1. **Исследование существующих космических комплексов радиолокационного наблюдения**

Космическими средствами радиолокационного землеобзора, которые в наибольшей степени определяют современный мировой уровень развития этой перспективной, широко распространенной и эффективно используемой технологии, представляются:

- космическая система радиолокационного наблюдения TerraSAR‑X/TanDem‑X (Германия);

- космическая система радиолокационного наблюдения двойного назначения Cosmo-Sky Med (Италия);

- космический комплекс радиолокационного наблюдения двойного назначения Radarsat-2 (Канада);

- космический комплекс глобального радиолокационного мониторинга окружающей среды Sentinel-1A (ЕКА);

- перспективный космический комплекс радиолокационного зондирования Земли в L-диапазоне ALOS-2 (Япония);

- космическая система высокоинформативной радиолокационной съемки земной поверхности двойного назначения JIAN BTNG-7 (Китай);

- международная космическая станция глобального радиолокационного мониторинга осадков (Япония, США и др.);

- маломассогабаритный космический разведывательный радиолокационный комплекс Ofeg-10 (Израиль).

- космический аппарат радиолокационного наблюдения в Р диапазоне зондирующего излучения Biomass (EKA).

* 1. **Космическая система радиолокационного наблюдения   
     TerraSar/TanDEM-X**

Германская компания Astrium GmbH Earth Observation and Science –германское отделение европейского концерна EADS вместе с институтом микроволн и РЛС национального космического агентства Германии DLR и с британской компанией Astrium Ltd. Earth Obsernation and Science в рамках проекта TerraSAR приступили в 1997 г. к реализации программы создания и совершенствования системы радиолокационной съёмки земной поверхности с использованием космических аппаратов, оснащённых радиолокаторами с синтезированной апертурой (РСА) Х- и L-диапазонов (TerraSAR‑X/TanDEM‑X и TerraSAR-L соответственно). Инициатором разработки проекта является германская компания, которая участвовала ранее в создании РСА С диапазона для европейских ИСЗ ERS-1 и -2 (с пространственным разрешением ≈30 м) и РСА X-SAR X-диапазона, функционировавшего в составе корабля SPACE SHUTTLE.

Стоимость проекта создания одного спутника и наземного комплекса, которая первоначально оценивалась в 130 млн. евро (из них доля DLR, отвечавшего за создание космического аппарата, составляла 108 млн. евро, а доля EADS, создававшего наземное оборудование приема, обработки, архивирования и распространения информации, – 28 млн. евро), возросла в конечном счете до 250 млн. евро. Около половины этих расходов взяло на себя агентство DLR. Оставшуюся часть финансировала компания EADS Astrium GmbH. Кроме того, PADS Astrium потратила значительные средства на разработку геоинформационных продуктов и их маркетинг.

В январе 2001 г. компанией Astrium была образована компания Infoterra, состоящая из двух отделений – Infoterra Ltd (Великобритания) и Infoterra GmbH (Германия). В 2001 г., ещё до запуска TerraSAR-X, компания Infoterra стала успешно распространять в Европе данные и геопродукты других спутников. После ряда слияний и преобразований Infoterra Group стала крупным игроком на рынке геоинформатики Европы. По контракту с компанией Infoterra GmbH маркетинг снимков со спутника обеспечивает компания Spot Image. В обмен на инвестиции в проект, компании EADS Astrium и Infoterra получили эксклюзивные права на коммерческое распространение радиолокационных продуктов. В соответствии с агрессивной маркетинговой стратегией компания претендует на 4–8% оборота мирового рынка геоинформации, создаёт для этого сеть станций прямого приёма по образцу программ SPOT, Radarsat, Landsat, JRS и активно развивает международную сеть дистрибьютеров.

В качестве основных потребителей рассматриваются государственные (в том числе – силовые) ведомства. Страховые агентства, частные компании агробизнеса, строительства, транспорта, фирмы ГИС сектора и другие. Основными областями применения по данным маркетинговых исследований являются сельское и лесное хозяйство, национальная безопасность, чрезвычайные ситуации, строительство, картография, геология, страхование, морская навигация (обнаружение судов и нефтяных пятен), ледовая разведка. Собственником и оператором спутника TerraSAR-X является космическое агентство DLR. Проект поддерживается Федеральным министерством образования и науки BMBF.

