

Раздел I. Перспективы применения робототехнических комплексов

УДК 623.4.01

С.Е. Панков, В.Ф. Петров, А.В. Архипкин, А.В. Гуреев

ПЛАНИРОВАНИЕ РАДИОПОКРЫТИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РТК ВН КАК СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И СКРЫТНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ*

Обоснована уязвимость робототехнических комплексов военного назначения в условиях радиоэлектронного конфликта. Перечислены основные особенности применения РТК военного назначения и показана необходимость повышения помехозащищенности и скрытности применения РТК ВН. Рассмотрен программный комплекс для планирования радиопокрытия области применения РТК на базе цифровых карт местности. Дана характеристика основных составных частей программного комплекса, перечислены необходимые для его работы входные данные. Показано, что, как и во всех системах подобного рода, ключевым компонентом программного комплекса является положенная в его основу модель радиоканала. Даны ссылки на наиболее значимые работы в этой области в отечественной и зарубежной литературе. Представлены основные виды расчетов, выполняемых программным комплексом. Показано, что для расчета одного из основных параметров уровня принятого сигнала учитывается рельеф местности, параметры аппаратуры передачи данных, характеристики антенн, их ориентирование и высоту подвеса. Приведен пример результата работы программного комплекса, в частности визуализация радиопокрытия на цифровой карте местности при различных высотах подъема антенн. Даны предложения по использованию программного комплекса в РТК ВН для повышения помехозащищенности (скрытности) применения, а также по информационному обеспечению операторов РТК, с учетом специфики РТК военного назначения. Приведена предлагаемая блок-схема построения автоматизированного рабочего места пункта дистанционного управления с применением программного комплекса, с указанием входных и выходных данных, необходимых для его работы. Показано, что применение программного комплекса для радиопланирования области применения РТК ВН в качестве специализированного программного обеспечения позволяет повысить надежность и скрытность применения комплекса за счет правильного выбора места расположения ПДУ, а также необходимой и достаточной высоты подъема мачты. В заключительной части сделан вывод, что правильные действия командира РТК являются важным элементом обеспечения его помехозащищенности (скрытности), а информационное обеспечение должно стать обязательным требованием как при совершенствовании существующих, так и при формировании облика перспективных РТК ВН.

Робототехнический комплекс; помехозащищенность; скрытность; планирование радиопокрытия.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, проект №8.8952.2017/БЧ.

S.E. Pankov, V.F. Petrov, A.V. Arkhipkin, A.V. Gureev

**PLANNING OF RADIO COVERAGE OF THE MILITARY ROBOTIC
COMPLEX APPLICATION FIELD AS A METHOD OF INCREASING ITS
RELIABILITY AND STEALTH**

In this article the vulnerability of military robotic complexes in conditions of electronic warfare is substantiated. Main peculiarities of military robotic complexes application are listed, the need of interference immunity and stealth increasing is shown. Authors described radio coverage planning software based on digital maps. Main parts of software are described; all input and output data types are listed. Authors showed that, like in any systems of the similar type, the key component of the software complex is its basic radio channel model. They gave main references on both Russian and worldwide literature on the topic. Main types of calculations performed by software are described. Authors showed that software has to use terrain data, radio equipment parameters, antennas characteristics and orientation to calculate received signal level as the main important parameter. They presented visualized radio coverage for different antenna heights as example of software operation result. Authors gave their suggestions on software usage for increasing the military robotic complexes interference immunity and stealth, as well as the informational support for the robotic complex operators, taking into account the specificity of military robotic complexes. The block diagram of workstation based on the software is presented, input and output data types necessary for operation are listed. The authors also demonstrated that usage of the given software as a specialized one allows increasing robotic complex reliability and stealth, through definition of optimal control unit position and antenna's height and orientation. In the conclusion authors showed that proper commander's activities are important part of robotic complex reliability and stealth provision, and information support has to be mandatory requirement for both new and modernized robotic complexes.

Robotic complex; interference immunity; stealth; radio coverage planning.

Введение. Оценка возможностей противника по энергетической радиоразведке и радиоподавлению каналов связи и управления робототехнических комплексов военного назначения (РТК ВН) показывает, что их помехозащищенность (скрытность) в условиях боевого применения может оказаться недостаточной. В связи с этим актуальной задачей является повышение помехозащищенности (скрытности) применения РТК ВН [1].

