

**АВИАЦИОННЫЕ МОБИЛЬНЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ
РАДИОЛОКАТОРЫ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ
СЕМЕЙСТВА «КОМПАКТ»
(ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ)**

**С. Л. Внотченко, М. Ю. Достовалов, А. В. Дьяков, И. В. Дьяков, Р. В. Ермаков,
Е. П. Жаровская, А. И. Коваленко, Т. Г. Мусинянц, Л. С. Нейман,
В. В. Римап, В. Е. Суслон**

ФГУП "Научно-исследовательский институт точных приборов" (г. Москва)

Получена 18 августа 2009 г.

Описаны основные функциональные и конструктивные особенности аппаратуры малогабаритных мобильных радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) авиационного базирования семейства "Компакт". Представлены основные характеристики РСА Х-, L-, Р- и VHF-диапазонов, рассмотрены особенности их применения на летательных аппаратах различных типов. Приведены примеры обработки и тематического дешифрирования радиолокационных данных, полученных в ходе проведения съёмки в интересах различных заказывающих организаций.

Ключевые слова: малогабаритные мобильные радиолокаторы, радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), дешифрование радиолокационных данных.

Введение

Широкополосные когерентные импульсные радиолокаторы бокового обзора – радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), размещаемые на аэрокосмических носителях, позволяют получать радиолокационные изображения (РЛИ) земной поверхности с высокой разрешающей способностью и являются ключевым элементом современных и перспективных информационных технологий радиолокационного дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (РСА-технологий) [1]. РСА авиационного базирования широко применяются в военном деле (в качестве эффективного разведывательного средства), а также для получения информации ДЗЗ, используемой для решения экономических, хозяйственных и научно-прикладных задач. Данное обстоятельство обусловило большую активность развитых стран мира (США, страны ЕС и др.) в создании, применении и распространении РСА авиационного базирования. В научной литературе достаточно подробно представлены сведения о характеристиках и принципах реализации авиационных РСА "ИМАРК" (Россия) [2], RAMSES [3], SARABAS-II (Швеция) [4] и др. Общей характерной особенностью бортовой радиолокационной аппаратуры перечисленных РСА является достаточно высокая степень её интеграции с конструкцией и бортовыми системами конкретного самолёта (вертолёта). Это свойство естественным образом налагает на данные системы определённые функциональные и эксплуатационные ограничения (в том числе, экономического

характера) при практическом выполнении радиолокационных съёмок в районах, существенно удалённых от места основного базирования летательного аппарата (ЛА) – носителя РСА. Снятие ограничений подобного рода может быть достигнуто путём реализации аппаратуры РСА в малогабаритном исполнении при одновременном обеспечении её максимальной конструктивной и информационной автономности от ЛА. Именно эти принципы, начиная с 1997 года, были положены в основу при реализации РСА семейства "Компакт", созданных в ФГУП "Научно-исследовательский институт точных приборов" (ФГУП НИИТП, г. Москва), что в значительной степени, определило технический облик радиолокационной аппаратуры.

Цель работы – систематизация сведений о принципах реализации и опыте применения авиационных мобильных малогабаритных РСА на примере РСА семейства "Компакт".

1. История создания

ФГУП НИИТП занимается созданием радиотехнических информационных систем для ракетно-космической отрасли России. Для экспериментальной отработки создаваемых бортовых радиолокационных систем в конце 70-х годов XX века в институте были созданы летающие лаборатории на базе самолётов Ту-104, Ту-134, а в 1988 года – на базе самолёта Ил-76 МД. В те же годы были получены первые радиолокационные изображения земной поверхности, отличавшиеся весьма умеренными значениями пространственного разрешения (порядка 100 м).

РЛИ высокого пространственного разрешения (~3-5 м) впервые в России были сформированы в апреле 1995 г. по данным съёмок, проведённых с помощью радиолокационного комплекса ИК-ВР с борта самолета Ил-76МД; в то время это представляло собой весомое научно-техническое достижение.

Идея мобильности возникла при определении путей дальнейшего развития авиационных РСА в ФГУП НИИТП в 1996-97 гг., в первую очередь, как антитеза чрезмерной привязанности радиолокатора к специализированному авиационному носителю.

Для практической реализации мобильности, в первую очередь, необходимо было обеспечить:

- относительную малогабаритность аппаратуры РСА;
- конструктивную автономность антенного устройства РСА от авиационного носителя.

Кроме того, выполнение замкнутого технологического цикла автоматизированного планирования радиолокационных съёмок, управлением бортовой аппаратурой в ходе съёмки, регистрация и обработка полученных радиолокационных данных (радиоголограммы), потребовало разработки весьма развитого программно-математического обеспечения.