В марте 2002 г. DLR подписало с компанией Astrium GmbH контракт, предусматривающий создание спутника массой 1032 кг на основе платформы FLEXBUS. Позже проект был переориентирован на базу платформы AstroSat-1000 (AstroBus), и масса спутника возросла до 1316 кг. Космический аппарат, технические и целевые характеристики которого приведены в таблице 1, представляет собой шестиугольный параллелепипед длиной 5,2 м и диаметром описанной окружности 2,4 м. На гранях корпуса жёстко укреплены плоские панели радиатора, фазированной антенной решётки радара и солнечной батареи площадью 5,25 м2 с фотоэлементами на основе арсенида галлия. Антенна передачи данных на Землю вынесена на штанге длиной 3,3 м для уменьшения взаимных помех при одновременной работе радара и радиолинии сброса данных.

Минимум раскрываемых элементов: трансформируется на орбите только антенна передачи данных на Землю – позволил снизить стартовую массу КА и повысить надёжность функционирования изделия. Мощность системы электропитания КА составляет 800 Вт в конце срока активного существования, а пиковое потребление – 1800 Вт. Ёмкость литий-ионных батарей аккумуляторов равна 108 А⋅час. Трехосная система ориентации, в состав которой входят звёздные и солнечные датчики, датчики Земли, GPS‑приёмники, магнитомеры и гиромаховики, обеспечивает точность угловой ориентации 65″ (3σ). Двигательная корректирующая установка заправлена 78 кг монометилгидразина, которых хватит для работы в течение 10 лет. В составе системы управления используются два дублируемых 32‑битных процессора Atmel ERC32SC производительностью 18 млн. операций в секунду с возможностью дальнейшего расширения функций управления ориентацией КА и работой РСА.

Таблица 1 – Технические и целевые характеристики КА TerraSAR-X

|  |  |
| --- | --- |
| Параметры | Значения |
| Масса КА, кг | 1346 |
| Площадь солнечных батарей (СБ), м2 | 5,25 |
| Тип космической платформы | AstroSat-l000 (AstroBus) |
| Мощность СБ, Вт | 800 (в конце САС) |
| Мощность пикового потребления, Вт | 1800 |
| Ёмкость аккумуляторных батарей, А⋅ч | 108 |
| Производительность БЭВМ, млн.оп/с | 18 |
| Масса целевой аппаратуры, кг | 497 |
| Среднее время съёмки, мин: |  |
| - за виток | 5 |
| - за сутки | 60 |
| Точность управления лучом антенны, угл. с (3σ) | 65 |
| Точность привязки элементов радиолокационного изображения (РЛИ) к географической системе координат, м (3σ) | 3 |
| Срок активного существования, лет | 5 |

Каждый спутник оснащается поляриметрическим многоканальным РСА TSX-SAR, созданного на базе технологий, освоенных европейцами в ходе разработки и эксплуатации радиолокаторов SIR-C и SRTM в 1994–2000 гг. Параметры РСА представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры РСА TerraSAR-X

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры режимов работы | Прожекторные | | Маршрутный | Скансар |
| ПР-эксп | ПР-шт |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Центральная частота | 9,65 | | | |
| Тип. размеры антенны, м | АФАР 4,784 × 0,704 × 0,15 (азим. × угол места × толщ.) | | | |
| Ширина диаграммы направ­ленности антенны, град:  - в азимутальной плоскости,  - в угломестной плоскости | 0,33  2,3 | | | |
| Число фазовых центров | 12 × 32 (азим. × угол места) | | | |
| Углы сканирования, град | ±0,75 × ±19,2 (азим. × угол места) | | | |
| Углы падения, град | 20–55 | 20–55 | 20–45 | 20–45 |
| Полоса обзора, км | 2×463 | 2×463 | 2×286 | 2×287 |
| Полоса съемки, км | 10 | 10 | 30-50 | 100–150 |
| Протяженность маршрута (кадра), км | 5 | 10 | 3000 | 3000 |
| Разрешение, м  азимут  наклонная дальность  горизонтальная дальность | 1  0,6–1,0  - | 2  1,2–2,0  - | 3  -  3 | 15  -  16 |

