

## НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РАДИО- И РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ВЕДУЩИХ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

*Д.Б. Изюмов*, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *izyumov@extech.ru*

*Е.Л. Кондратюк*, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *kel@extech.ru*

*В статье рассмотрены основные направления развития космических средств радио- и радиотехнической разведки ведущих стран мира, предъявляемые к их созданию тактико-технические требования, а также вопросы научно-технических проблем разработки таких средств. Проанализированы и обобщены профильные прикладные и технологические исследования в области аэрокосмических аппаратов, проводимые в рамках 6-й Главной Научно-технической программы Министерства обороны США.*

**Ключевые слова:** радио- и радиотехническая разведка, космические системы разведки, космический аппарат, основные направления развития, тактико-технические требования, научно-технические проблемы создания, прикладные и перспективные исследования, программный элемент, электронная компонентная база.

### PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF SPACE MEANS OF RADIO- AND RADIO-ENGINEERING INTELLIGENCE OF THE LEADING FOREIGN COUNTRIES

*D.B. Izyumov*, Head of Department, SRI FRCEC, *izyumov@extech.ru*

*E.L. Kondratyuk*, Senior Researcher, SRI FRCEC, *kel@extech.ru*

*The article describes the main directions of development of space means of radio and Radio-engineering intelligence of the leading countries worldwide in respect to their creation of the tactical and technological requirements, as well as issues of scientific and technological problems of developing such tools. The article analyzes and summarizes the profile of applied and technological research in the field of aerospace vehicles, conducted within the framework of the 6th Main Scientific and Technological Programs of the Ministry of Defense.*

**Keywords:** radio-electronic intelligence, space surveillance, spacecraft, the main directions of development of tactical and technological requirements, scientific and technological problems of creation, applied and advanced research, program element, and electronic components.

Разведывательные системы космического базирования, включающие средства радио- и радиотехнической разведки (РРТР), а также средства видовой оптической и радиолокационной разведки, являются важнейшей составляющей системы разведывательного обеспечения ВС ведущих зарубежных стран (ВЗС). При этом средства космической РРТР имеют статус одних из основных средств вскрытия обстановки и занимают важное место в обеспечении органов управления ВЗС всех звеньев.

Космическая радио- и радиотехнической разведка предназначена для добывания данных о местоположении, режимах работы и параметрах сигналов радиоэлектронных средств (РЭС), включая вскрытие систем радиотехнического обеспечения ПВО, ПРО и ПКО про-

тивника, а также перехвата сигналов радиотелеметрической аппаратуры и средств его связи. Если основной целью космической радиоразведки является добывание сведений путем несанкционированного перехвата сигналов систем связи и передачи данных, то целью космической радиотехнической разведки – обнаружение и распознавание РЛС различного назначения и других РЭС, не относящихся к классу систем и средств передачи информации.

С помощью космических средств РРТР производится опознавание и различение перехватываемых сигналов, определяются их пространственно-временные параметры, включая угловые координаты, несущую частоту РЭС, вид модуляции, вид сигналов (ширина частотного спектра), состояние поляризации сигналов и др.

Основными источниками получения информации для космической РРТР являются наземные всеволновые станции; космические, самолетные, вертолетные и корабельные системы связи и телеметрии; радиоэлектронные средства управления войсками и оружием; РЛС различного назначения (например, РЛС системы ПРО и ПКО, стационарные РЛС ПВО, мобильные РЛС ПВО, самолетные, вертолетные и корабельные РЛС, РЛС целеуказания и управления средствами ПВО и др.); передающие центры радионавигационных систем и т. п.

В отличие от активных радиолокационных средств наблюдения, системы РРТР работают в пассивном режиме, что обеспечивает решение задач обнаружения и определения координат источников радиоизлучения, которые могут быть замаскированы или по другим причинам недоступны для оптического или радиолокационного наблюдения. Кроме этого, пассивный характер работы обеспечивает скрытность применения средств РРТР, а использование при этом космических аппаратов предполагает высокую оперативность, глобальный характер разведки и отсутствие недоступных для наблюдения участков земной поверхности и околоземного пространства [1, 2].