Техническим аспектам решения задачи повышения скрытности радиосвязи посвящено большое количество работ в России и за рубежом [2–7]. К эффективным организационным мерам повышения скрытности применения радиоканалов РТК является снижение уровня излучаемой мощности, правильное размещение пункта дистанционного управления (ПДУ) на местности, использование минимально необходимой высоты подвеса антенн ПДУ, а также максимально полная осведомленность командира РТК ВН о радиоэлектронной обстановке в районе применения [1].

Обоснование необходимости радиопланирования и информационного обеспечения командира РТК. Применение РТК ВН тяжелого класса характеризуется следующими особенностями:

1. РТК ВН применяется на местности с неизвестным заранее рельефом, зачастую используя для маскировки ПДУ естественные складки местности.
2. РТК ВН применяется в непредсказуемой электромагнитной обстановке (уровень помех от другой радиоэлектронной аппаратуры группировки), во взаимодействии со своими силами (средствами), на которых может быть установлена различная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) [1].
3. Работа РТК ВН предполагает высокую вероятность воздействия средств радиоразведки и радиоподавления противника на каналы связи и управления [8, 9].
4. Увеличение высоты подвеса мачты ПДУ (для увеличения дальности связи) всегда входит в противоречие с требованием маскировки ПДУ от средств визуальной и радиотехнической разведки противника [8–12].

Перечисленные особенности накладывают ограничения на возможности боевого применения РТК ВН и определяют необходимость планирования радиопокрытия области применения РТК и информационного обеспечения командира РТК о радиоэлектронной обстановке.

Решение задачи радиопланирования. Решение данной задачи связано с оптимальным выбором мест размещения и высот подвеса антенн ПДУ, назначением оптимальных режимов работы аппаратуры передачи данных (АПД), в первую очередь мощности и частоты излучения. Данные организационные мероприятия при подготовке РТК ВН к работе и при его непосредственном применении называются частотно-территориальным планированием.

При этом специфика планирования применения РТК военного назначения, в отличие от планирования гражданских сетей мобильной связи, определяет необходимость обеспечить максимальное радиопокрытие зоны применения РТК с одной стороны, и максимальную скрытность ПДУ с другой (минимизация высот подвеса антенн ПДУ).

Для решения данной задачи в МИЭТ разработан программный комплекс RPS-2.

Исходными данными для проведения радиопланирования в программном комплексе RPS-2 являются [13]:

1. Цифровая карта местности, необходимая для адекватного описания условий распространения сигналов в районе применения РТК. При использовании модели в компьютерных автоматизированных системах проектирования радиосетей карта местности должна быть представлена в электронном виде в одном из стандартных форматов (например, «MapInfo» или «Панорама»).

2. Сведения о планируемой зоне применения самоходных роботов.

3. Технические характеристики аппаратуры передачи данных (технология передачи и обработки сигналов, выходная мощность, чувствительность, рабочая частота (основная и резервные), требуемое отношение сигнал/шум и т.д.) для различных режимов работы.

4. Характеристики антенн (коэффициент усиления, диаграмма направленности), потери в фидерах.

5. Высота подвеса антенн АПД ПДУ, их азимут и угол места.

6. Координаты размещения ПДУ и самоходных роботов для оценки и визуализации на цифровой карте местности.

Цифровая карта местности является необходимым элементом программного комплекса, на ее основе производится размещение объектов и выполняется расчет зоны покрытия АПД ПДУ с учетом рельефа местности.

Цифровые карты местности содержат информацию о рельефе и характере заполнения определенного региона (растительность, водное пространство, строения и т.д.).

Цифровая карта состоит из следующих компонентов:

- ◆ растровые данные;
- ◆ векторные данные;
- ◆ текстовые данные;
- ◆ изображения.

Растровые данные содержат информацию о высоте и типе местности в каждой точке. Каждый растровый файл цифровой карты описывает прямоугольный участок местности (лист карты). Все растровые файлы имеют одинаковый размер. Программа не накладывает ограничений на разрешение цифровой карты. Чем выше разрешение карты, тем выше точность расчетов и больше размер файлов карты. Для расчетов, как правило, применяются карты, в которых размер точки (пиксела) карты соответствует прямоугольному участку местности размером 30×30, 50×50, 100×100 м.

Векторные данные описывают линейные объекты (дороги, реки и т. п.), которые требуется отображать на карте. Координаты точек векторных объектов разного типа, например, дорог и рек, должны располагаться в разных файлах. Количество векторных файлов не ограничивается.