Именно, с учётом этих положений, с 1997 г. в ФГУП НИИТП целенаправленно ведётся последовательная систематическая деятельность по созданию ряда мобильных авиационных РСА серии (семейства) "Компакт", функционирующих в различных

частотных диапазонах. Ключевым моментом в реализуемости идеи мобильных РСА явилось экспериментальное подтверждение возможности работы антенны РСА через штатный иллюминатор воздушного судна. Данное техническое решение впервые в мире было практически воплощено в РСА "Компакт-1" в 1997 г. и защищено патентом [5].

Изложенный подход к реализации авиационных РСА оказался весьма плодотворным.

Малогобаритность, стандартизованные конструктивные размеры и унифицированное программное обеспечение позволяют в достаточно короткие сроки создавать бортовые радиолокационные системы, реализующие различные конфигурации и схемы радиолокационного наблюдения, в том числе, такие как:

- многодиапазонные РСА, обеспечивающие одновременное радиолокационное наблюдение земной поверхности в нескольких частотных диапазонах;
- поляриметрические РСА, обеспечивающие проведение съемки с регистрацией радиолокационного сигнала всех компонент поляризационной матрицы рассеяния;
- двухканальные РСА, реализующие интерферометрические режимы различного типа - для определения рельефа местности (при вертикальном разnose антенн каналов) или измерения параметров движения наземных объектов (при разnose антенн вдоль траектории полёта ЛА).

Созданный в рамках разработки РСА семейства "Компакт" программный комплекс планирования съемки позволяет производить разработку полетного задания на съемку, а также обеспечивает поддержку обучения и тренировки оператора в режиме имитации полета.

К настоящему времени получен положительный опыт эксплуатации РСА семейства "Компакт" на 8 типах самолетов и 4 типах вертолетов.

Результаты экспериментальных исследований, проведённых с помощью РСА "Компакт" неоднократно докладывались на различных отечественных и зарубежных научно-технических конференциях, и освещались в научной литературе [6-19].

2. Основные характеристики, принципы построения и реализации

Основные тактико-технические характеристики РСА семейства "Компакт" представлены в табл. 1.

Табл. 1 Основные характеристики РСА семейства "Компакт"

Параметр	X-диапазон	L-диапазон	P-диапазон	VHF-диапазон
Центральная несущая частота	8600 МГц	1310 МГц	430 МГц	140 МГц
Ширина спектра сигнала	300 МГц	100 МГц	60 МГц	40 МГц
Пространственное разрешение	0,5 × 0,5 м	1,5 × 1,5 м	2,5 м	3,5 × 3,5 м
Полоса захвата	3 км	15 км	5 км	3 км
Рабочая дальность	10...15 км	15...25 км	15 км	5 км
Размеры антенны	0,25 × 0,25 м	∅ 0,35 м	∅ 0,5 м	1,3 × 0,65 м
Импульсная	60 Вт	250 Вт	200 Вт	150 Вт

мощность передатчика				
Энергопотребление по сети = 27 В	не более 150 Вт	не более 60 Вт	не более 60 Вт	не более 60 Вт

Бортовая аппаратура всех РСА построена по единой структуре, представленной на рис. 1 в обобщённом виде.

Ключевой особенностью технического облика бортовой аппаратуры РСА "Компакт" является реализация концепции когерентного цифрового "ядра" радиолокационной системы, осуществляющего функции цифрового формирования широкополосного сигнала, аналого-цифрового преобразования принятого сигнала, а также формирование когерентных последовательностей управляющих стробов. Цифровое "ядро" построено на базе центрального компьютера, сопряжённого со специализированными цифровыми модулями и обеспечивает когерентность всего радиолокационного тракта. Кроме того, "ядро" используется в процессе создания РСА для отработки программного обеспечения и измерения характеристик сигналов (с помощью базового программного комплекса АНАЛИЗ (ANALYZ)), а также для управления аппаратурой в процессе подготовки и проведения радиолокационной съёмки с помощью базового программного комплекса УПРАВЛЕНИЕ (CONTROL).