Обзорная и детальная космическая РРТР ведется с помощью систем специализированных космических аппаратов (КА)<sup>1</sup> типа «Трумпет», «Меркурий», «Ментор», «Орион» и других, обеспечивающих ведение разведки с различных орбит, включая низкие, высокоэллиптические, квазистационарные, геостационарные и геосинхронные. Имеются и узкоспециализированные низкоорбитальные космические системы морской РРТР типа «Интродер», предназначенные для наблюдения за надводными кораблями и подводными лодками на океанских театрах военных действий [3, 4, 5].

Все перечисленные космические системы РРТР принадлежат США. Наличие такой мощной группировки средств обусловлено стремлением военно-политического руководства США обеспечить глобальное слежение за обстановкой и подавляющее информационное превосходство над любым противником. Среди других зарубежных стран ведущие места по разработке, созданию и применению космических средств РРТР занимают Франция, Германия, Великобритания, Китай и Япония.

Анализ программных элементов 6-й Главной Научно-технической программы (НТП) Министерства обороны США по финансированию передовых исследований и разработок и составляющих их исследовательских проектов показал, что в области аэрокосмических аппаратов и космических технологий проводится ряд прикладных и технологических (перспективных) исследований (табл.). Так, можно выделить следующие основные программные элементы (ПЭ) НТП (первые четыре ПЭ относятся к прикладным исследованиям, остальные – к технологическим) [6, 7]:

- ПЭ 0602201F «Технологии аэрокосмических аппаратов»;
- ПЭ 0602203F «Аэрокосмические двигательные установки»;
- ПЭ 0602204F «Аэрокосмические датчики»;

<sup>1</sup> В составе орбитальной группировки системы РРТР обычно используются не менее двух оперативных и один-два резервных космических аппарата.

- ПЭ 0602601F «Космические технологии»;
- ПЭ 0603203F «Перспективные аэрокосмические датчики»;
- ПЭ 0603211F «Разработка и демонстрация аэрокосмических технологий»;
- ПЭ 0603216F «Технологии двигательных и энергетических установок аэрокосмических аппаратов»;
- ПЭ 0603401F «Технологии перспективных космических аппаратов».

**Финансирование и классификация исследований 6-й Главной Научно-технической программы МО США, относящихся к развитию и разработке аэрокосмических аппаратов и космических технологий с 2015 по 2021 гг.**

Тип исследований	Программные элементы, относящиеся к развитию и разработке аэрокосмических аппаратов и космических технологий	Год и ассигнования, млн долл.						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Прикладные	PE 0602201F Aerospace Vehicle Technologies («Технологии аэрокосмических аппаратов»)	101,1	123,0	122,8	125,0	129,6	135,5	135,1
	PE 0602203F Aerospace Propulsion («Аэрокосмические двигательные установки»)	168,6	185,9	185,7	196,0	199,1	204,1	202,7
	PE 0602204F Aerospace Sensors («Аэрокосмические датчики»)	118,6	152,2	155,2	163,0	164,3	167,7	169,9
	PE 0602601F Space Technology («Космические технологии»)	94,4	109,1	117,9	121,7	119,6	127,1	128,9
Технологические	PE 0603203F Advanced Aerospace Sensors («Перспективные аэрокосмические датчики»)	34,1	42,0	40,9	38,5	38,8	39,6	40,4
	PE 0603211F Aerospace Technology Dev/Demo («Разработка и демонстрация аэрокосмических технологий»)	86,3	100,6	131,0	119,3	123,3	102,9	75,3
	PE 0603216F Aerospace Propulsion and Power Technology («Технологии двигательных и энергетических установок аэрокосмических аппаратов»)	126,7	178,6	94,6	104,5	112,3	116,5	118,6
	PE 0603401F Advanced Spacecraft Technology («Технологии перспективных космических аппаратов»)	65,2	61,8	61,6	60,2	59,1	60,3	61,5
Всего		795,0	953,2	909,7	928,2	946,1	953,7	932,4

Анализ данных табл. показывает, что с 2016 г. ежегодный уровень ассигнований запланирован в пределах 900–950 млн долл. [6].