Текстовые данные содержат названия географических объектов (города, поселки и т. п.), которые требуется отображать на карте.

Изображения представляют собой сканированные бумажные топографические карты или аэрофотоснимки, которые могут отображаться в дополнение к растровым и векторным данным.

Ключевым элементом программного комплекса является блок расчета уровня сигнала в заданной точке приема от заданного источника и положенная в его основу модель распространения сигнала (модель радиоканала), а также блок расчета отношения сигнал(шум+помеха), используемого для определения всех важнейших характеристик сети (рис. 2) [13, 14].

Как и во всех системах подобного рода, ключевым компонентом программного комплекса RPS-2 является положенная в его основу модель радиоканала. Вопросам разработки моделей распространения в радиоканалах посвящено много работ в отечественной и зарубежной литературе [14–19]. В RPS-2 заложена возможность выбора пользователем одной из нескольких моделей распространения сигналов, в том числе строгой модели (модель RPS), максимально полно учитывающей все основные факторы, влияющие на уровень принимаемого сигнала.

Расчет уровня принятого сигнала учитывает рельеф местности, параметры АПД, характеристики, ориентирование и высоту подвеса антенн. Результат расчета уровня принятого сигнала изображается на цифровой карте цветными зонами (рис. 1), граничные значения которых определяются пользователем.

Мощность принимаемого сигнала определяется следующим выражением:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_p - L_e - L_{др}, \quad (1)$$

где P_r – принятый сигнал (дБм), P_t – мощность передатчика (дБм), G_t – усиление передающей антенны (дБи), G_r – усиление приемной антенны (дБи), L_p – потери мощности при распространении сигнала (дБ), L_e – потери мощности, связанные с оборудованием (дБ), $L_{др}$ – прочие потери (дБ).

При расчетах делается запас на замирание:

$$FM = P_t - R_t, \quad (2)$$

где R_t – пороговая чувствительность приемника АПД (дБм).

Усиление передающей и приемной антенн (G_t и G_r , соответственно) вычисляется с учетом их ориентирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях (в задачах управления РТК ориентирование антенн применимо, как правило, только к антеннам ПДУ).

Оценка потерь мощности, связанных с распространением сигнала (L_p) для линий с прямой радиовидимостью, учитывает следующие виды потерь [20]:

- ◆ потери в свободном пространстве [21];
- ◆ потери в атмосфере [20, № 2.1];
- ◆ потери, обусловленные дифракцией [20, № 2.2];
- ◆ потери, обусловленные многолучевым режимом [20, № 2.3];
- ◆ потери, связанные с осадками [20, № 2.4].

Список упорядочен по значимости эффектов.

В отсутствие прямой видимости дополнительно учитываются следующие виды потерь:

- ◆ дифракционные потери на препятствиях;
- ◆ ослабление сигнала при прохождении через деревья.

Потери мощности сигнала в оборудовании (L_e) складываются из следующих видов потерь):

- ♦ потери в кабеле на передающей и приемной стороне (рассчитываются исходя из длины и типа кабеля, который определяет величину потерь на 1 м);
- ♦ потери в разъемах (рассчитываются из количества и типов разъемов).

К прочим потерям ($L_{др}$) относятся:

- ♦ потери, приписанные к типу местности;
- ♦ потери, приписанные некоторой области на карте (полигон), моделирующей мешающий радиотелефон в заданной полосе частот;
- ♦ потери, вызванные помехами от других систем связи.

Программный комплекс позволяет [13]:

- ♦ размещать ПДУ в заданном месте рассматриваемой территории; отображать на цифровой карте размещение ПДУ и самоходных роботов;
- ♦ отображать результаты моделирования (расчетов) уровня принимаемого сигнала на цифровой карте местности;
- ♦ оптимизировать параметры радиопокрытия путем изменения местоположения ПДУ, высоты подвеса, азимута и угла места антенн, а также варьируя параметры (режимы работы) АПД.

Эти данные позволяют принять верное решение о возможности организации радиопокрытия области применения РТК и оптимизировать места расположения ПДУ, высоту подвеса, азимут и угол места антенн ПДУ.

На рис. 1 показан результат оценки зоны радиопокрытия АПД ПДУ для различных высот подвеса антенн.

