

УДК 621.396.967

## ВОЗМОЖНОСТИ СПЛОШНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОЛЯ СПРН ПО НАБЛЮДЕНИЮ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Аксёнов О. Ю., Вениаминов С. С., Якубовский С. В.

### POSSIBILITIES OF THE BMEWS RADARS FOR DETECTING SPACE DEBRIS

Aksenov O. Y., Veniaminov S. S., Yakubovskiy S. V.

Scientific Research Center 'Kosmos', Ministry of Defence, Moscow, 129345, Russia  
e-mail: sveniami@gmail.com

*Abstract.* The program of development of the Ballistic Missile Early Warning System (BMEWS) radars envisions creation of the far detection radars at new sites, as well as replacement and upgrade of functioning ones. The choice of composition and structure of the BMEWS radar alignment, the sites for radars, and size and orientation of operation ranges is determined by the designation of BMEWS. After putting the new radars into operation in 2016 the BMEWS radar field became continuous and compact. This has led to enhancement of possibilities of observation of space objects (SO) in the near-Earth space (including debris fluxes). At present, as the information basis of the BMEWS radar field are created and upgraded by the high factory completeness technology radars of different frequency bands. Now the BMEWS radar alignment generates some 150 000 observation messages per day and sends them to Russian Space Surveillance System (RSSS). The trackable orbits are in the range of 100 through 400 km and using a special observation mode – up to 40 000 km. The values of tracked SOs' radar cross section are in the range of 1 to 100 m<sup>2</sup>. In the paper, the possibilities of the up-to-date BMEWS radar field are analyzed and some experimental data on its operation in the interests of detection and tracking of low-Earth and high SOs is given. Some aspects of using the BMEWS information for performing the tasks of surveillance of the cubesats group launch, monitoring of the atmosphere state and others.

*Keywords:* Ballistic Missile Early Warning System, Space Surveillance System, continuous radar field, space debris, factory completeness technology, radar cross section, space object, monitoring, space weather.

### 1. Развитие радиолокационного поля СПРН

Программа работ по развитию радиолокационного поля (РЛП) системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН) предусматривает создание радиолокационных средств дальнего обнаружения в новых местах, а также замену и модернизацию действующих РЛС в существующих пунктах дислокации. Выбор состава группировки РЛС СПРН, мест дислокации, размеров и ориентации зон действия всегда определяются целевым назначением СПРН.

За период времени, прошедший с предыдущей Терскольской конференции в 2015 г., в радиолокационном поле (РЛП) СПРН произошли существенные изменения. Радиолокационное поле стало сплошным. Началась эксплуатация трех новых РЛС высокой заводской готовности (ВЗГ) на объектах Енисейск, Барнаул, Орск. РЛС прошли этап модернизации и улучшили характеристики по обслуживанию потока космических объектов (повышена точность радиолокационных измерений низкоорбитальных КА по дальности и углам в 1,5–2 раза) РЛС на объектах Барановичи, Мурманск, Печора. Предполагает-

Аксёнов Олег Юрьевич, д-р техн. наук, профессор, начальник Научно-исследовательского испытательного центра Центрального научно-исследовательского института войск воздушно-космической обороны Министерства обороны Российской Федерации; e-mail: aks974@yandex.ru.

Вениаминов Станислав Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, старший научный сотрудник Научно-исследовательского испытательного центра Центрального научно-исследовательского института войск воздушно-космической обороны Министерства обороны Российской Федерации; e-mail: sveniami@gmail.com.

Якубовский Сергей Владимирович, д-р техн. наук, доцент, начальник отдела Научно-исследовательского испытательного центра Центрального научно-исследовательского института войск воздушно-космической обороны Министерства обороны Российской Федерации; e-mail: syakubovskiy@mail.ru.

ся, что после 2020 г. развитие РЛП СПРН на основе технологий ВЗГ продолжится, что позволит расширить информационные возможности СККП и других потребителей информации.