Финансирование и реализация прикладных и технологических исследований по вышеуказанным программным элементам ориентированы на удовлетворение предъявляемых к созданию перспективных КА, включая космические системы РРТР, тактико-технических требований, а также на решение ряда научно-технических проблем, связанных с их разработкой.

К основным тактико-техническим требованиям при создании новых космических средств РРТР относятся следующие [8, 9, 10]:

- повышение информативности получаемых данных и сокращение периодичности наблюдения (в настоящее время интервалы повторного наблюдения обеспечиваются различными системами от нескольких часов до нескольких минут), сокращение времени обработки данных и анализа выявленной информации;
- расширение полосы обзора средств (различны для совокупности систем РРТР космического базирования в зависимости от их орбит);
- обеспечение непрерывного наблюдения за интересующими районами противника и перехвата сигналов радиорелейных, тропосферных и УКВ-станций связи, перехват сигналов телеметрической аппаратуры, пеленгование РЭС вероятного противника (предельный вариант – обеспечение глобального охвата и круглосуточного наблюдения за излучениями РЭС);
- использование принципов открытой архитектуры, допускающей постепенное наращивание как орбитальной группировки космических систем разведки, так и функциональных возможностей отдельных КА РРТР;
- дальнейший переход от использования отдельных разведывательных спутников к созданию группировок взаимодействующих КА;
- применение группировок КА, состоящих из большого количества типовых малых аппаратов в качестве универсальных платформ-носителей, когерентно связанных друг с другом (возможность реализации параллельного обзора пространства с высоким разрешением);
- разработка системы активного наблюдения за мобильными целями с сокращенной периодичностью;
- реализация первичной обработки информации на борту КА с целью снижения нагрузки на каналы связи «космический аппарата–Земля», а также первичного распределения информации между центрами обработки;
- реализация модульного принципа построения КА РРТР;
- обеспечение точности определения координат РЭС вероятного противника (СКО) менее 1 км (в настоящее время точность составляет десятки километров);
- снижение массы КА РРТР и создание малых КА массой 100–500 кг и сверхмалых КА массой 10–100 кг;
- расширение диапазона рабочих частот средств космической РРТР от 0,03 до 100 ГГц (возможно, до 300 ГГц);
- обеспечение чувствительности приемников не хуже –200 дБ/Вт (минус двести децибел-ватт);
- уменьшение массы, габаритов, потребляемой мощности, затрат на запуск и энергообеспечение датчиков следующего поколения без снижения технических характеристик за счет применения новых технологий;
- повышение живучести (оснащение КА средствами самозащиты и проведения необходимого маневра), обеспечение высокой радиационной стойкости и устойчивости функционирования космических средств РРТР;
- разработка и совершенствование методов обнаружения и классификации воздушных и наземных целей с применением устройств направленного и ненаправленного действия, в том числе поляриметрических;
- передача разведанных на наземные станции в цифровом формате в масштабе времени, близком к реальному;
- интеграция средств космической и наземной разведки, функционирование в рамках единой сети получения информации;
- увеличение расчетного срока активного существования космического аппарата на орбите до 10–15 лет;
- применение новых материалов и технологий в производстве радиоэлектронных устройств, развитие концепций передовых структур КА и методов проектирования.

Анализ программ НИОКР, долгосрочных планов и программ развития космических средств РРТР, реализуемых в ведущих зарубежных странах, показал, что основными направлениями исследований в ходе разрешения научно-технических проблем при их создании являются [11, 12, 13]:

– разработка, создание и развитие беспойсковых или многоканальных систем с параллельным поиском, требующих частотно-пространственного разнесенного приема сигналов (использование разнесенного приема сигналов для реализации разностно-дальномерных и интерференционных методов определения местоположения источников излучения);

– разработка и создание недорогих унифицированных программных и аппаратных архитектур для полностью автономных группировок разведывательных спутников;

– разработка, создание и калибровка антенн космического базирования с высоким коэффициентом усиления и заданной формой диаграмм направленности;

– рациональное проектирование несущих конструкций и механической коррекции поверхности высоконаправленных космических антенн на основе оперативных данных о деформации отражающей поверхности зеркал антенн;

– развитие средств и методов точной калибровки (юстировки) крупногабаритных космических антенн (антенных решеток) на орбите, а также программного электрического управления их диаграммой направленности;

