радиоэлектронного поражения (подавления) противника и рекомендации по ограничению плотности потока мощности электромагнитного поля, создаваемого излучениями радиопередающих устройств систем управления НРТК ВН должны в полной мере учитываться при разработке и создании систем управления наземных робототехнических комплексов военного назначения.

Кроме того, при разработке робототехнических комплексов военного назначения необходимо учитывать все возрастающие возможности перспективных средств радиоэлектронного поражения (подавления) противника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чиров Д.С.*, *Новак К.В.* Перспективные направления развития робототехнических комплексов специального назначения // Вопросы безопасности. – 2018. – № 2. – С. 50-59.
2. *Никитин В.Н., Любарчук Ф.Н., Кузьмов Е.В*. [и др.] Беспилотные летательные аппараты вооруженных сил мира. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019622386, 17.12.2019. Заявка № 2019622342 от 10.12.2019.
3. *Анисимов В.Г., Гарькушев А.Ю., Сазыкин А.М.* Оптимизация внедрения новых технологий в перспективные образцы артиллерийского вооружения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2012. – № 4 (74). – С. 39-44.
4. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Бажин Д.А. [и др.]*. Модели организации и проведения испытаний элементов системы информационного обеспечения применения высокоточных средств // Тр. Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – № 648. – С. 6-12.
5. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Бажин Д.А. [и др.].* Модель оценки эффективности информационного обеспечения применения высокоточного оружия в контртеррористических операциях // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2015. – № 1-2 (79-80). – С. 44-53.
6. *Анисимов В.Г., Ведерников Ю.В. [и др.].* Научно-методическое сопровождение интеграции высокотехнологичных инноваций в процессы разработки высокоточного оружия // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2014. – № 3-4 (69-70). – С. 66-75.
7. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Гарькушев А.Ю., Проценко Д.С.* Модель и метод оптимизации плана подготовки космических систем // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2015. – № 4 (89). – С. 34-39.
8. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. [и др.].* Пространственно-временной закон поражения и его применение для оценивания ущерба объектам // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Тр. Четвертой Всероссийской научно-практической конференции. – 2001. – С. 342-346.
9. *Алексеев О.Г. [и др.]*. Модели распределения средств поражения в динамике боя. – Л.: Министерство обороны СССР, 1989. – 109 с.
10. *Бобриков А.А., Авотынь Б.А. [и др.].* Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии. – СПб.: Академия военных наук, Санкт-Петербургское региональное отделение, 2006. – 421 с.
11. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Герцев В.Н.* Оценивание эффективности системы ракетно-артиллерийского вооружения ракетных войск и артиллерии // Военная мысль. – 2001. – № 4. – С. 39-46.
12. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Белов А.С., Трахинин Е.Л.* Моделирование возможных последствий внешних информационных воздействий на распределенную сеть связи // Телекоммуникации. – 2020. – № 12. – С. 32-38.
13. *Дормидонтов А.А., Анисимов В.Г., Чубасов В.А.* Устройство для расчета оценивания живучести проектируемых, модернизируемых противотанковых наземных робототехнических комплексов. Патент на полезную модель RU 195893 U1, 07.02.2020. Заявка № 2019128846 от 13.09.2019.
14. *Зегжда П.Д. [и др.].* Модели и метод поддержки принятия решений по обеспечению информационной безопасности информационно-управляющих систем // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2018. – № 1. – С. 43-47.
15. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. [и др.].* Показатели эффективности защиты информации в системе информационного взаимодействия при управлении сложными распределенными организационными объектами // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2016. – № 4. – С. 140-145.
16. *Зегжда П.Д., Супрун А.Ф. [и др.].* Методический подход к построению моделей прогнозирования показателей свойств систем информационной безопасности // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2019. – № 4. – С. 45-49.
17. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Гречишников Е.В., Белов А.С. [и др.].* Способ моделирования и оценивания эффективности процессов управления и связи. Патент на изобретение RU 2673014 C1, 21.11.2018. Заявка № 2018103844 от 31.01.2018.