Основными особенностями новых РЛС (всех типов и модификаций), влияющими на решение задач контроля КО в околоземном космическом пространстве (ОКП), являются [1]:

- крупноапертурные фазированные антенные решетки (ФАР) с цифровым формированием и управлением многолучевыми диаграммами направленности (ДН);

- режим когерентного накопления сигналов;

- технологии формирования и оптимальной обработки сверхширокополосных сигналов (полоса более 10 % от несущей);

- возможность гибкой адаптации РЛС к текущим условиям радиочастотной обстановки и ионосферным параметрам трасс распространения радиоволн;

- повышения помехозащищенности и живучести;

- повышение точности измерения координат и оценки параметров движения объектов наблюдения, разрешающей и пропускной способности;

- повышение вероятности обнаружения малоразмерных целей на больших дальностях в широком диапазоне высот траекторий за счет адаптивного управления параметрами зондирующих сигналов и порого-логической обработки принятых отраженных сигналов на различных развертках дальности.

Ввод новых и модернизация существующих РЛС СПРН на основе технологий ВЗГ позволили создать сплошное РЛП (рис. 1).

В качестве особенностей сплошного РЛП, вытекающих из состава и возможностей группировки надгоризонтных РЛС СПРН, можно отметить следующие:

1. Резерв энергетического потенциала РЛС позволяет создавать управляемое, адаптивное к внешним условиям функционирования РЛП.

2. Реализованные режимы функционирования РЛС СПРН позволяют эффективно решать задачу мониторинга среды распространения радиоволн (предсказывать космическую погоду, оценивать текущее состояние ионосферы, определять отражательные характеристики авроральных отражений).

3. РЛС СПРН решают задачу оценки размеров и калибровки каталогов эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) КО.

4. РЛС СПРН обеспечивают работы по экологии контролируемых территорий (определению зон поиска фрагментов космического мусора, образующихся после запуска ракет носителей).

5. РЛС СПРН, расположенные вблизи мест дислокации средств СККП и средств траекторных измерений, позволяют решать задачу оперативного обмена данными по реальному космическому фону в интересах сбора детальной информации по отдельным КО и устойчивого сопровождения пусков отечественных РН.

Увеличение количества и типажа РЛС СПРН непременно ведет к расширению возможностей РЛП по наблюдению потока космических объектов (КО) включая космический мусор (КМ) на различных орбитах в ОКП. Наблюдение баллистических целей в широком диапазоне точек старта и падения приводит к расширению возможностей наблюдения ИСЗ на низких (примерно до 2000–4000 км) орбитах. При создании РЛС СПРН закладываются энергетические резервы для сопровождения большого числа обнаруженных целей. Эти резервы можно использовать для наблюдения ИСЗ на более высоких орбитах по целеуказаниям от оптических средств или (в пределах возможностей) автономно. Во всех случаях измерения дальности, получаемые от РЛС, обеспечат обнаружение большего числа КО и существенное повышение точности и оперативности определения параметров их движения на высоких орбитах по сравнению с решением той же задачи оптическими средствами. Задача обнаружения низкоорбитальных КО (НОКО) решается в штатном режиме функционирования. Наблюдение за высокоорбитальными КО (ВОКО) требует внедрения в РЛС специального режима когерентного накопления пачек зондирующих сигналов.

## **2. Информационные возможности РЛП СПРН в интересах СККП**

Основными задачами, решаемыми РЛС СПРН в интересах СККП, являются:

- формирование данных для ведения орбитального и некоординатного каталогов СККП;