– разработка и создание многоэлементных космических антенных решеток с многоканальными приемными устройствами и параллельной программной частотной обработкой сигналов после их оцифровки на промежуточных частотах порядка 100–500 МГц;

– разработка и создание специализированных приемно-измерительных и вычислительных устройств с большим сроком активного существования, устойчивых к воздействию факторов космического полета;

– разработка и создание твердотельных приемно-преобразовательных и измерительных модулей на основе Si КМОП и SiGe БиКМОП2 технологий с топологической нормой до 40 нм и менее;

– совершенствование методов шумоподавления для радиочастотных систем;

– увеличение пропускной способности каналов передачи данных;

– разработка новых принципов кодирования полученных разведывательных данных, объединение и стандартизация алгоритмов обработки данных (как непосредственно на борту КА РРТР, так и на наземных станциях);

– разработка перспективных методов сжатия сигналов;

– разработка, создание и развитие электронной компонентной базы для космических средств РРТР (твердотельных усилителей мощности и источников питания; электронной аппаратуры, устойчивой к различным температурным режимам работы; многофункциональных монолитных интегральных микросхем; высокоскоростных аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей; электроники с программной перестройкой рабочей частоты и др.);

– увеличение производительности бортовых вычислительных систем (процессоров) и объема памяти запоминающих устройств КА РРТР для своевременной (оперативной) доставки данных (включая разработку энергонезависимых оперативных запоминающих устройств), а также использование для обработки информации все более быстродействующих аналого-цифровых преобразователей, монолитных микросхем с высокой степенью интеграции и т. п.;

<sup>2</sup> Si КМОП технология – технология полевых транзисторов КМОП (от англ. CMOS – Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) на основе кремния Si.

SiGe БиКМОП технология – технология БиКМОП (от англ. BiCMOS), объединяющая технологию биполярных транзисторов и КМОП технологию, на основе соединения кремний-германий SiGe.

- разработка перспективных высокочастотных/широкополосных приемопередающих устройств низкой стоимости;
- разработка и создание высоконадежных и радиационно-стойких монолитных интегральных приемных модулей (с низкой потребляемой мощностью, высоким коэффициентом усиления и низким коэффициентом шума);
- создание высокоэффективных и надежных радиочастотных и гибридных датчиков для активных и пассивных систем разведки за воздушными и наземными целями;
- интеграция технологий электронных компонентов и датчиков разведывательного оборудования;
- оценка совершенствования методов функционирования критических компонентов и подсистем разведывательных КА при воздействии на них радиочастотных и лазерных средств противника.

В настоящее время усилия таких государств, как США, Китай и Япония направлены на создание собственных систем РРТР космического базирования. В Европе взят курс на разделение зон ответственности между государствами. В области космических систем РРТР наибольших успехов в ЕС достигла Франция, которая произвела успешный вывод на орбиту ряда микро-КА РРТР. Использование малых типовых КА в качестве универсальных платформ-носителей является устойчивой тенденцией в развитии разведывательных систем космического базирования ВЗС.

Китай и Япония в настоящее время проводят работы по развертыванию многофункциональных космических разведывательных группировок, включающих средства оптико-электронной, радиолокационной (с режимом селекции движущихся целей), радио- и радиотехнической разведки, а также обнаружения пусков ракет.

Следует отметить интенсивность работ, проводимых Китаем по развертыванию собственных космических разведывательных систем, включая системы РРТР. Китай показал, что может осуществлять запуски КА с интенсивностью, присущей США. При этом ТТХ их систем в целом соответствуют американским. Китай взял курс на разработку небольших КА, обладающих улучшенными ТТХ. В состав средств РРТР космического базирования Китая в настоящее время входят следующие основные системы: система стратегической РРТР типа «Лэйдянь»/«Шицзянь» и система тактической РРТР типа «Саньсин».

В долгосрочной перспективе развитие космических средств РРТР ведущих зарубежных стран будет направлено на дальнейшее повышение эффективности применения этих средств для решения задач от стратегического до тактического уровня, а сами космические системы РРТР сохранят статус одних из основных средств вскрытия обстановки.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что новые средства и системы космического базирования продолжают развитие по двум направлениям. Первое направление заключается в использовании малого количества больших КА с высокими тактико-техническими характеристиками разведывательной аппаратуры. Второе направление предполагает использование большого количества малых КА с аппаратурой, обладающей более низкими значениями ТТХ.