18. *Зегжда П.Д. [и др.].* Модель оптимального комплексирования мероприятий обеспечения информационной безопасности// Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2020. – № 2. – С. 9-15.
19. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Белов А.С., Скубьев А.В*. Эффективность обеспечения живучести подсистемы управления сложной организационно-технической системы // Телекоммуникации. – 2020. – № 11. – С. 41-47.
20. *Гонтарь Д.Н., Шибанов В.Е., Петрунин Д.В.* Определение и анализ уязвимостей робототехнических комплексов военного назначения // Альманах мировой науки. – 2018. – № 6 (26). – С. 17-19.
21. *Наговицин А.И., Молоткова Б.Б.* Робототехнические комплексы военного назначения, перспективы их применения в РВ и А ВС РФ // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – № 1 (186). – С. 6-19.
22. *Барабанов М.С., Денисенцев С.А. [и др.].* Радиоэлектронная борьба. От экспериментов прошлого до решающего фронта будущего. – М.: Центр анализа стратегий и технологий, 2015. – 248 с.
23. Система общих технических требований к видам вооружения и военной техники. Наземные робототехнические комплексы военного назначения. – М.: ФБГУ "3 ЦНИИ" МО РФ, 2015.
24. *Подтелкина О.А.* Средства противодействия робототехническим комплексам // Вестник науки и образования. – 2019. – № 8 (62). – Ч. 2. – С. 12 -14.
25. ГОСТ РВ 20.39.309-98 Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Конструктивно-технические требования.
26. ГОСТ В 25232-82 Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Порядок обеспечения электромагнитной совместимости.
27. ГОСТ РВ 20.39.308-98.
28. ОТТ 1.1.3-94.
29. ГОСТ РВ 20.39.302-98 Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования к программам обеспечения надежности и стойкости к воздействию ионизирующих и электромагнитных излучений.
30. ГОСТ РВ 20.39.305-98.
31. ОТТ 1.1.6-2000, часть 1.
32. ГОСТ В 25803-91.
33. ГОСТ В 21999-86 Система электроснабжения военных гусеничных машин. Нормы качества электрической энергии и методы контроля.

REFERENCES

1. *Chirov D.S., Novak K.V.* Perspektivnye napravleniya razvitiya robototekhnicheskikh kompleksov spetsial'nogo naznacheniya [Promising areas of development of special-purpose robotic systems], *Voprosy bezopasnosti* [Security issues], 2018, No. 2, pp. 50-59.
2. *Nikitin V.N., Lyubarchuk F.N., Kuz'mov E.V. [i dr.]*. Bespilotnye letatel'nye apparaty vooruzhennykh sil mira. Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh RU 2019622386, 17.12.2019. Zayavka № 2019622342 ot 10.12.2019 [Unmanned aerial vehicles of the armed forces of the world. Certificate of registration of the database RU 2019622386, 17.12.2019. Application no. 2019622342 dated 10.12.2019].
3. *Anisimov V.G., Gar'kushev A.Yu., Sazykin A.M.* Optimizatsiya vnedreniya novykh tekhnologiy v perspektivnye obraztsy artilleriyskogo vooruzheniya [Optimization of the introduction of new technologies in advanced models of artillery weapons], *Izvestiya Rossiyskoy akademii raketnykh i artilleriyskikh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of rocket and artillery Sciences], 2012, No. 4 (74), pp. 39-44.
4. *Anisimov V.G., Anisimov E.G., Bazhin D.A. [i dr.]*. Modeli organizatsii i provedeniya ispytaniy elementov sistemy informatsionnogo obespecheniya primeneniya vysokotochnykh sredstv [Models of organization and testing of elements of the information support system for the use of high-precision tools], *Tr. Voenno-kosmicheskoy akademii imeni A.F. Mozhayskogo* [Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky], 2015, No. 648, pp. 6-12.