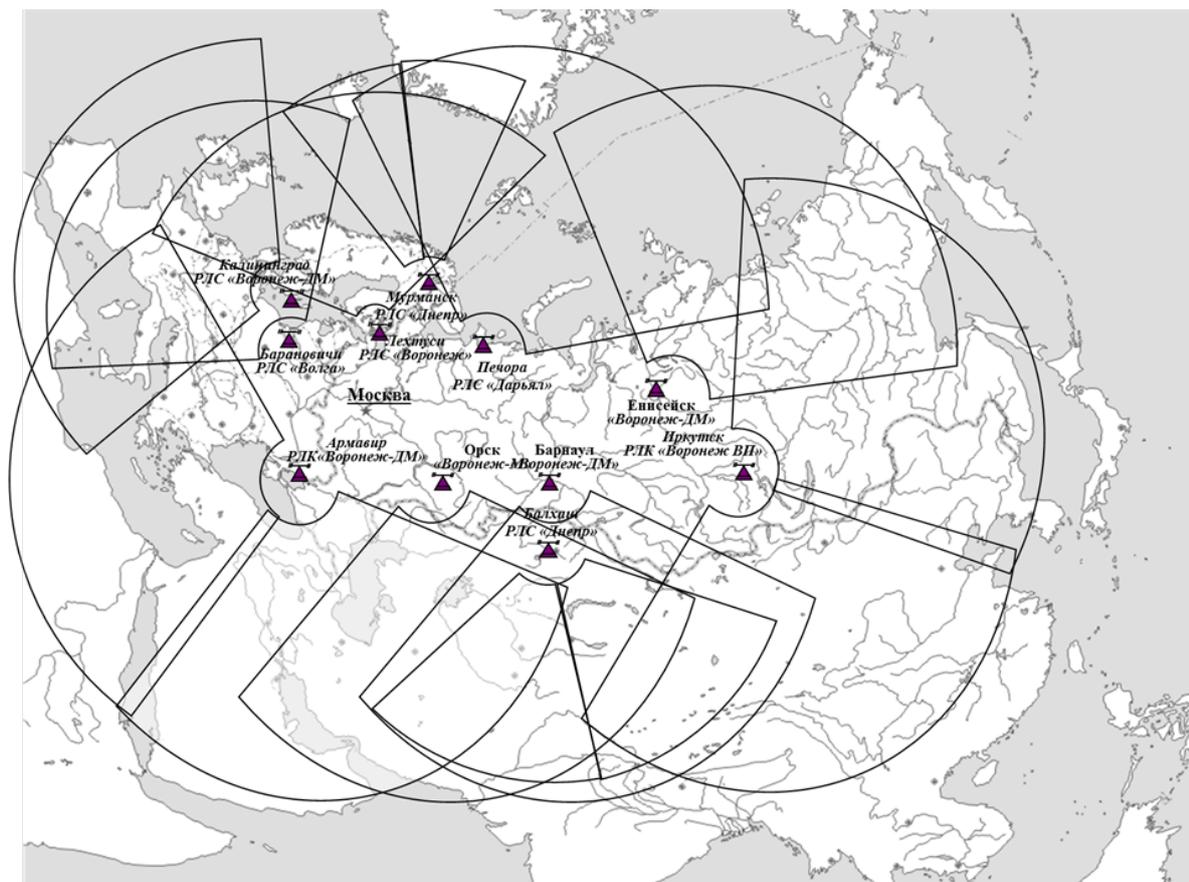


Рис. 1. Радиолокационное поле СПРН 2017 г.

– автономное обнаружение и сопровождение низкоорбитальных КО в барьерных зонах обнаружения (БЗО) и по целеуказаниям (ЦУ), поступающим от командного пункта (КП СККП);

– обнаружение и сопровождение высокоорбитальных космических объектов (ВОКО) в специальном режиме зондирования;

– выдача информации для формирования признака вращения цели;

– выдача координатной и некоординатной информации с заданным темпом.

Следует иметь в виду, что около 95 % каталога СККП составляет космический мусор (КМ).

В настоящее время источником радиолокационной информации (траекторной и отражательной) для СККП является группировка средств СПРН, расположенных в европейской и азиатской частях РФ. В среднем за сутки от такой группировки в Центр обработки информации СККП поступает более 160 тыс. формализованных типовых сообщений (ТС). Эта информация позволяет иметь данные о

траекториях полета 5 700–6 500 КО в сутки. Орбиты сопровождаемых КО лежат в диапазоне высот от 120–4 000 км. По значениям ЭПР сопровождаемые КО ориентировочно делятся на:

– малоразмерные (ЭПР до 1 кв. м) — 1 300 КО /сут.;

– среднеразмерные (ЭПР до 5 кв. м) — 2 000 КО/сут.;

– крупноразмерные (ЭПР более 5 кв. м) — 3 200 КО/сут.