В перспективе также вероятно реализация концепции кластерной системы развертывания группировки КА, предполагающая, например, применение малогабаритных (массой до 450 кг) и сравнительно недорогих КА различных типов, которые могут оперативно развертываться кластерным методом (несколько КА на базе однотипных платформ, но с различной полезной нагрузкой, функционирующих как единое целое). При этом предусматривается возможность развертывания на орбите новых группировок специализированных модулей, которые отличаются от современных КА, сделанных по принципу «все-в-одном». КА, входящие в такой кластер, будут объединены между собой при помощи беспроводной связи.

Анализ тактико-технических требований и научно-технических проблем создания космических средств радио- и радиотехнической разведки позволяет также сделать вывод, что

основными направлениями развития таких средств являются интеграция средств космической и наземной разведки (функционирование в рамках единой информационной сети), повышение устойчивости функционирования средств за счет применения передовых технологических решений, использование принципа модульности при создании разведывательной радиоэлектронной аппаратуры и кластерного принципа построения космических группировок, комплексная модернизация орбитального элемента системы космической разведки за счет совершенствования аппаратуры эксплуатируемых КА, повышение информативности, скорости передачи данных и периодичности наблюдения, сокращение времени обработки данных и анализа выявленной информации, повышение чувствительности приемного оборудования, а также снижение массогабаритных показателей.

Таким образом, путем координации процессов сбора, планирования, обработки данных и использования объединенных ресурсов планируется повысить точность и оперативность решаемых задач, а также снизить расходы на производство и обслуживание космических систем РРТР.

Предполагается, что задачи космической РРТР будут решаться в комплексе методами общей и детальной разведки.

Для общей разведки с грубым определением координат и целеуказанием средствам детальной разведки будет использоваться ограниченное количество автономно работающих КА на геостационарных или высокоэллиптических орбитах (с апогеем до 50–70 тыс. км) с многолучевыми крупногабаритными гибридными антеннами или антенными решетками и многоканальными приемниками. Для детальной разведки и точного определения координат РЭС вероятного противника будут использоваться группировки низкоорбитальных КА, количество которых должно быть достаточным для реализации разностно-дальномерных и интерференционных методов.

В целом, отчетливо прослеживается тенденция к тому, что пассивные средства космической РРТР ведущих стран мира будут использоваться в комплексе с оптико-электронными и активными радиолокационными системами видовой разведки.

*Статья выполнена в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по результатам работ в рамках Государственного задания по проекту № 2.4260.2017/НМ.*

### **Список литературы**

1. Исследования по созданию перспективных пассивных космических систем мониторинга наземных источников радиоизлучения. Томск: ТУСУР, 2009–2011 гг.
2. Вопросы пассивного радиомониторинга: моногр. / под общ. ред. Г.С. Шарыгина. Томск: Изд-во ТУСУРа, 2012 год.
3. Периодические издания периода 2012–2016 гг. Aviation week & space technology; Air & Cosmos; Military Technology; Jane's International Defence Review и другие.
4. Романов Н.А. «Военно-космическая разведка США в современных локальных конфликтах». 2012 год. Available at: <http://navoine.info/national-reconnaissance-office-loacal-wars.html>.
5. Журнал «Военная мысль» — «Орбитальная группировка ВС США». ВКО № 5, 2004 год. Available at: <http://militaryarticle.ru/voennaya-mysl/2005-vm/9575-orbitalnaja-gruppirovka-vs-ssha>.
6. RDT&E Budget Item Justification: PB 2017 Air Force (Программные элементы ВВС в рамках 6-й Главной Научно-технической программы МО США). February 2016. Available at: [http://www.global-security.org/military/library/budget/fy2016/usaf-peds/\(название ПЭ\)\\_pb\\_2016.pdf](http://www.global-security.org/military/library/budget/fy2016/usaf-peds/(название ПЭ)_pb_2016.pdf).
7. Department of Defense Space Science and Technology Strategy 2015. Available at: [http://www.defenseinnovationmarketplace.mil/resources/2015\\_DoD\\_Space\\_ST\\_Strategy\\_FINAL.PDF](http://www.defenseinnovationmarketplace.mil/resources/2015_DoD_Space_ST_Strategy_FINAL.PDF).
8. Department of Defense. Military critical technologies list, Space Systems Technology. 2014.
9. Space Vehicle Design, Second Edition — USA, AIAA, 2004.