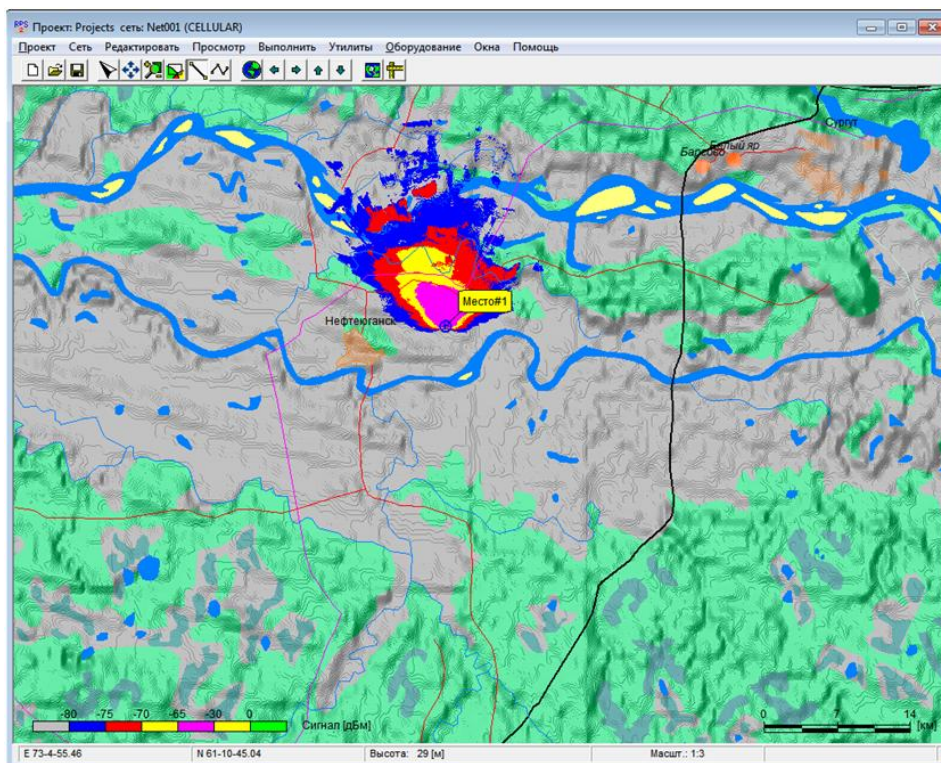


Рис. 1. Результат оценки зоны радиопокрытия АПД ПДУ для различных высот подвеса антенн

Обобщенные требования к подсистеме радиопланирования (информационного обеспечения) в составе СПО РТК. Для адаптации программного комплекса RPS-2 к задачам применения в качестве специального программного обеспечения (СПО) РТК ВН необходимо учесть специфику применения СПО в изделиях ВВСТ. К программным средствам подсистемы информационного обеспечения РТК ВН предъявляются следующие требования:

- ◆ Простота использования, наглядность визуализации [22, 23].
- ◆ Высокий уровень автоматизации, не требующий от экипажа РТК специальных знаний и навыков [22, 23].
- ◆ Оперативность, отображение изменяющейся радиоэлектронной обстановки в режиме реального времени.
- ◆ Наличие подсказок оператору в случае изменения радиоэлектронной обстановки.

Подход к построению ПДУ РТК с СПО радиопланирования. Входные и выходные данные для программного комплекса RPS-2, работающего в качестве СПО АРМ ПДУ, приведены на рис. 2.

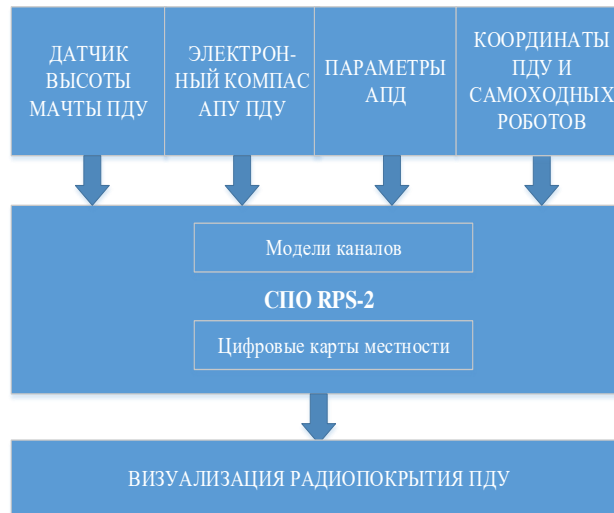


Рис. 2. Исходные данные и результат работы программного комплекса RPS-2

На автоматизированное рабочее место оператора (АРМ) с программным комплексом RPS-2 поступает следующая информация: высота подвеса антенны ПДУ (от датчика высоты антенной мачты из состава ПДУ), азимут антенны (от электронного компаса, установленного на антенно-поворотном устройстве (АПУ)) и угол места. От АПД на АРМ поступает следующая информация: рабочая частота, выходная мощность, режим работы АПД. От бортовой информационно-управляющей системы ПДУ на АРМ поступают координаты ПДУ и самоходных роботов.