В интересах СККП радиолокационное поле СПРН на основе РЛС ВЗГ позволяет оперативно круглосуточно формировать и выдавать информацию для ведения орбитального и некоординатного каталогов по сопровождаемым и распознанным КО в различных диапазонах длин волн (метровом, дециметровом, сантиметровом). По уровню энергетического потенциала РЛС ВЗГ делятся на низкопотенциальные, среднепотенциальные, высокопотенциальные. Типовые сообщения от РЛС СПРН имеют координатную и некоординатную составляющие. По координатной

части вектора строится орбитальный каталог и производится идентификация с объектами каталога. Некоординатный вектор, поступающий от РЛС, представляет собой оценки средних выборочных значений ЭПР и её средней квадратической ошибки, измеренных при пролёте объекта через зону действия РЛС ВЗГ сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов длин волн, а также признак вращения объекта. В РЛС ВЗГ реализованы несколько режимов обнаружения целей, а именно:

- барьерный режим обнаружения;
- выборочное зондирование при сопровождении целей;
- обнаружение и взятие на сопровождение КО на минимальных дальностях вне БЗО по ЦУ, формируемым по данным частного каталога КО.

Реализация в РЛС ВЗГ режима обнаружения КО по целеуказаниям вне БЗО баллистических целей (БЦ) позволяет использовать эти РЛС для получения информации о важных низкоорбитальных КО, которые пролетают в секторе ответственности РЛС без захода в БЗО (например, о запущенных важных отечественных низкоорбитальных КА или о важных падающих КО).

Для радиолокационного наблюдения ВОКО на дальностях от 10 000 до 40 000 км по ЦУ СККП от РЛС требуется наличие высокого энергетического потенциала и высоких точностей измерения дальности и радиальной скорости. В интересах СККП радиолокационные наблюдения ВОКО осуществляются короткими сеансами (длительностью порядка 1 мин.), разнесенными по времени с интервалами 1–2 ч. в течение всего времени нахождения ВОКО в пределах зоны действия РЛС.

Для СККП представляется важной возможность реализации в РЛС СПРН режимов наблюдения КО по целеуказаниям, формируемым по данным от КП СККП, для получения радиолокационной информации о низкоорбитальных и высокоорбитальных КО (НОКО и ВОКО), не обнаруживаемых в штатных БЗО баллистических целей (на малых углах места) по одной из следующих причин:

- непопадание КО в БЗО целей при пролёте их в секторе ответственности РЛС (по углам);

- невозможность обнаружения малоразмерных КО (с низкими уровнями ЭПР) на больших дальностях пролёта их в БЗО целей;

- нахождение высокоорбитальных КО, включая крупноразмерные (с высокими уровнями ЭПР) в пределах БЗО целей (по углам), но на дальностях больше конструктивной дальности РЛС.

Для перечисленных случаев имеется принципиальная возможность получения от РЛС СПРН необходимых радиолокационных измерений для каталогизированных на КП СККП космических объектов при обнаружении их вне штатных БЗО целей по ЦУ, рассчитываемым по данным частных каталогов КО, и при последующем сопровождении КО в пределах зоны действия РЛС. Получаемая от РЛС СПРН высокоточная радиолокационная информация о каталогизированных на КП СККП КО используется для подтверждения нахождения КО на определённых ранее орбитах, включая КМ.

Эксплуатируемые РЛС ВЗГ обеспечивают в штатном режиме обнаружение в БЗО и последующее сопровождение с получением координатных и некоординатных измерений для около 3500 низкоорбитальных КО различных категорий, среди которых имеются около 450 действующих КА. От каждой РЛС ВЗГ на КП СККП в сутки поступают результаты около 10 000 проводок, обнаруженных КО, то есть в среднем по три проводки в сутки для каждого КО. От РЛС ВЗГ с южной ориентацией секторов поступают по мере захода их в БЗО РЛС измерения порядка 400 КО на высокоэллиптических орбитах. Энергетические характеристики и характер изменения потенциального рельефа РЛС ВЗГ метрового и дециметрового диапазонов позволяют сопровождать по ЦУ КО с различными ЭПР в широком диапазоне дальностей и высот (табл. 1). При реализации в РЛС режима когерентного накопления пачек зондирующих импульсов дальности обнаружения КО могут быть существенно увеличены вплоть до ГСО.