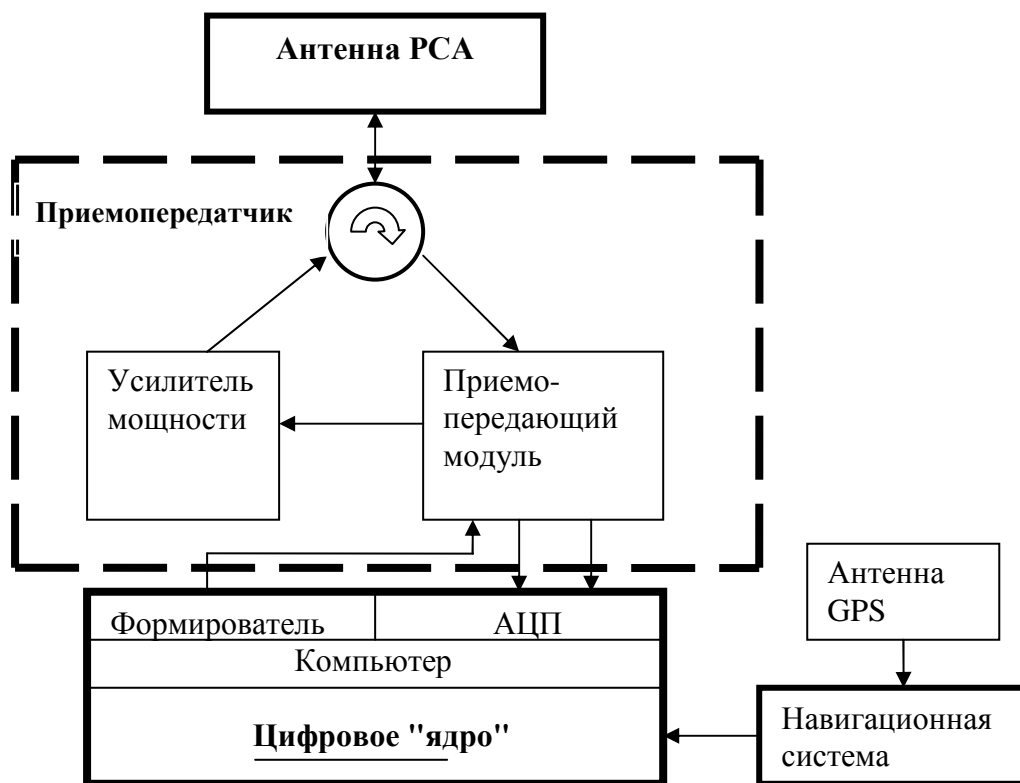


Рис. 1. Структурная схема РСА с цифровым ядром и навигационной системой

Схемотехническая реализация и базовое программное обеспечение "ядра" позволяют применять его с минимальными доработками в различных радиолокаторах.

Использование устройств управления режимами РСА (переключателями) и уровнем усиления, управляемых сигналами TTL уровня, позволило отказаться от применения специальных дополнительных контроллеров. Формирование направленного зондирующего излучения и приём отражённого сигнала производятся с помощью приёмопередатчика и антенны. В состав бортового комплекса аппаратуры включено навигационное оборудование.

Принятая архитектура построения аппаратуры обусловила и соответствующие организационно-технические особенности проведения разработки. В отличие от предшествующих радиолокационных систем, РСА семейства "Компакт" создавались с максимальной степенью привлечения специализированных сторонних организаций, на которые возлагались функции разработки и поставки отдельных аналоговых и цифровых устройств высокой степени интеграции. Это позволило обеспечить выполнение большого объёма работ в приемлемые сроки при задействовании сравнительно небольшого коллектива квалифицированных специалистов ФГУП НИИТП.

Созданная кооперация обеспечивает разработку и поставку следующих устройств и узлов:

- усилители мощности (УМ);
- приемопередающие модули (ППМ);
- компьютер;
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- цифровой формирователь ЛЧМ сигнала и стробов и несущая плата ADP со специальным программным обеспечением (прошивками ПЛИС);
- крейт цифрового "ядра" в формате Compact PCI;
- крейт приемопередатчика (применяется с мелкими доработками лицевой панели и дополнительными элементами крепления).

К работам, непосредственно выполняемым специалистами ФГУП НИИТП, относятся:

- разработка сквозного когерентного приёмо-передающего тракта РСА;
- разработка технических требований к отдельным устройствам РСА;
- разработка и изготовление антенн;
- разработка и выпуск конструкторской документации на РСА;
- входной контроль покупных устройств и сборка РСА;
- разработка программного обеспечения управления РСА;
- разработка программного обеспечения анализа радиоголограммы;
- разработка программного обеспечения синтеза и тематической обработки радиолокационных изображений;
- стендовые испытания приемопередатчика и РСА в целом;
- разработка программ и методик натурных испытаний;
- натурные испытания и эксплуатация РСА на авиационных носителях Заказчика;
- обработка материалов натурных испытаний и съёмочных полётов в интересах Заказчика.

При минимальных габаритно-массовых характеристиках цифрового ядра контейнер РСА имеет массу ~10 кг.

При варианте цифрового ядра в виде отдельного контейнера в формате Compact PCI общая масса РСА составляет ~13 кг.

Вариант миниатюрного РСА с дальностью действия не более 1 км имеет массу около 5 кг.

Антенны РСА выполняются в различных вариантах:

- волноводно-щелевые решётки (ВЩР) и активные фазированные антенные решётки (АФАР) для X диапазона;
- полосковые двухполяризационные антенны - для L- и P- диапазонов;
- антенны логопериодического типа - для VHF-диапазона.

Заметим, что применение АФАР в РСА "Компакт" обеспечивает:

- широкие возможности электронного управления диаграммой направленности антенны;
- возможность экспериментальной отработки режимов функционирования и ключевых схемотехнических решений, присущих РСА *космического* базирования.