Результатом работы программного комплекса RPS-2 является визуализированная на цифровой карте местности область радиопокрытия ПДУ, на которой цветовой градацией показан уровень принимаемого сигнала в каждой точке пространства. Данная информация позволяет командиру РТК сделать вывод о возможности выполнения самоходными роботами поставленной задачи на заданной территории при заданной высоте и направлении антенны ПДУ. При выходе самоходных роботов за пределы зоны радиопокрытия ПДУ, на АРМ выдается предупреждающий сигнал и подсказка оператору.

Таким образом, при планировании применения РТК у командира комплекса существует возможность правильно выбрать место расположения ПДУ, а также необходимую и достаточную для выполнения задачи высоту подъема мачты.

Выводы. Помехоустойчивость (скрытность) применения является одним из важнейших показателей для РТК ВН. Правильные действия командира РТК как при подготовке к работе, так и непосредственно в процессе применения, являются важным элементом обеспечения его помехозащищенности (скрытности).

Информационное обеспечение должно стать обязательным требованием как при совершенствовании существующих, так и при формировании облика перспективных РТК ВН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бархоткин В.А., Архипкин А.В., Петров В.Ф., Комченков В.И., Гурджи А.И., Соколов А.Л.* Направления совершенствования робототехнических комплексов военного назначения в части увеличения помехозащищенности при работе в условиях радиоэлектронного конфликта // Труды XII Всероссийской научно-практической конференции "Перспективные системы и задачи управления". – С. 517-522.
2. *Борисов В.И., Зинчук В.М.* Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход. – 2-е изд., исправленное. – М.: РадиоСофт, 2008. – 260 с.
3. *Варагузин В.А., Цикин И.А.* Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 342 с.
4. *Torrieri D.* Principles of Spread-Spectrum Communication Systems. – Springer, 2015. – 641 p.
5. *Elmasry G.F.* Tactical Wireless Communications and Networks: Design Concepts and Challenges. WILEY, Nov. 2012. – 324 p. ISBN: 978-1-119-95176-6.
6. *Ryan M., Frater M.* Tactical Communications for the Digitized Battlefield, Artech House (March 31, 2002). – 392 p.
7. Air Land Sea Application Center (Author), Tac Radios: Multi-Service Tactics, Techniques, and Procedures for Tactical Radios, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. – 144 p.
8. *Adamy D.* Tactical Battlefield communications Electronic Warfare. – Artech House, 2009. – 330 p.
9. *Куприянов А.* Радиоэлектронная борьба. – М.: МАИ, 2013. – 360 с.
10. *Цветнов В., Демин В., Куприянов А.* Радиоэлектронная борьба: Т. 1. Радиомаскировка и помехозащита. – М.: МАИ, 1999. – 240 с.
11. *Перунов Ю.М., Куприянов А.И.* Радиоэлектронная борьба: радиотехническая разведка. – М.: Вузовская книга, 2016. – 190 с.
12. *Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А.* Радиомониторинг: задачи, методы, средства. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 640 с.
13. *Гуреев А.В., Кустов В.А.* Компьютерное моделирование беспроводных сетей и проблемы их электромагнитной совместимости // Исследовано в России. – С. 1505-1518. – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/134.pdf>.
14. *Гуреев А.В., Воротилов А.К.* Алгоритм поиска точек отражения радиосигнала для систем автоматизированного проектирования беспроводных сетей // Известия вузов. Электроника. – 2009. – № 3. – С. 48-52.
15. *Peter Unger, Thomas Kürner.* Radio network planning of DVB-H/UMTS hybrid mobile communication networks // Transactions on emerging telecommunications technologies. – March/April 2006. – Vol. 17, Issue 2. – P. 193-201.
16. *Bertoni H.L.* Radio Propagation for Modern Wireless Systems. – Prentice Hall, 2000. – 276 p. ISBN-10: 0130263737.
17. *Christopher John Coleman.* Analysis and Modeling of Radio Wave Propagation. – Cambridge University Press; 2017. – 1 ed. – 296 p. ISBN-10: 1107175569.
18. *Ghassemi A.* Propagation Engineering in Radio Links Design. – Springer, 2013. – 549 p. ISBN-10: 1461453135.