В ходе испытаний и эксплуатации РЛС ВЗГ дециметрового диапазона специалистами ОАО «НПК «НИИДАР» был выявлен эффект резкого увеличения ЭПР ВОКО под определенными углами визирования. В частности, при совпадении нормали солнечной панели КО с направлением на РЛС. Натурные эксперименты для установления частоты выполнения таких условий продолжаются.

Таблица 1. Дальности и высоты наблюдения КО РЛС ВЗГ по ЦУ ЦККП

ЭПР, кв. м	0,01	0,03	0,1	0,3	1,0	3,0	10,0	30,0	100	1 000	10 000
Dmax, км	800 ...	1 000 ...	1 400 ...	1 850 ...	2 500 ...	3 300 ...	4 500 ...	5 900 ...	8 000 ...	14 300 ...	25 500 ...
	1 250	1 650	2 250	2 900	4 000	5 300	7 100	9 300	12 600	22 400	40 000
Hmax, км	700 ...	880 ...	1 250 ...	1 660 ...	2 260 ...	3 010 ...	4 150 ...	5 490 ...	7 530 ...	13 720 ...	24 830 ...
	1 110	1 480	2 030	2 640	3 670	4 920	6 650	8 800	12 040	21 740	39 280

С целью прогнозирования прохождения КО через зоны действия РЛС СПРН специалистами ОАО «НПК «НИИДАР»» разработана и реализована программно-алгоритмическая система, позволяющая моделировать главный каталог КО СККП. Программа оперативно планирует проводки специальных КО (в том числе КМ) в интересах проведения работ по юстировке и калибровке РЛС в ходе испытаний и эксплуатации. Результаты моделирования фрагмента каталога КО для одного из объектов СПРН на базе РЛС ВЗГ-ДМ представлены на рис. 2.

Следует отметить, что группировка РЛС СПРН нового поколения способна решать ряд важных научных и прикладных задач в интересах различных потребителей. Кратко изложим эти задачи.

### 3. Задача мониторинга ионосферы и радиооблика низкоорбитальных космических аппаратов

Состав технологической аппаратуры и программного обеспечения позволяют применять РЛС ВЗГ в следующих режимах:

- режим ионосферных наблюдений;
- режим радиолокационных наблюдений за отдельными КА.

Режим ионосферных наблюдений служит для регистрации сигнала рассеянного от ионосферной плазмы в диапазоне высот от 150–1 200 км. На излучение может работать вся ФАР или ее часть, может изменяться вид зондирующего сигнала (ФКМ-заполнение, ЛЧМ-заполнение) и его длительность. Цифровой приемник и система регистрации позволяют записывать отдельные временные развертки принятого сигнала в приемных каналах с различной полосой пропускания. Обработка принятых сигналов позволяет получать информацию о высотном профиле электронной концентрации ионосферной плазмы, темпера-

туре ионов и электронов, скорости дрейфа плазмы.

Режим наблюдений за отдельными КА представляет собой сканирование отдельной части зоны действия по целеуказаниям системы ККП (или другого потребителя информации) с целью обнаружения и сопровождения объекта (получения координатных и отражательных характеристик КА). Область сканирования, виды и частоты зондирующих сигналов определяются заранее с учетом целевой направленности запланированной работы (эксперимента), т.е. областью пересечения зоны действия РЛС и эфемериды КА. Все параметры (время, частота, формы сигналов и др.) через конфигурационные файлы вносятся в версию программного обеспечения РЛС.

Важные научные результаты в указанных режимах были получены сотрудниками Института солнечно-земной физики СО РАН (г. Иркутск) на радаре некогерентного рассеяния на базе оборудования РЛС «Днепр» [2, 3]. Результаты натуральных экспериментов в решении указанных задач служат основой для реализации ряда целевых программ, в том числе, создания единого центра мониторинга состояния ионосферы, сопряжения информационных возможностей радиолокационных и оптических средств для оперативного получения измерений по отдельным КА.