5. *Anisimov V.G., Anisimov E.G., Bazhin D.A. [i dr.]*. Model' otsenki effektivnosti informatsionnogo obespecheniya primeneniya vysokotochnogo oruzhiya v kontrterroristicheskikh operatsiyakh [A model for evaluating the effectiveness of information support for the use of high-precision weapons in counter-terrorism operations], *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu* [Questions of defense equipment. Series 16: Technical means of countering terrorism], 2015, No. 1-2 (79-80), pp. 44-53.
6. *Anisimov V.G., Vedernikov Yu.V. [i dr.]*. Nauchno-metodicheskoe soprovozhdenie integratsii vysokotekhnologichnykh innovatsiy v protsessy razrabotki vysokotochnogo oruzhiya [Scientific and methodological support for the integration of high-tech innovations in the development of high-precision weapons], *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu* [Questions of defense equipment. Series 16: Technical means of countering terrorism], 2014, No. 3-4 (69-70), pp. 66-75.
7. *Anisimov V.G., Anisimov E.G., Gar'kushev A.Yu., Protsenko D.S.* Model' i metod optimizatsii plana podgotovki kosmicheskikh sistem [Model and method of optimization of the plan of preparation of space systems], *Izvestiya Rossiyskoy akademii raketnykh i artilleriyskikh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of rocket and artillery Sciences], 2015, No. 4 (89), pp. 34-39.
8. *Anisimov V.G., Anisimov E.G. [i dr.]*. Prostranstvenno-vremennoy zakon porazheniya i ego primenenie dlya otsenivaniya ushcherba ob"ektam [Spatio-temporal law of destruction and its application for assessing damage to objects], *Aktual'nye problemy zashchity i bezopasnosti: Tr. Chetvertoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual problems of protection and security: Tr. of the Fourth All-Russian Scientific and Practical Conference], 2001, pp. 342-346.
9. *Alekseev O.G. [i dr.]*. Modeli raspredeleniya sredstv porazheniya v dinamike boya [Models of distribution of weapons of destruction in the dynamics of combat]. Leningrad: Ministerstvo oborony SSSR, 1989, 109 p.
10. *Bobrikov A.A., Avotyn' B.A. [i dr.]*. Otsenka effektivnosti ognevogo porazheniya udarami raket i ognem artillerii [Evaluation of the effectiveness of fire damage by missile strikes and artillery fire]. Saint Petersburg: Akademiya voennykh nauk, Sankt-Peterburgskoe regional'noe otdelenie, 2006, 421 p.
11. *Anisimov V.G., Anisimov E.G., Gertsev V.N.* Otsenivanie effektivnosti sistemy raketno-artilleriyskogo vooruzheniya raketnykh voysk i artillerii [Evaluation of the effectiveness of the missile and artillery weapons system of missile troops and artillery], *Voennaya mysl'* [Military thought], 2001, No. 4, pp. 39-46.
12. *Anisimov V.G., Anisimov E.G., Belov A.S., Trakhinin E.L.* Modelirovanie vozmozhnykh posledstviy vneshnikh informatsionnykh vozdeystviy na raspredelennuyu set' svyazi [Modeling of possible consequences of external information impacts on a distributed communication network], *Telekommunikatsii* [Telecommunications], 2020, No. 12, pp. 32-38.
13. *Dormidontov A.A., Anisimov V.G., Chubasov V.A.* Ustroystvo dlya rascheta otsenivaniya zhivuchesti proektiruemykh, moderniziruemykh protivotankovykh nazemnykh robototekhnicheskikh kompleksov. Patent na poleznuyu model' RU 195893 U1, 07.02.2020. Zayavka № 2019128846 ot 13.09.2019 [A device for calculating the survivability assessment of designed, modernized anti-tank ground-based robotic systems. Utility model patent RU 195893 U1, 07.02.2020. Application No. 2019128846 of 13.09.2019].
14. *Zegzhda P.D. [i dr.]*. Modeli i metod podderzhki prinyatiya resheniy po obespecheniyu informatsionnoy bezopasnosti informatsionno-upravlyayushchikh sistem [Models and methods of decision-making support for information security of information management systems], *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Komp'yuternye sistemy* [Problems of information security. Computer systems], 2018, No. 1, pp. 43-47.
15. *Anisimov V.G., Anisimov E.G. [i dr.]*. Pokazateli effektivnosti zashchity informatsii v sisteme informatsionnogo vzaimodeystviya pri upravlenii slozhnymi raspredelennymi organizatsionnymi ob"ektami [Indicators of the effectiveness of information protection in the system of information interaction in the management of complex distributed organizational objects], *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Komp'yuternye sistemy* [Problems of information security. Computer systems], 2016, No. 4, pp. 140-145.
16. *Zegzhda P.D., Suprun A.F. [i dr.]*. Metodicheskiy podkhod k postroeniyu modeley prognozirovaniya pokazateley svoystv sistem informatsionnoy bezopasnosti [Methodological approach to the construction of models for predicting indicators of properties of information security systems], *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Komp'yuternye sistemy* [Problems of information security. Computer systems], 2019, No. 4, pp. 45-49.