19. *Guillaume de la Roche*. Andrés Alayón-Glazunov, Ben Allen, LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks: Channel Modelling and Propagation, WILEY, Nov 2012. – 566 p. ISBN: 978-1-119-97670-7.
20. Рекомендации Международного Союза Электросвязи ITU-R P530-9. – https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-12-200702-S!!PDF-R.pdf.
21. Рекомендации Международного Союза Электросвязи ITU-R P525. – https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-I!!PDF-E.pdf.
22. *Симонов С.Б., Петров В.Ф., Корольков Д.Н., Беляев В.В.* Методические основы создания тяжелых роботизированных комплексов специального назначения // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – № 12-2.
23. *Комченков В.И., Петров В.Ф., Симонов С.Б., Терентьев А.И.* Методика построения роботизированных безэкипажных объектов наземного базирования // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140).

REFERENCES

1. *Barkhotkin V.A., Arkhipkin A.V., Petrov V.F., Komchenkov V.I., Gurdzhi A.I., Sokolov A.L.* Napravleniya sovershenstvovaniya robototekhnicheskikh kompleksov voennogo naznacheniya v chasti uvelicheniya pomekhozashchishchennosti pri rabote v usloviyakh radioelektronnoy konflikta [Directions of improvement of robotic systems for military purposes in terms of increasing noise immunity when working in conditions of electronic conflict], *Trudy XII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya"* [Proceedings of the XII all-Russian scientific and practical conference "Promising systems and control tasks"], pp. 517-522.
2. *Borisov V.I., Zinchuk V.M.* Pomekhozashchishchennost' sistem radiosvyazi. Veroyatnostno-vremennoy podkhod [Noise immunity of radio communication systems. Probabilistic-temporal approach]. 2-e izd., ispravlennoe. Moscow: RadioSoft, 2008, 260 p.
3. *Vargauzin V.A., Tsikin I.A.* Metody povysheniya energeticheskoy i spektral'noy effektivnosti tsifrovoy radiosvyazi [Methods for improving the energy and spectral efficiency of digital radio]. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg, 2013, 342 p.
4. *Torrieri D.* Principles of Spread-Spectrum Communication Systems. Springer, 2015, 641 p.
5. *Elmasry G.F.* Tactical Wireless Communications and Networks: Design Concepts and Challenges. WILEY, Nov. 2012, 324 p. ISBN: 978-1-119-95176-6.
6. *Ryan M., Frater M.* Tactical Communications for the Digitized Battlefield, Artech House (March 31, 2002), 392 p.
7. Air Land Sea Application Center (Author), Tac Radios: Multi-Service Tactics, Techniques, and Procedures for Tactical Radios, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016, 144 p.
8. *Adamy D.* Tactical Battlefield communications Electronic Warfare. Artech House, 2009, 330 p.
9. *Kupriyanov A.* Radioelektronnaya bor'ba [Electronic warfare]. Moscow: MAI, 2013, 360 p.
10. *Tsvetov V., Demin V., Kupriyanov A.* Radioelektronnaya bor'ba: T. 1. Radiomaskirovka i pomekhozashchita [Electronic warfare: Vol. 1. Radioactive and pomeganate]. Moscow: MAI, 1999, 240 p.
11. *Perunov Yu.M., Kupriyanov A.I.* Radioelektronnaya bor'ba: radiotekhnicheskaya razvedka [Electronic warfare: radio razvedka]. Moscow: Vuzovskaya kniga, 2016, 190 p.
12. *Rembovskiy A.M., Ashikhmin A.V., Koz'min V.A.* Radiomonitoring: zadachi, metody, sredstva [The radio monitoring: problems, methods, means]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2015, 640 p.
13. *Gureev A.V., Kustov V.A.* Komp'yuternoe modelirovanie besprovodnykh setey i problemy ikh elektromagnitnoy sovmestimosti [Computer simulation of wireless networks and problems of their electromagnetic compatibility], *Issledovano v Rossii* [Studied in Russia], pp. 1505-1518. Available at: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/134.pdf>.
14. *Gureev A.V., Vorotilov A.K.* Algoritm poiska tochek otrazheniya radiosignala dlya sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya besprovodnykh setey [The algorithm find points of reflection of the radio signal for computer-aided design of wireless networks], *Izvestiya vuzov. Elektronika* [Proceedings of universities. Electronics], 2009, No. 3, pp. 48-52.
15. *Peter Unger, Thomas Kürner.* Radio network planning of DVB-H/UMTS hybrid mobile communication networks, *Transactions on emerging telecommunications technologies*. – March/April 2006, Vol. 17, Issue 2, pp. 193-201.

