



УДК 621.396.96

© С. В. Дудников, Е. А. Костюк, Ю. И. Чересов, 2015

Рациональное использование бортового ресурса космической системы радиолокационного наблюдения

На основе анализа целевого применения космической системы радиолокационного наблюдения с синтезированием апертуры при дистанционном зондировании Земли показаны направления рационального использования бортового ресурса целевой аппаратуры и возможные способы их реализации.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, космический аппарат, радиолокационная система с синтезированием апертуры антенны.

Введение

В настоящее время адекватно и своевременно реагировать скоординированными упреждающими действиями на любые угрозы невозможно без современных информационных систем, которые позволяют контролировать обширные зоны воздушно-космического пространства и поверхности Земли, а также вести оперативный сбор, объединение и анализ информации для нужд различных потребителей (Минприроды, Минсельхоз, МЧС, МВД и др.). Для повышения качества получаемой информации данные системы должны быть объединены общей сетевой инфраструктурой [1].

Космическая отрасль и взаимодействующая с ней кооперация предприятий имеют большой задел для создания такой суперсистемы. Однако рациональному распределению задач между подсистемами различного базирования и сквозной оптимизации всей системы с учётом требований различных потребителей препятствует межведомственная разобщённость.

Государственная программа Российской Федерации «Космическая деятельность России на 2013–2020 годы» [2] является организационной основой решения этой проблемы, особенно актуального в настоящее время при разработке и развертывании новых отечественных космических аппаратов (КА) орбитальных группировок (ОГ) различного назначения: «Метеор-3М» – комплекс гидрометеорологического назначения с КА на солнечно-синхронных орбитах; «Электро-Л» – комплекс гидрометеорологического назначения с КА на геостационарных орбитах; «Конопус-В» – комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций; «Ресурс-П» – комплекс для высокодетального и детально широкопо-

лосного наблюдения поверхности Земли для решения многих социально-экономических задач; «Кондор-Э» – комплекс, позволяющий решать широкий круг целевых задач; перспективные комплексы «Обзор», «Арктика» и др. [3, 4]. При этом необходимо оптимизировать решения большого количества отдельных задач. Так, например, построение спутниковых группировок без их оптимизации с учётом решаемых задач тем более расточительно, чем больше в них число КА.

Наблюдение Земли из космоса при решении целого ряда задач требует определённой периодичности обзора одной и той же местности. Так, согласно типовым требованиям потребителей информации мониторинг зон чрезвычайных ситуаций (лесных пожаров, наводнений и др.) и вооружённых конфликтов период повторных наблюдений составляет 1–3 часа [5]. Такие высокие параметры периодичности при одновременном требовании высокого (менее 1 м) пространственного разрешения можно обеспечить лишь при значительном числе КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Следует отметить, что создание и развертывание группировок КА ДЗЗ из большого числа КА (порядка 10 и более) до сих пор никак не реализовывалось по причине высоких расходов.

Особые ограничения накладывает целевая аппаратура (ЦА), в нашем случае радиолокационные системы с синтезированием апертуры (РСА), у которой, с одной стороны, полоса обзора должна быть как можно шире, чтобы получить требуемую периодичность наблюдений с минимальным количеством КА, а с другой – есть технологические ограничения по увеличению полосы обзора.

Минимизация количества КА в группировке требует и оптимизации орбитальных

параметров системы – высоты, наклона орбит, относительного расположения отдельных КА в группировке. Также при разработке системы и её применении всегда стоит вопрос оптимизации использования ресурса ЦА – РСА с учётом его ограниченности. В общем случае оптимизационная задача построения и применения космических систем (КС) ДЗЗ, в т. ч. КС радиолокационного наблюдения (РЛН), является многокритериальной.

В начале покажем потенциальные возможности комплексного решения различных целевых задач на основе анализа требований к космической системе радиолокационного наблюдения при дистанционном зондировании Земли.