### 4. Задача локализации мест падения отделяющихся частей (ОЧ) ступеней ракеты-носителя (РН)

Известно, что пуски РН, выводящих на орбиту КА, оказывают влияние на окружающую среду [5]. Первые и вторые ступени подавляющего большинства РН не сгорают бесследно в атмосфере, а в виде отделившихся фрагментов, оторвавшихся частей и прочих элементов, которые уверенно можно отнести к КМ, падают на землю. При этом перечис-

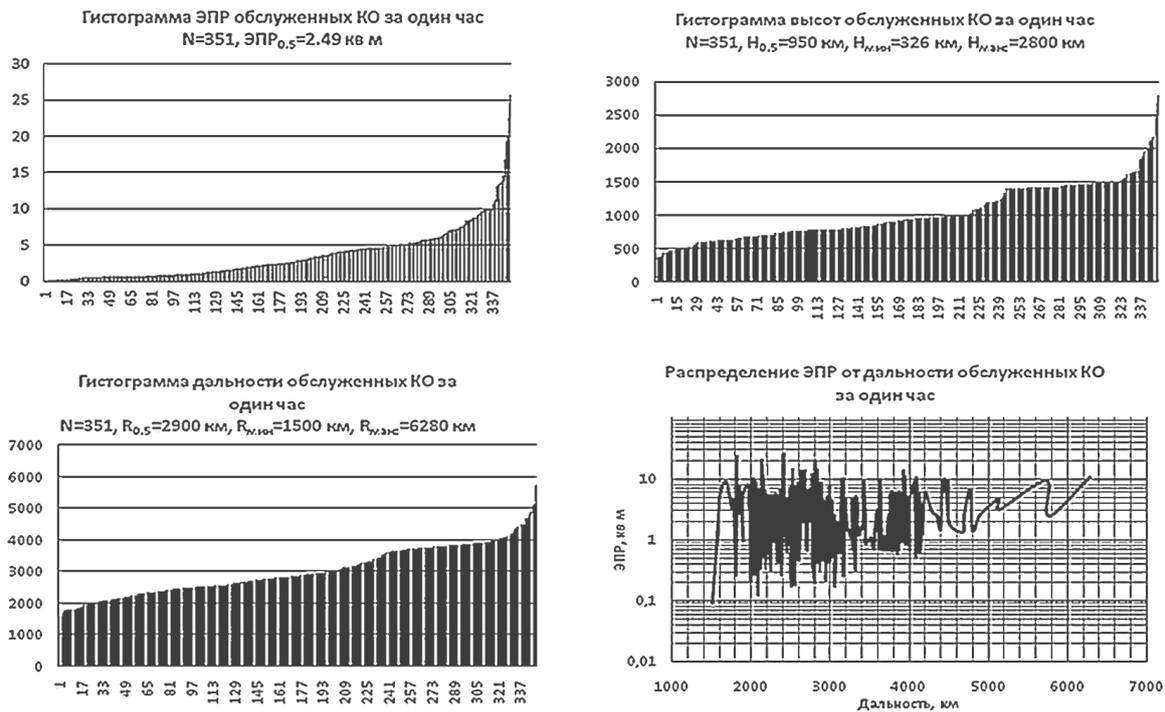


Рис. 2. Результаты моделирования фрагмента каталога КО

ленные фракции КМ оказывают физическое воздействие на поверхность земли, и, помимо этого, остатки топлива, часто ядовитого, разливаются по поверхности, могут попадать в воду. Также в атмосфере распыляются продукты сгорания, а при разрушении баков — остатки несгоревшего топлива.

Задачи локализации мест падения ОЧ ступеней РН заключаются в определении участка Земной поверхности, его расчетной величины и формы, в пределы которого с заданной вероятностью возможно падение ОЧ.