16. *Bertoni H.L.* Radio Propagation for Modern Wireless Systems. Prentice Hall, 2000, 276 p. ISBN-10: 0130263737.
17. *Christopher John Coleman.* Analysis and Modeling of Radio Wave Propagation. Cambridge University Press; 2017. 1 ed., 296 p. ISBN-10: 1107175569.
18. *Ghassemi A.* Propagation Engineering in Radio Links Design. Springer, 2013, 549 p. ISBN-10: 1461453135.
19. *Guillaume de la Roche.* Andrés Alayón-Glazunov, Ben Allen, LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks: Channel Modelling and Propagation, WILEY, Nov 2012, 566 p. ISBN: 978-1-119-97670-7.
20. Rekomendatsii Mezhdunarodnogo Soyuzha Elektrosvyazi ITU-R P530-9 [ITU-R p530-9 recommendations of the international Telecommunication Union]. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-12-200702-S!!PDF-R.pdf.
21. Rekomendatsii Mezhdunarodnogo Soyuzha Elektrosvyazi ITU-R P525 [The recommendations of the International Telecommunication Union ITU-R P525]. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-I!!PDF-E.pdf.
22. *Simonov S.B., Petrov V.F., Korol'kov D.N., Belyaev V.V.* Metodicheskie osnovy sozdaniya tyazhelykh robotizirovannykh kompleksov spetsial'nogo naznacheniya [Methodological basis for the creation of heavy robotic systems, special purpose], *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya TulGU. Engineering Sciences], 2014, No. 12-2.
23. *Komchenkov V.I., Petrov V.F., Simonov S.B., Terent'ev A.I.* Metodika postroeniya robotizirovannykh bezekipazhnykh ob"ektov nazemnogo bazirovaniya [A method of constructing a robotic unmanned of ground-based objects], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 3 (140).

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.И. Минаков.

Панков Сергей Егорович – Управление перспективных межвидовых исследований и специальных проектов Минобороны России; г. Москва, К-119160; к.т.н.; начальник.

Петров Владимир Федорович – НИИ ВС и СУ МИЭТ; e-mail: pvf@olvs.miee.ru; 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, 1; тел.: 84997208751; к.т.н.; зам. директора.

Архипкин Андрей Владимирович – ООО «Каскад»; e-mail: mr.andrey.arkhipkin@mail.ru, 124460, г. Москва, г. Зеленоград, проезд 4806, д. 4, стр. 2; тел.: +74999952462; к.т.н.; зам. генерального директора по ОКР.

Гуреев Александр Васильевич – Институт микроприборов и систем управления; e-mail: re@miee.ru; 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, 1; тел.: 84997208751; д.т.н.; профессор.

Pankov Sergey Egorovich – Directorate for Advanced Inter-Specific Research and Special Projects, Ministry of Defense, Russia; Moscow, K-119160; cand. of eng. sc.; Chief of Perspective Interspecific Researches and Special Projects.

Petrov Vladimir Fedorovich – National Research University of Electronic Technology. Research Institute of Computing means and Control Systems; e-mail: pvf@olvs.miee.ru; 1, Shokina Sq., Moscow, Zelenograd, 124498; phone: +74997208751; cand. of eng. sc.; deputy director.

Arkhipkin Andrey Vladimirovich – “Kaskad” Ltd; e-mail: andrey.arkhipkin@gmail.com; 124460, pass. 4806, 4, bld. 2, Moscow, Zelenograd; phone: +74999952462; cand. of eng. sc.; deputy (R&D) director.

Gureev Alexandr Vasil'evich – Institute of Microdevices and Control Systems; e-mail: re@miee.ru, 1, Shokina Sq., Moscow, Zelenograd, 124498; phone: +74997208751; dr. of eng.sc.; professor.