Задачи целевого использования КС РЛН при ДЗЗ и требования к её основным характеристикам

Задачи целевого использования КС ДЗЗ, в том числе КС РЛН, основные требования к системам и направления их дальнейшего совершенствования и развития изложены в ряде работ [5-13]. Для упрощения проведения анализа все основные задачи целевого применения, исходя из требований к детальности съёмки, снимаемым площадям, оперативности доставки информации и требований к её обработке, можно разбить на четыре группы:

мониторинг, анализ и прогноз состояния акваторий морей и океанов;

задачи сельского, лесного, водного хо-

Таблица 1

Требования к основным характеристикам КС РЛН

Основные характеристики радиолокационной съёмки	Основные задачи			
	Мониторинг, анализ и прогноз состояния акваторий морей и океанов	Задачи сельского, лесного, водного хозяйства и экологии	Задачи геологии и картографии	Информационное обеспечение производственной деятельности и предотвращения ЧС
Разрешение на местности, м	25–500	1–100	0,5–30	0,5–5
Радиометрическое разрешение, дБ	1	1	1	1–2
Точность радиометрической калибровки, дБ	1	1	1	1
Точность привязки, пикс.	1–2	1–2	1–2	1–2
Периодичность наблюдения	1 сут (в отдельных случаях до 1 ч)	1–10 сут	5–10 лет	1–3 нед.
Оперативность доставки информации	3 ч (в отдельных случаях до режима реального времени)	1 сут (в отдельных случаях до 4 ч)	не критично	1–2 сут (в отдельных случаях до режима реального времени)
Размеры снимаемых территорий, млн км ²	около 10	до 5	до 5 (для цифровых моделей рельефа 0,5)	до 0,5
Режим съёмки	маршрутный, маршрутный широкополосный	высокодетальный и детальный кадровые, маршрутный узкополосный, маршрутный		
	Заказчики			
	Минприроды, Росрыболовство, ФГУП «Атомфлот»	Минприроды, Минсельхоз, Рослесхоз	Минприроды, Росреестр, Роскартография	Минэнерго, МЧС, Минрегионразвития, Счётная палата РФ, Росреестр, Роскартография





зайств и экологии;

задачи геологии и картографии;

информационное обеспечение производственной деятельности и предотвращения чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и антропогенного характера.

Опыт и данные, полученные при сборе, анализе и обобщении заявок на получение информации потребителей космической информации, позволили обосновать требования к характеристикам и режимам работы КС РЛН при обеспечении ими решения указанных групп задач [14–19]. При этом учитывались также значения характеристик существующих отечественных и зарубежных КС РЛН: «Кондор-Э» (Россия) [10], *Terra SAR-X – Tandem-X* (Германия) [9], *COSMO-SkyMed* (Италия) [11] и др.

Требования к основным характеристикам КС РЛН, необходимым для решения задач, приведены в табл. 1.

Комплексное использование бортового ресурса КС РЛН в интересах различных потребителей радиолокационной космической информации

Рассмотрение основных требований и режимов применения КС РЛН при информационном обеспечении решения целевых задач ДЗЗ (табл. 1) показывает возможности рационального расходования бортового ресурса КС и выполнения технологических процессов обработки информации.

Например, условия и особенности целевого применения КС при выполнении задач в интересах геологии и картографии и в интересах сельского, лесного, водного хозяйства и экологии практически не отличаются. Существует лишь одно важное отличие – в требованиях по периодичности наблюдения, поэтому затраты бортового ресурса КС РЛН при решении задач геологии и картографии будут на порядок ниже. Учитывая практически полное совпадение требований по другим характеристикам, легко сделать вывод, что значительную часть задач геологии и картографии можно решать на фоне радиолокационной съёмки в интересах задач других направлений при условии пространственного совпадения районов съёмки.

Одним из путей рационального использования ресурса КС РЛН и КС ДЗЗ в целом является комплексирование целевого применения орбитальной группировки [10, 20, 21]. Это достигается применением современных методов комплексного планирования целевого применения как всей группировки космических систем ДЗЗ, так и её составляющих компонентов, в т. ч. КС РЛН.