Для решения этой задачи реализован следующий подход:

- а) на основе понятий движения РН, физической сущности отделения ступеней РН определен необходимый состав исходных данных;
- б) сформулирована формализованная математическая постановка задачи, найдено ее решение в аналитическом виде, разработана структура математической модели;
- в) разработано программно-алгоритмическое обеспечение для решения исходной задачи;
- г) проведено исследование работоспособности предложенного подхода и сформированы предложения по его практическому при-

менению в составе программного обеспечения РЛС СПРН.

Исследование проведено на основе опытно-теоретического метода с использованием натурной информации о пусках РН с полигонов Плесецк и Байконур. Результаты проведенного исследования по оценке точности расчета районов падения ОЧ РН различных типов подтвердили возможность решения данной задачи с характеристиками, достаточными для его практического применения при организации поиска в штатных и нештатных районах падения ОЧ. Данный вид информации может быть полезен в работе Временной комиссии Совета Федерации по защите интересов субъектов РФ, юридических лиц и граждан от неблагоприятных воздействий ракетно-космической деятельности.

## 5. Задача обнаружения вывода на орбиту большого количества спутников

В последнее время широко применяются запуски отечественных и иностранных РН, при которых в ОКП одновременно выводится большое количество (до ста и более) малых КА. Ракета-носитель «Союз-2.1а», стартовавшего 14.07.2017 г., вывела 72 спутника на суб-

орбитальную траекторию полета. При этом мировой рекорд был установлен 15.02.2017 г., когда Индия провела запуск ракеты PSLV-XL со 104 спутниками на борту.

Результаты слежения за такими пусками показали, что РЛС ВЗГ способны работать по таким группам целей («облакам»), состоящим из малых КА на низких высотах. Информация от РЛС ВЗГ по отслеживаемым малоразмерным КА заносится в каталог Центра обработки, преобразуется и может выдаваться в качестве целеуказаний на специализированные оптические и радиолокационные средства системы ККП. Может решаться и обратная задача, когда по данным оптических средств на РЛС ВЗГ поступают целеуказания для наблюдения какого-либо объекта в специальном режиме. Специальный режим подразумевает выдачу в Центр обработки СККП единичных траекторных и отражательных замеров с заданным темпом. Кроме того, алгоритм обработки информации в РЛС ВЗГ позволяют значительно снизить порог обнаружения (порог выставляется для обеспечения заданного уровня ложных тревог) или ввести дополнительные пороги меньшего уровня. При этом в Центр обработки пойдет больший поток информации по множественным групповым целям (малым КА).

#### **6. Взаимодействие РЛС СПРН с радиолокационными и оптическими средствами взаимодействующих систем в одном районе дислокации**

По целеуказаниям от РЛС СПРН информационные средства СККП (радиолокационные и оптические) могут осуществлять оперативный поиск КО в заданной области ОКП [5].

Средства отдельных измерительных пунктов (ОИП) имеют узкие диаграммы направленности и работают только по целеуказаниям. В ситуациях, когда КО пропадают из зоны радиовидимости ОИП, средства СПРН могут обнаруживать и формировать ЦУ для ОИП, чтобы обеспечить получение важной телеметрической информации с борта КА.

#### **Выводы**

1. Создание сплошного радиолокационного поля СПРН существенно повысило характеристики по контролю КО в ОКП.

2. В настоящее время и в обозримой перспективе значимость радиолокационных из-

мерений РЛС СПРН для решения задач контроля космической обстановки, включая обнаружение и наблюдение КА, сохраняется.

3. Для получения радиолокационных измерений КО, находящихся в зонах действия РЛС СПРН, на больших углах места без прохождения БЗО или при больших дальностях нахождения в БЗО, не позволяющих обнаруживать КО, в РЛС ВЗГ реализована возможность обнаружения таких КО по ЦУ из частного каталога орбит.

4. Энергетический потенциал создаваемых и модернизируемых РЛС на основе технологий ВЗГ позволяет обеспечивать наблюдение по ЦУ высокоорбитальных КА. После ввода РЛС ВЗГ-СМ появляется возможность обнаруживать объекты, включая КА, размером 10–20 см.

5. При рациональном управлении режимами функционирования и параметрами зондирующих сигналов РЛС ВЗГ могут обеспечить потребителя необходимой информацией о КА без снижения характеристик решения задач ККП по предназначению.