В последнем случае РСА "Компакт" позволяет осуществить масштабное физическое моделирование технологии радиолокационного зондирования Земли из космоса, так как является, по существу, авиационным прототипом широкополосного РСА космического базирования.

Малогабаритность радиолокационной аппаратуры обеспечивается за счет применения транзисторных усилителей мощности, низковольтных источников питания, электронных устройств высокой степени интеграции, использования стандартных типоразмеров блоков Industrial Standard 19". Масса каждого из конструктивно обособленных блоков не превышает 10 кг. Общая масса электронных блоков одного радиолокатора не превышает 10÷13 кг. Масса антенн составляет от 1 до 3,5 кг.

Антенны устанавливаются жестко, за исключением относительно узконаправленных антенн X-диапазона, которые монтируются на приспособление с ручным приводом. Установка требуемого рабочего положения антенны в угломестной плоскости осуществляется оператором перед началом работы или в процессе съемки (рис. 2).



Рис.2. Антенна X диапазона в салоне самолета Ан-30.

В качестве навигационной системы может использоваться спутниковая система типа GPS, ГЛОНАСС, комбинированная система GPS + ГЛОНАСС или малогабаритная интегрированная навигационная система (МИНС) типа "Компанав", обеспечивающая измерения не только координат и скоростей носителя, но и углов крена и тангажа, угловых скоростей и линейных ускорений.

При монтаже РСА на новом типе носителя основное время тратится на монтаж антенны напротив иллюминатора и подключение аппаратуры к борт-сети ЛА. Общее время установки не превышает 1÷2 часа. На отработанный тип носителя, например, на самолеты типа Ан-30, CN 235 или на вертолет типа Ми-8, монтаж производится не более, чем за 30 минут.

Возможность проведения съемок с борта динамичных авиационных носителей, включая вертолеты, реализована за счет применения специального программного обеспечения синтеза радиолокационных изображений, использующего, в том числе, адаптивные алгоритмы *автофокусировки РЛИ*.

Система обработки радиолокационных данных является одной из наиболее сложных компонент РСА «Компакт». Задачей системы обработки является формирование радиолокационных изображений и последующая тематическая обработка информации полученной, как в разных частотных диапазонах, так и в существенно меняющихся условиях съемки – различные носители, углы визирования, динамические искажения и т.д.

Наличие мощной системы обработки позволяет существенно «облегчить» требования к аппаратной части радиолокатора и обеспечить эффективность его применения в широком диапазоне условий, включая использование на легких динамичных носителях.

Система формирования РЛ изображений радиолокаторов «Компакт» использует значительную часть современного мирового опыта обработки данных РСА (двумерные

алгоритмы синтеза, системы совместной обработки навигационной информации и автофокусировки), представленного в литературе [9-11] и трудах специализированных конференций EUSAR, RADAR и др. Некоторые характерные особенности системы формирования РЛ изображений были представлены в [12].

С использованием системы тематической (вторичной) обработки были проведены научные исследования по ряду направлений, включая:

- Анализ характеристик отражения, включая измерения ЭПР и УЭПР ряда искусственных объектов и фоновых поверхностей [13, 14].
- Автоматизированное обнаружение и распознавание объектов, включая результаты реальных поисковых работ [15-17]
- Отработка технологии CHANGE DETECTION [18].
- Комплексование радиолокационной информации, анализ свойств объектов в разных частотных диапазонах [19].

Результаты проведенных исследований позволяют в настоящее время эффективно вести разработку высокоинформативных радиолокационных систем мониторинга, направленных на практическое решение тематических задач в различных областях.

Рабочие конфигурации РСА семейства "Компакт" допускают исполнение как в виде однодиапазонных (одноканального или двухканального) радиолокаторов, так и в виде многодиапазонных РСА.

Одноканальные РСА применяются в случае, когда полученные радиолокационные изображения могут использоваться без дополнительной видовой информации. Примеры работы подобных систем могут быть проиллюстрированы радиолокационными изображениями, полученными в X-диапазоне с борта вертолета Bell 214 и в L-диапазоне с борта самолета Y7 (рис. 3 и 4, соответственно).



Рис.3. РЛИ города и гавани в X диапазоне с борта вертолета Bell-214
Двухканальные однодиапазонные РСА применяются с целью обеспечения следующих режимов работы комплекса:

- получение РЛИ для всех компонент поляризационной матрицы рассеяния (ВВ, ВГ, ГВ, ГГ) (в настоящее время готовится к натурным испытаниям такой радиолокатор L-диапазона);
- измерение параметров движения наземных объектов (режим СДЦ);
- измерение параметров рельефа местности (режим интерферометрии).

Базовой для всех трех режимов является схема с двумя приемопередатчиками и двумя цифровыми ядрами. Режимы применения отличаются относительным размещением антенн и вариантами программ управления формированием серии зондирующих импульсов.