Для оптимизации плана съёмок изучаются потребности заинтересованных ведомств – путём экспертного опроса их квалифицированных специалистов собирается геопространственная информация субъективного характера, дальнейшая обработка которой ведётся с использованием аппарата геопространственного интеллекта и аппарата нечётких множеств [22].

В процессе комплексного планирования наиболее полно учитываются результаты космического наблюдения, исключаются случаи избыточных съёмок одних и тех же районов различными видами целевой аппаратуры, близкими по своим характеристикам, обеспечивается совместное наблюдение (при необходимости) различными видами аппаратуры, расширяется возможность манёвра режимами функционирования.

Совместная обработка и использование данных ДЗЗ, полученных различными типами аппаратуры наблюдения, функционирующей на базе различных физических принципов и в различных спектральных диапазонах, обеспечивает получение качественно новых высокоуровневых информационных продуктов [23].

Реализация направлений оптимизации использования бортового ресурса КС РЛН и решения других задач КС ДЗЗ

Выполнение отмеченных выше требований различных потребителей к получаемой информации ДЗЗ при условии оптимального (рационального) расходования бортового ресурса КС РЛН, а также других подсистем с учётом технических возможностей бортовых и наземных средств, характеристик баллистического построения ОГ и стоимостных показателей является очень сложной проблемой, включающей ряд оптимизационных многопараметрических задач, для согласованного ре-

шения которых требуется обобщенная модель КС ДЗЗ.

Общая математическая модель высокопериодической КС ДЗЗ [24], которая используется для определения тактико-технических, технико-экономических характеристик системы и их соответствия требуемым значениям, включает три основных блока:

1) модель орбитальной группировки КС ДЗЗ (КС РЛН), которая определяет оптимизированные параметры орбит спутников группировки и минимально необходимое количество спутников, позволяющие обеспечить заданные требования к периодичности повторных наблюдений заданных зон на Земле;

2) модель обнаружителя, то есть бортовой ЦА наблюдения, которая обеспечивает заданные вероятности обнаружения и распознавания типовых земных объектов наблюдения. Модель зависит от типа аппаратуры, спектральных параметров, углового пространственного разрешения и др. параметров, которые могут быть либо изначально заданными (при использовании готового прибора), либо определяться с использованием модели, если создается новая ЦА. Основными выходными параметрами модели, используемыми далее в модели группировки, являются ширина полосы обзора ЦА, в основном определяющая периодичность повторных наблюдений данным спутником, и максимально допустимая высота орбиты спутника, при которой обеспечивается вероятность обнаружения типового объекта на уровне не ниже заданного в ТЗ;

3) модель расчёта стоимости всего цикла создания, развёртывания в космосе и эксплуатации КС ДЗЗ. Входными данными для этой модели являются полученные в вышеуказанных моделях параметры – количество КА в орбитальной группировке, параметры орбиты (высота, наклонение), полоса обзора, пространственное разрешение и иные параметры ЦА, а также эмпирические данные о типовых стоимостях запуска наиболее приемлемыми средствами выведения, о стоимости работ по проектированию, производству и испытаниям КА ДЗЗ, разработке новой ЦА или изготовлению её серийных образцов, о стоимости работ в наземном сегменте по управлению КС ДЗЗ

(КС РЛН) по приёму и обработке информации наблюдения.

При решении оптимизационной задачи на основе выбранной модели необходимо выбрать критерии (показатели) оптимизации. В рассматриваемом случае при выборе подходов к распределению бортового ресурса КС РЛН наиболее понятным представляется использование трех показателей, оценивающих объём выходной информации [14]:

времени съёмки, с;

площади отснятых территорий, км²;

объёмов выходных радиолокационных изображений, Гбайт.

Особенностью современных КС РЛН, основой которых являются РСА, является то, что режимы детальной съёмки отличаются весьма высокими временными затратами на получение отдельных кадров и большими информационными объёмами при малых отснятых площадях, в то время как режимы площадной съёмки при малых относительных временных затратах характеризуются большими отснятыми площадями и небольшими информационными объёмами относительно затраченного времени.