6. Благодаря достигнутому ТТХ РЛС СПРН нового поколения способны решать задачи по контролю групповых пусков малых КА, мониторинга состояния ионосферы, определения зон поиска фрагментов космического мусора и др.

#### **Литература**

1. Аксёнов О.Ю., Вениаминов С.С., Якубовский С.В. Возможности радиолокационных средств системы предупреждения о ракетном нападении по обнаружению космических объектов. В сб. «Околоземная астрономия-2015». Труды междунар. конф. 31 августа – 5 сентября 2015 г. п. Терскол. М.: Янус-К, 2015. С. 256–260.
2. Zherebtsov G.A., Zavorin A.V., Kurkin V.I., Medvedev A.V., Potekhin A.P., Berngardt O.I., Vasiliev R.V., Kushnarev D.S., Lebedev V.P., Shpynev B.G., Khakhinov V.V. Irkutsk coherent scatter radar: history and perspectives // Proc. of the “International living with astarworkshop”. Irkutsk, June 24–28, 2013, p. 25–26.
3. Ratovskiy K.G., Klimenko M., Klimenko V., Medvedev A.V., Alsatkin S.S., Oinats A.V. Comparison of height-diurnal electron density variations between Irkutsk Incoherent Scatter Radar and GSM TIP and IRI Models // Proc. of “Atmosphere, Ionosphere, Safety – 2016”. V Int. Conf. Kaliningrad, 19–25 June, 2016: Kaliningrad, 2016. P. 482–486.

4. Воздействие ракетно-космической техники на окружающую среду / Под ред. В. В. Адущкина, С. И. Козлова, М. В. Сильникова. М.: ГЕОС, 2016. 795 с.
5. Вениаминов С.С., Якубовский С.В. Общая постановка задачи оптимизации группировки средств сложной системы вооружения // В сб. НИЦ РКО, ч. 2, 2013. С. 137–147.
3. Ratovsky K.G., Klimenko M., Klimenko V., Medvedev A.V., Alsatkin S.S., Oinats A.V. Comparison of height-diurnal electron density variations between Irkutsk Incoherent Scatter Radar and GSM TIP and IRI Models. In: *Proc. of V Int. Conf "Atmosphere, Ionosphere, Safety – 2016"*. Kaliningrad, 19–25 June, 2016, Kaliningrad, 2016, pp. 482–486.
4. Adushkin V.V., Kozlov S.I., Sil'nikov M.V. (eds.) *Vozdeystvie raketno-kosmicheskoy tekhniki na okruzhayushchuyu sredu* [The impact of rocket and space technology on the environment]. Moscow, GEOS Pub., 2016, 795 p. (In Russian)
5. Veniaminov S.S., Yakubovskiy S.V. Obshchaya postanovka zadachi optimizatsii gruppirovki sredstv slozhnoy sistemy vooruzheniya [General formulation of the task of optimizing the grouping of means of a complex armament system]. In: *NIT's RKO* [Research Center Rocket Space Defense], pt. 2, 2013, pp. 137–147. (In Russian)

### References

1. Aksenov O.Yu., Veniaminov S.S., Yakubovskiy S.V. *Vozmozhnosti radiolokatsionnykh sredstv sistemy preduprezhdeniya o raketnom napadenii po obnaruzheniyu kosmicheskikh ob"ektov* [The radar capabilities of the missile attack warning system for the detection of space objects. In the collection]. In: «*Okolozemnaya astronomiya-2015*» *Trudy mezhdunar. konf. 31 avgusta – 5 sentyabrya 2015 g. p. Terskol* [Proc. of the Intern. conf. "Near-Earth astronomy-2015", August 31 – September 5, 2015, Terskol]. Moscow, Yanus-K Pub., 2015, pp. 256–260. (In Russian)
2. Zherebtsov G.A., Zavorin A.V., Kurkin V.I., Medvedev A.V., Potekhin A.P., Berngardt O.I., Vasiliev R.V., Kushnarev D.S., Lebedev V.P., Sh-