В режиме съёмки полной поляризационной матрицы осуществляется череспериодное излучение сигналов в разных поляризациях при одновременном приеме отраженных сигналов в обеих поляризациях (в согласованной и в кросс-поляризации).

В режимах СДЦ и интерферометрии излучение осуществляется одним каналом передатчика с одновременным приемом отраженных сигналов в согласованной поляризации. Отличиями в режимах СДЦ и интерферометрии в основном является пространственное размещение антенн.

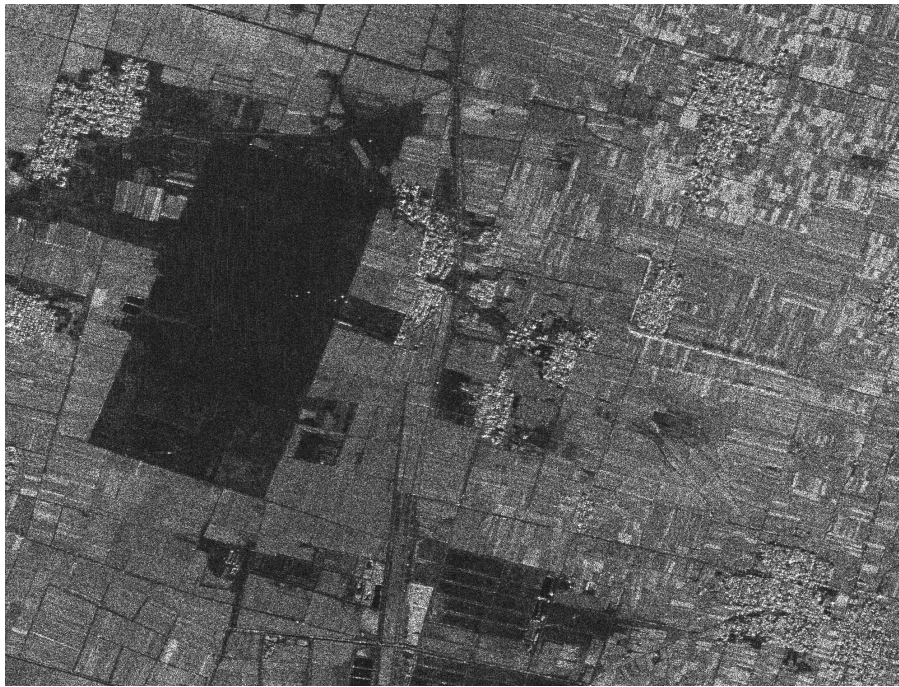


Рис. 4. РЛИ сельхозугодий в L диапазоне с борта самолета Y7 (КНР)

На фото (рис. 5) представлен внешний вид приемопередатчика двухканального РСА L-диапазона.

Двухдиапазонные РСА позволяют использовать дополнительные информационные и функциональные возможности, возникающие при совместной обработке радиолокационной информации различных диапазонов. Примеры двухдиапазонных РЛИ представлены на рис. 6 (X- и L-диапазоны) и на рис. 7 (VHF- и L-диапазоны).



Рис.5. Фото двухканального приемопередатчика L-диапазона

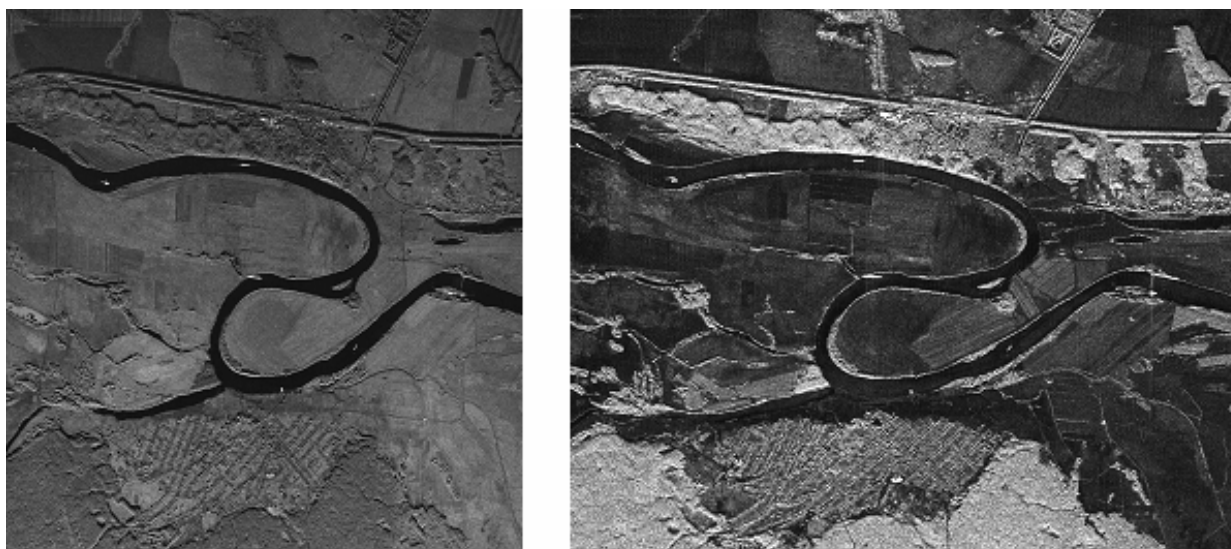


Рис. 6. РЛИ ландшафта в районе г. Белоозера (Рязанская обл.), полученное с борта самолёта Ан-24 (слева – X-диапазон, справа – L-диапазон)