Среди потребителей бортового ресурса КС РЛН есть как заинтересованные в проведении преимущественно площадной съёмки, так и заинтересованные в получении результатов детальной съёмки.

Если при распределении бортового ресурса КС РЛН в качестве показателя берётся объём полученных радиолокационных изображений (в Гбайт), то в ущербном положении оказываются потребители, заинтересованные в проведение детальной съёмки, доля ресурса которых будет быстро израсходована и подавляющее количество времени КС РЛН будет работать на проведение площадной съёмки, а если берётся размер отснятых площадей (в км²), то в ущербном положении оказываются потребители, ориентированные на проведение площадной съёмки, поскольку подавляющее количество времени КС РЛН будет работать на проведение детальной съёмки.

Компромиссным вариантом представляется подход к распределению ресурса КС РЛН в единицах времени работы на излучение





Таблица 2

Оценка производительности РСА одного КА РЛН (вариант)

Режимы съёмки	Разрешение, м	Размер кадра, км	Отснятая площадь на 1 витке, км ²	Количество включений	Объём радиоголограмм на 1 витке, Гбайт
Высокодетальный кадровый	0,5–1,0	10 × 10	5 000	50	100
Детальный кадровый	5–6	50 × 50	75 000	30	132
Маршрутный узкополосный	3–6	30	120 000	1	150
Маршрутный	50	130	520 000	1	150
Маршрутный широкополосный	200	600	2 400 000	1	150
Маршрутный сверхширокополосный	500	750	3 000 000	1	150

РСА. В качестве примера приведены результаты работы РСА за 600 с (табл. 2).

Заключение

Рассмотрение основных требований и режимов целевого применения КС РЛН применительно к группам решаемых задач показало наличие возможностей по рациональному расходованию бортового ресурса КС РЛН и оптимизации выполнения технологических процессов обработки информации, которые являются частью общей проблемы оптимизации создания и целевого применения всей орбитальной группировки ДЗЗ.

Для разрабатываемых и внедряемых в последние годы многопозиционных РСА (выше упоминался действующий вариант двухпозиционной системы *TerraSAR-X – Tandem-X*) условия выбора критериев рационального распределения её ресурса должны быть скорректированы с учётом баллистического построения ОГ, количества КА в группировке, результирующей зоны обзора, режима функционирования и других характеристик.

Список литературы

1. Басистов В. А., Гуреев Э. Д., Лобанов Б. С., Прилуцкий А. А., Фатеев В. Ф. Развитие радиоэлектроники как предопределение перехода к сетевой инфраструктуре распределенных информационно-управляющих систем на основе конвергенции технологий координатно-

временного обеспечения, мониторинга, передачи и обработки данных // Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. № 5. Т. 17. С. 44–51.

2. Государственная программа Российской Федерации «Космическая деятельность России на 2013–2020 годы» // www.federalspace.ru: ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО. URL: http://www.federalspace.ru/media/files/docs/2014/gp_kdr_2013_2020_13.05.2014.doc (дата обращения 10.03.2015).

3. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). // www.federalspace.ru: ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО. URL: <http://www.federalspace.ru/356/> (дата обращения 10.03.2015).

4. Райкунов Г. Г., Любченко Ф. Н., Карелин А. В. Стратегия развития космического сегмента системы дистанционного зондирования Земли в России до 2030 года // Космонавтика и ракетостроение. 2012. № 3. С. 5–20.

5. Минаков Е. П., Чичкова Е. Ф., Федоров С. А. Система специального мониторинга чрезвычайных ситуаций на базе малых космических аппаратов // Успехи современной радиоэлектроники. 2010. № 3. С. 53–55.

6. Чересов Ю. И. Перспективы применения авиационных и космических многопозиционных РЛС для проведения мониторинга поверхности Земли // Научные чтения, посвященные творческому наследию Н. Е. Жуковского: сб.

докл. М.: ВВИА, 1997. С. 9.

7. Кондратенков Г. С., Фролов А. Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. М.: Радиотехника, 2005. 368 с.