17. *Anisimov V.G., Anisimov E.G., Grechishnikov E.V., Belov A.S. [i dr.]*. Sposob modelirovaniya i otsenivaniya effektivnosti protsessov upravleniya i svyazi. Patent na izobretenie RU 2673014 C1, 21.11.2018. Zayavka № 2018103844 ot 31.01.2018 [A method for modeling and evaluating the effectiveness of management and communication processes. Patent for the invention RU 2673014 C1, 21.11.2018. Application No. 2018103844 of 31.01.2018].
18. *Zegzhda P.D. [i dr.]*. Model' optimal'nogo kompleksirovaniya meropriyatiy obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti [Model of optimal integration of information security measures], *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Komp'yuternye sistemy* [Problems of information security. Computer systems], 2020, No. 2, pp. 9-15.
19. *Anisimov V.G., Anisimov E.G., Belov A.S., Skub'ev A.V.* Effektivnost' obespecheniya zhivuchesti podsistemy upravleniya slozhnoy organizatsionno-tekhnicheskoy sistemy [Efficiency of ensuring the survivability of the management subsystem of a complex organizational and technical system], *Telekommunikatsii* [Telecommunications], 2020, No. 11, pp. 41-47.
20. *Gontar' D.N., Shibanov V.E., Petrunin D.V.* Opredelenie i analiz uyazvimostey robototekhnicheskikh kompleksov voennogo naznacheniya [Definition and analysis of vulnerabilities of military-purpose robotic complexes], *Al'manakh mirovoy nauki* [Almanac of World Science], 2018, No. 6 (26), pp. 17-19.
21. *Nagovitsin A.I., Molotkova B.B.* Robototekhnicheskie kompleksy voennogo naznacheniya, perspektivy ikh primeneniya v RV i A VS RF [Robotics complexes of military purpose, prospects of their application in the RV and A of the Armed Forces of the Russian Federation], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2017, No. 1 (186), pp. 6-19.
22. *Barabanov M.S., Denisentsev S.A. [i dr.]*. Radioelektronnaya bor'ba. Ot eksperimentov proshlogo do reshayushchego fronta budushchego [Electronic warfare. From experiments of the past to the decisive front of the future]. Moscow: TSentr analiza strategiy i tekhnologiy, 2015, 248 p.
23. Sistema obshchikh tekhnicheskikh trebovaniy k vidam vooruzheniya i voennoy tekhniki. Nazemnye robototekhnicheskie kompleksy voennogo naznacheniya [The system of general technical requirements for types of weapons and military equipment. Ground-based robotic complexes for military purposes]. Moscow: FBGU "3 TSNII" MO RF, 2015.
24. *Podtelkina O.A.* Sredstva protivodeystviya robototekhnicheskim kompleksam [Means of countering robotic complexes], *Vestnik nauki i obrazovaniya* [Bulletin of Science and Education], 2019, No. 8 (62), Part 2, pp. 12 -14.
25. GOST RV 20.39.309-98 Kompleksnaya sistema obshchikh tekhnicheskikh trebovaniy. Apparatura, pribory, ustroystva i oborudovanie voennogo naznacheniya. Konstruktivno-tekhnicheskie trebovaniya [GOST RV 20.39.309-98 Comprehensive system of general technical requirements. Equipment, devices, devices and equipment for military purposes. Design and technical requirements].
26. GOST V 25232-82 Sovmestimost' radioelektronnykh sredstv elektromagnitnaya. Poryadok obespecheniya elektromagnitnoy sovmestimosti [GOST B 25232-82 Electromagnetic compatibility of radio-electronic means. Procedure for ensuring electromagnetic compatibility; 27. GOST RV 20.39.308-98].
27. GOST RV 20.39.308-98.
28. OTT 1.1.3-94.
29. GOST RV 20.39.302-98 Kompleksnaya sistema obshchikh tekhnicheskikh trebovaniy. Apparatura, pribory, ustroystva i oborudovanie voennogo naznacheniya. Trebovaniya k programmam obespecheniya nadezhnosti i stoykosti k vozdeystviyu ioniziruyushchikh i elektromagnitnykh izlucheniy [GOST RV 20.39.302-98 Comprehensive system of general technical requirements. Equipment, devices, devices and equipment for military purposes. Requirements for programs to ensure reliability and resistance to ionizing and electromagnetic radiation].
30. GOST RV 20.39.305-98.
31. OTT 1.1.6-2000, chast' 1.
32. GOST V 25803-91.
33. GOST V 21999-86 Sistema elektrosnabzheniya voennykh gusenichnykh mashin. Normy kachestva elektricheskoy energii i metody kontrolya [GOST B 21999-86 Power supply system for military tracked vehicles. Electrical energy quality standards and control methods].