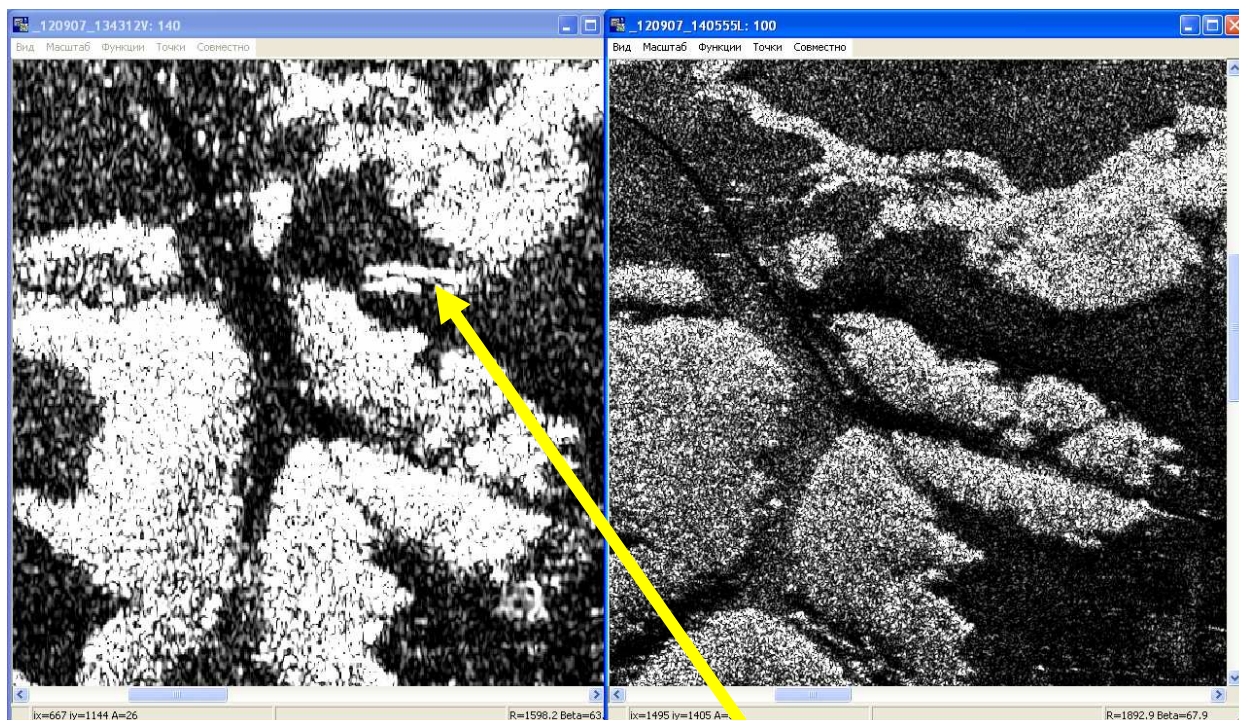


Рис.7. РЛИ ландшафта в VHF-диапазоне (слева) с подповерхностным объектом и в L-диапазоне (справа) – объект не наблюдается. РЛИ получены с борта вертолета Ми-8

Многодиапазонные РСА, применяются в исследовательских целях и при высокоинформативной комплексной съемке, например, в интересах геологоразведки. Примером подобной системы может служить созданный в НИИТП многодиапазонный комплекс из РСА X-, L-, P- и VHF-диапазонов.

3. Особенности применения РСА "Компакт"

Области применения РСА семейства "Компакт" являются традиционными для аэрокосмических средств радиолокационного наблюдения Земли двойного назначения; в первую очередь, к ним относятся:

- Оперативная съемка в интересах различных Заказчиков.
- Экологический мониторинг.
- Сопровождение эксплуатации трубопроводов.
- Кадастровые съемки в интересах местной администрации.
- Периодическая и экстренная съемка в интересах МЧС:
 - мониторинг объектов повышенной опасности,
 - оперативная съемка при наводнениях,
 - ледовая разведка в интересах проводки судов и при паводках,
 - поисково-спасательные операции.