8. Горячкин О. В. Пути развития радиолокационных систем дистанционного зондирования Земли // Вестник Самарского гос. аэрокосм. унив. 2010. № 2. С. 92–104.

9. Умрихин Ю. Д., Чебаненко В. М., Чересов Ю. И. К вопросу построения многопозиционных РЛС землеобзора с синтезированием апертуры космического базирования // Тр. Института системного анализа РАН. 2010. Т. 53(3), вып. 14-А. С. 11–21.

10. Верба В. С., Неронский Л. Б., Осипов И. Г., Турук В. Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. М.: Радиотехника, 2010. 676 с.

11. Кучейко А. А. Система радарной разведки Италии в полном составе // Новости космонавтики. 2011. № 1. С. 24–25.

12. Верба В. С., Неронский Л. Б., Поливанов С. С. Тенденции развития систем радиолокационного наблюдения космического базирования // Радиотехника. 2014. № 5. С. 45–50.

13. Урличич Ю., Семин В., Емельянов К. О приоритетах практической реализации развития космической системы дистанционного зондирования Земли // Аэрокосмический курьер. 2011. № 6. С. 15–21.

14. Костюк Е. А., Макаров Ю. Н., Чересов Ю. И. Использование информации, получаемой с помощью космических радиолокационных систем дистанционного зондирования Земли, для решения социально-экономических задач. М.: ГБОУ «МАРТИТ», 2014. 40 с.

15. Севастьянов Н. Н., Бранец В. Н., Панченко В. А., Казинский Н. В., Кондранин Т. В., Негодяев С. С. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли // Тр. МФТИ. 2009. Т. 1, № 3. С. 14–22.

16. Переслегин С. В., Халиков З. А. Космический двухпозиционный РСА для оперативного мониторинга океанских явлений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 2. С. 275–291.

17. Коровин Г. Л., Котельников Р. В., Лупян Е. А., Щетинский В. Е. Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7, № 2. С. 97–105.

18. Брюханова В. И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве. Омск: ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П. А. Столыпина, 2012. 100 с.

19. Барталев С. А., Лупян Е. А., Нейштадт И. А., Савин И. Ю. Классификация некоторых типов сельскохозяйственных посевов в южных районах России по спутниковым данным MODIS // Исследования Земли из космоса. 2006. № 3. С. 68–75.

20. Захаров А. И., Яковлев О. И., Смирнов В. М. Спутниковый мониторинг Земли. Радиолокационное зондирование поверхности. М.: КРАСАНД, 2012. 248 с.

21. Феоктистов А., Захаров А., Костюк Е., Гусев М., Денисов П. Перспективные технологии обработки космической радиолокационной информации // Аэрокосмический курьер. 2011. № 6. С. 31–32.

22. Куссуль Н. Н., Янчевский С. Л., Кравченко А. Н. Оптимизация процессов принятия решений в экспертных системах планирования работы целевой аппаратуры космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 3. С. 64–75.

23. Захарова Л. Н., Захаров А. И., Сорочинский М. В., Рябоконь Г. П., Леонов В. М. Совместный анализ данных оптических и радиолокационных сенсоров: возможности, ограничения и перспективы // Радиотехника и электроника. 2011. Т. 56, № 1. С. 5–19.

24. Вишняков В. М. Оптимизация параметров орбитальной группировки космической системы мониторинга чрезвычайных ситуаций // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Т. 1, вып. 2. С. 222–237.

Поступила 23.04.15





Дудников Сергей Валентинович – доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, ректор, заведующий кафедрой «Инновационное образование» ГБОУ «МАРТИТ», г. Москва.

Область научных интересов: управление инновациями в промышленности и образовании.

Костюк Евгений Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НЦ ОМЗ ОАО «РКС», г. Москва.

Область научных интересов: целевое применение космических систем радиолокационного наблюдения.

Чересов Юрий Иванович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиосистемотехника» ГБОУ «МАРТИТ», г. Москва.

Область научных интересов: авиационные и космические радиолокационные системы, статистические методы обработки радиолокационной информации.