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор К.А. Злотников.

Наговицин Александр Иванович – РВиА МВАА; e-mail: alexander@nagovitsin.ru; Санкт-Петербург, Россия; тел.: 88125421433 (сл.), 89112160000 (моб.); кафедра автоматизированного управления; к.в.н.; доцент.

Молоткова Баира Борисовна – e-mail: bbmolotkova@bk.ru; тел.: +79818035441; кафедра автоматизированного управления; к.п.н.; доцент.

Nagovitsin Aleksandr Ivanovich – RViA MVAA; e-mail: alexander@nagovitsin.ru; Sankt-Peterburg, Russia; phone: +78125421433 (sl.), 89112160000 (mob.); the department of automated control; cand. of milit. sc.; associate professor.

Molotkova Baira Borisovna – e-mail: alexander@nagovitsin.ru; phone: +79818035441; the department of automated control; cand. of ped. sc.; associate professor.

УДК 629.127.4, 623.958.2 DOI 10.18522/2311-3103-2021-1-59-72

Н.А. Соколов, А.В. Рычков

ПОВЫШЕНИЕ ПОИСКОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье обосновывается актуальность решения задач поиска неразорвавшихся боеприпасов, а также археолого-геологических изысканий в акваториях внутренних вод и прибрежных зон Российской Федерации. На примерах выполнения работ по разминированию в акватории Балтийского моря и детального магнитометрического обследования акватории Фанагории показываются широкие возможности современной аппаратуры по локализации объектов, перекрытых донными отложениями и визуально незаметных на поверхности дна. Рассматриваются преимущества применения автономных необитаемых подводных аппаратов для метода поиска ферромагнитных предметов, основанного на регистрации пространственно распределенных магнитных аномалий. Показаны направления развития многоканальных магнитометрических средств поиска. Выявлены потенциальные возможности многоканальных магнитометрических систем по идентификации объектов поиска. На примере существующей технологии поиска водолазным способом показывается, что обеспечиваемый таким способом темп разведки является крайне низким даже при наиболее благоприятных условиях: наилучшей видимости, пологом склоне дна с твердым основанием. При этом время на разведку участка акватории водолазным способом вдоль одного берега составит около 5 часов в благоприятных условиях, а, следовательно, такой способ не может применяться при обследовании больших акваторий. С учетом достигнутого на современном этапе уровня технологий для автоматизации подводных работ предлагается применять автономные необитаемые подводные аппараты с установленной в качестве целевой нагрузки многоканальной магнитометрической системой. Кроме автоматизации процесса выполнения задач, применение необитаемых подводных аппаратов позволит или полностью исключить, или существенно снизить опасное воздействие на человека мероприятий по поиску неразорвавшихся боеприпасов и вредных факторов глубоководных работ, а так же снизить материальные и временные затраты за счет сокращения операций по обслуживанию водолазного оборудования. Обработка результатов съемки и создание карты магнитных аномалий позволит выявить структуры, геомагнитные свойства которых заметно отличаются от естественного магнитного фона. Подобная методика позволяет значительно повысить информативность и достоверность результатов обследования акваторий, обеспечивая выявление визуально незаметных объектов, обладающих собственным магнитным полем. На основе теории электромагнитного поля и магнитостатики разработана методика расчетной оценки параметров и эффективности функционирования многоканальной магнитометрической системы для необитаемых подводных аппаратов. Методика предназначена для оценки параметров и возможностей по обнаружению ферромагнитных объектов и предварительной оценки эффективности ведения поиска. В качестве критерия (достижение