Свойство мобильности РСА "Компакт" приводит к частой смене не только носителя, но и летного экипажа, что весьма существенно с точки зрения слетанности летного и научного экипажей. К особенностям самолетовождения при проведении съемки местности с помощью РСА относится необходимость поддерживать в процессе съемочного галса постоянную путевую скорость, в первую очередь, по направлению. Это особенно актуально при съемках относительно длинноволновыми радиолокаторами, например, в VHF-диапазоне, с пространственным разрешением 3 м, когда, даже на малых дальностях порядка 3 км, длина синтезированной апертуры составляет около 1000 м (для вертолета это ориентировочно соответствует 20 секундам полета).

Выдерживание заданной траектории и путевого угла существенно упрощается, если штурман имеет наглядную информацию, отображающую положение носителя на фоне карты с нанесенной на ней заданной линии пути. В процессе реальных съемок с РСА семейства «Компакт» использовался ноутбук, подключенный к GPS приемнику (рис. 8).

Особенности применения РСА "Компакт" на стандартных самолетных носителях без их доработки заключаются в следующем:

- использование малогабаритных («иллюминаторных») антенн в X и L диапазонах. В случае необходимости обеспечивается согласование антенны со штатным иллюминатором за счет применения дополнительного устройства согласования («просветления»). Реализация идеи возможности функционирования антенны РСА сквозь штатный иллюминатор авиационного носителя позволила обеспечить беспрецедентную мобильность радиолокаторов типа Компакт. Практическое применение осуществлено на самолетах Ил-76, Ту-154, Ил-20, Ан-26, Ан-30, Ил-103, CN235, Y7 и вертолетах Ми-8, Ми-2, Ка-32, Bell-214;

- размещение антенны GPS приемника, входящего в состав системы РСА производится под остеклением кабины экипажа;

- подключение к борт-сети =27В.



Рис. 8. Штурман вертолета Ми-8 использует информацию GPS в процессе съемочного полета

На стандартных вертолетных носителях возможно размещение антенных систем (в том числе, габаритных логопериодических антенн VHF диапазона), а также электронных блоков РСА на внешней подвеске (ферме вооружения) с использованием дополнительных переходных крепежных деталей. Подобная схема реализована на вертолете типа Ми-8МТ.

Размещение GPS приемника и инерциального блока инерциально-спутниковой навигационной системы также возможно на внешней подвеске рядом с антенными системами РСА.

Управление комплексом при наличии оператора осуществляется в режиме удаленного доступа от компьютера управления, размещаемого в салоне вертолета.

При отсутствии оператора (на беспилотных носителях) управление комплексом осуществляется в автоматическом режиме в соответствии с программой и полетным заданием с использованием навигационной информации.

РСА "Компакт" допускают размещение и на специализированных носителях, к которым относятся:

- самолеты и вертолеты, имеющие специальный радиопрозрачный обтекатель, возможно с приводом в угломестной плоскости (подобная схема реализована на самолетах Ан-24 и У7);

- «подвески» для самолетных носителей и малогабаритные беспилотные носители, требующие специальных компоновочных решений для электронной аппаратуры.

Уникальные свойства мобильности были неоднократно продемонстрированы при выполнении радиолокационных съемок в интересах различных Заказчиков, представлявших «свои» носители:

- По заказу МО в рамках договора «Открытое небо» на самолете Ту-154 (2000 г.).

- По заказу МО в интересах решения задачи определения наблюдаемости объектов МО в радиолокационном диапазоне на самолете Ан-30 (1999÷2008 г.) и, впервые в России, на вертолете Ми-8 (2000 г.).
- По заказу МЧС - операция по поиску места катастрофы вертолета Ми-6 на п-ове Таймыр на самолете Ан-26 (2002 г.).
- По заказу МО в южном округе на самолетах Ан-26 и Ил-20 (2001, 2004 гг.).
- По заказу ПИНРО в зоне рыболовства на Белом море на самолете Ан-26 (1998 г.).
- По заказу организации Экология России на самолете Ил-103 (2001 г.).
- По заказу МО Арабских Эмиратов на самолете CN235 (1998 и 2000 гг.).
- По заказу Корейского института науки и технологий КИСТ (Республика Корея) на самолете CN235(2003 г.).
- По заказу ОАО "Газпром" в районе добычи и транспортировки газа на п-ове Ямал на вертолете Ми-8 (2001 г.).
- По заказу фирмы КАМОВ на вертолете Ка-32(2001 г.).
- По заказу Корейского политехнического университета (Республика Корея) на вертолете Bell 214 (2008 г.).
- По заказу НПО им. Лавочкина на вертолете Ми-2 (2009 г.).

Выводы

1. В ФГУП НИИТП создано семейство малогабаритных мобильных радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) авиационного базирования X-, L-, P- и VHF–диапазонов, отличающихся максимальной степенью автономности аппаратуры РСА от конструкции и систем летательного аппарата.
2. Отработана технология проектирования и производства радиолокаторов с использованием базового цифрового "ядра" комплекса и с привлечением широкой кооперации. Принятая архитектура построения РСА обеспечивает возможность создания РСА в различных конфигурациях (многодиапазонные, многоканальные и др.).
3. Разработаны и апробированы методики проведения съемок на различных носителях в интересах различных Заказчиков.
4. Разработано и апробировано базовое программное обеспечение:
 - анализа качества радиолокационного сигнала (с учётом влияния приемного тракта),
 - планирования процесса съемки и управления аппаратурой в процессе съемки,
 - первичной и вторичной (тематической) обработки полученных радиолокационных данных.