10. Wilkinson, Mark. The Changing Paradigms of Satellite Reconnaissance, Creating Opportunities in the Small Satellite Industry. The 20th AIAA/USU Conference on Small Satellites, 2006.

11. Space Technology Guide. Department of Defense, FY2000–01. Office of the Secretary of Defense, 2000.

12. Макаренко С.И. «Использование космического пространства в военных целях: современное состояние и перспективы развития систем информационно-космического обеспечения и средств вооружения». 2016. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/09-Makarenko.pdf>.

13. Стешенко В., Гаршин В. «Перспективы развития электронных компонентов для бортовой аппаратуры космических систем» // Электронные компоненты. 2012.

### Referernces

1. *Issledovaniya po sozdaniyu perspektivnykh passivnykh kosmicheskikh sistem monitoringa nazemnykh istochnikov radioizlucheniya* [Research on the development of advanced passive space-based monitoring systems of land-based sources of radio emission] *TUSUR* [TUSUR] Tomsk, 2009–2011.

2. *Voprosy passivnogo radiomonitoringa: monogr. Pod obshch. red. G.S. Sharygina* [The passive radio monitoring: monograph. Under the General editorship of G.S. Sharygin] *Izd-vo TUSURa* [Publishing house of TUSUR], Tomsk. 2012.

3. *Periodicheskie izdaniya perioda 2012–2016 gg.* [Periodicals of period 2012–2016. Aviation week Г space technology; Air & Space; Military Technology; Jane's International Defence Review and other].

4. Romanov N.A. «Military space exploration of the United States in the modern local conflicts». 2012. Available at: <http://navoine.info/national-reconnaissance-office-loacal-wars.html>.

5. Journal «Military thought» – «The Orbital group of the armed forces of the United States.» SAI No. 5, 2004. Available at: <http://militaryarticle.ru/voennaya-mysl/2005-vm/9575-orbitalnaja-gruppirovka-vs-ssha>.

6. RDT&E Budget Item Justification: PB 2017 Air Force (program elements of the air force in the framework of the 6th Main Scientific and technological program MO, USA). February 2016. Available at: [http://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2016/usaf-peds/\(name of PE\)\\_pb\\_2016.pdf](http://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2016/usaf-peds/(name of PE)_pb_2016.pdf).

7. Department of Defense Space Science and Technology Strategy 2015. Available at: [http://www.defenseinnovationmarketplace.mil/resources/2015\\_DoD\\_Space\\_ST\\_Strategy\\_FINAL.PDF](http://www.defenseinnovationmarketplace.mil/resources/2015_DoD_Space_ST_Strategy_FINAL.PDF).

8. Department of Defense. Military critical technologies list, Space Systems Technology. 2014.

9. Space Vehicle Design, Second Edition – USA, AIAA, 2004.

10. Wilkinson M. (2006) The Changing Paradigms of Satellite Reconnaissance, Creating Opportunities in the Small Satellite Industry. The 20th AIAA/USU Conference on Small Satellites.

11. Space Technology Guide. Department of Defense, FY2000–01. Office of the Secretary of Defense, 2000.

12. Makarenko S.I. (2016) *Ispol'zovanie kosmicheskogo prostranstva v voennykh tselyakh: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya sistem informatsionno-kosmicheskogo obespecheniya i sredstv vooruzheniya* [Use of outer space for military purposes: current status and prospects of development of systems of information and space security and weapons]. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/09-Makarenko.pdf>.

13. Steshenko V., Garshin V. (2012) *Perspektivy razvitiya elektronnykh komponentov dlya bortovoy apparatury kosmicheskikh sistem* [Prospects of development of electronic components for on-Board equipment of space systems] *Elektronnye komponenty* [Electronic components].