Литература

1. Кондратенков Г. С., Фролов А. Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы зондирования Земли. М., "Радиотехника, 2005
2. Плющев В.А. Результаты разработки и направления развития многочастотных авиационных комплексов РСА. Научноёмкие технологии, 2004, № 8-9, стр. 88-100
3. Dreuillet Ph., Cantalloube H., Colin E., Dubois-Fernandez P., Dupuis X., Fromage P., Garestier F., Heuzé D., Oriot H., Peron J.L., Peyret J., Bonin G., Ruault du Plessis O., Nouvel J.F., Vaizan B. The ONERA RAMSES SAR: latest significant results and future developments, IGARSS 2006
4. Ulander L. M. H., Frörlind P.-O., Gustavsson A., Hellsten H., Jonsson T., Larsson B., Stenström G., Performance of the CARABAS-II VHF-band synthetic aperture radar. Proc. IGARSS, vol. 1, Sydney, Australia, Jul. 9–13, 2001, pp. 129–131
5. Патент РФ № 2168186 от 27.05.2001. Авторы: Мусинянц Т.Г. и др. Авиационная радиолокационная система обзора Земли. (Приоритет от 01.03.2000 г.)
6. Moussiniants T. Multipurpose Flying Laboratory Based on IL76MD Aircraft. Proc. International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, San Francisco, California, USA, 1996. Volume II pp 46-53
7. Moussiniants T.G., Neiman I.S. Small-Size Synthetic Aperture Radar "Compact". Proc. Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark, 1997, Volume II, pp. 158-164
8. Dostovalov M., Lifanov A., Moussiniants T. Comparative Analysis of Images Obtained by Two-frequency (X, L band) Airborne SAR. EUSAR, Dresden, 2006 Proc EUSAR-2006, Volume3, pp. 372-375
9. Carrara W.G., Goodman R. S., Majewski R.M. Spotlight Synthetic Aperture Radar. Artech House, Boston 1995
10. Soumekh M. Synthetic Aperture Radar Signal Processing with MATLAB Algorithms. John Wiley & Sons. Inc. New York, 1999
11. Cumming I., Wong F. Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data. Artech House, Boston, 2005
12. Достовалов М.Ю., Лифанов А.С., Мусинянц Т.Г. Система автофокусировки радиолокационных изображений для авиационного РСА с жестко закрепленной антенной. Труды XXV Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред». г. Санкт-Петербург, 2007г., вып. 7, стр. 54-68
13. Внотченко С.Л., Достовалов М.Ю., Зайцев А.Б., Мусинянц Т.Г. Результаты измерений ЭПР искусственных и естественных объектов по радиолокационным изображениям РСА КОМПАКТ-100. Исследование Земли из космоса, 2003, № 6, стр. 48-57
14. Достовалов М.Ю., Лифанов А.С., Мусинянц Т.Г. Сравнительный анализ изображений, полученных двухчастотным (X, L диапазоны) авиационным РЛ комплексом. Труды XXIV Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред». НИЦ (С.-Петербург) 4 ЦНИИ МО РФ, 2006 г., Вып. 6, стр. 86-92
15. Достовалов М.Ю., Лифанов А.С., Мусинянц Т.Г. Исследование методов автоматического обнаружения объектов на РЛ изображениях. Исследования Земли из космоса, 2005, № 6, стр. 14-27
16. Dostovalov M., Lifanov A., Moussiniants T. Airborne SAR COMPACT. Using in Practical Rescue Works. EUSAR-2004 Proceedings., Vol. 2, pp. 1025-1030
17. Достовалов М.Ю., Внотченко С.Л., Лифанов А.С., Мусинянц Т.Г. Система автоматизированного распознавания объектов на основе исследования

- радиолокационных портретов по радиолокационным изображениям РСА КОМПАКТ-100. Исследование Земли из космоса, 2005, № 1, стр. 51-65
18. Достовалов М.Ю., Лифанов А.С., Мусинянц Т.Г. Обнаружение объектов по изменениям на радиолокационных изображениях РСА. Исследования Земли из космоса, 2007, № 4, стр. 15-26
 19. Внотченко С.Л., Достовалов М.Ю., Ермаков Р.В., Жаровская Е.П., Мусинянц Т.Г. Сравнительный анализ характеристик отражения объектов и фоновых поверхностей по РЛ изображениям высокого разрешения в метровом, дециметровом и сантиметровом диапазонах. Исследование Земли из космоса, 2009, № 3, стр. 16-26