Продолжение таблицы 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число наблюдений | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Чувствительность, дБ | -(16–24) | -(19,6–30) | -(19,6–26,5) | -(19,8–29,6) |
| Интегральный уровень неоднозначности, дБ | -(16,6–25,5) | -(18–27,5) | -(19,0–25,4) | -(19,8–29,6) |
| Шумфактор на входе ППМ, дБ | 5 | | | |
| Длительность импульса, мкс | 21 и 42 | | | |
| Длительность пачки импульсов, мс | до 500 | | | |
| Частота повторения, Гц | 3000–6500 | | | |
| Полоса спектра сигнала, МГц | 300 | 5–150 | | |
| Частота квантования, Мгц | 110, 165, 330 | | | |
| Скважность приёма, % | 100, 67, 33 | | | |
| Сжатие сигнала BAQ (по выбору) | 8, 4, 3, 2, без BAQ | | | |
| Производительность за 1 минуту съемки | 15 кадров  5 × 10 км | 15 кадров  10 × 10 км | 9 снимков  30×50 км | 3 снимка  100×150 км |
| Объем памяти, Гбит | 256, 768 у TanDEM-X | | | |
| Скорость формирования данных (8/4 BAQ). Мбит/с | 680 | 340 | 580 | 580 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Скорость передачи данных по радиолинии. Мбит/с | 300 | | | |
| Излучаемая паковая мощность, Вт | 2260 | | | |
| Средняя потребляемая мощность, Вт | 800 (или 850) | | | |
| Мощность, потребляемая в режиме съёмки, Bт | 4400 | | | |
| Скважность работы на витке, % |  | | | |
| Mapшрутный режим | 18 | | | |
| Прожекторный режим | 20 | | | |
| Расширенные режимы без гарантии качества РЛИ | | | | |
| Углы падения, град | 15–60 | 15–60 | 15–60 | 20–60 |
| Полоса обзора, км | 622 | 622 | 622 | 577 |

Радиолокатор выполнен на основе активной фазированной антенной решётки (АФАР) с размерами 4,78 × 0,704 × 0,15 м. Решётка состоит из 384 приёмо-передающих модулей с волноводно-щелевыми излучателями, которые передают и принимают радиолокационные сигналы двух видов поляризации: горизонтальной (Г) и вертикальной (В). Модули объединены в 12 панелей размером 0,7 × 0,4 м (по 32 модуля в каждой панели). Электропитание антенной системы РСА разрабатывала компания Alenia Spazio (Рим, Италия).

Цифровая электронная система позволяет изменять направление, форму и вид поляризации луча. Электронное сканирование луча осуществляется в пределах ±0,75° по азимуту и ±19,2° по углу места. Цифровой управляемый генератор обеспечивает генерацию восьми типов радиосигналов с различной длительностью и шириной спектра 5–300 МГц. Типы радиосигналов могут изменяться от импульса к импульсу (частота повторения импульсов 3–6,5 кГц). Масса целевой аппаратуры составляет 497 кг (по другим данным – 394 кг, возможно без конструктивного модуля антенны).

Номинальный рабочий цикл РСА составляет 18–20% от продолжительности витка орбиты (500 кадров или режимов съёмки общей площадью 1 млн. км2 в сутки). Спутник может вести съёмку с любой стороны от трассы полёта, при этом нормаль к плоскости антенны отклонена на 33,8° от вертикали. Штатный режим съемки – справа от трассы КА, при этом разворот на 67,6° (с одной полуполосы обзора на другую) может быть выполнен за 180 с. Минимальное расстояние между соседними кадрами в маршрутном и обзорном режиме составляет 7 км.

РСА может функционировать в трёх основных режимах съемки:

- прожекторном (детальном - Spotlight) с линейным разрешением 2 м по азимуту и 1,2 м по дальности при радиометрической чувствительности не хуже -19 дБ; эти характеристики гарантируются в полосе обзора шириной 2×463 км в пределах кадра размером (5–10) × 10 км;

- маршрутном покадровом (Stripman) с пространственным разрешением 3 м и радиометрической чувствительностью не хуже -19 дБ в полосе захвата до 30 км и длине кадра 50 км в полосе обзора 2 × 286 км; максимальная длина маршрута по разным данным может достигать от 1500 км до 4200 км;

- обзорном (SсanSAR) с пространственным разрешением 16 м и радиометрической чувствительностью не хуже -19 дБ в полосе захвата 100 км и полосе обзора 2 × 287 км (стандартный кадр имеет размеры 100 × 150 км).

Предусмотрена также возможность использования экспериментального (высокодетального прожекторного) режима с пространственным разреше­нием 1,2 м (по дальности) и 1,0 м (по азимуту) и радиометрической чувст­вительностью не хуже -16 дБ в пределах кадра 5×10 км и в полосе обзора 2 × 463 км.

Во всех четырёх режимах допустимо расширение полосы обзора:

- в детальном, маршрутном и экспериментальном до 2 × 622 км;

- в обзорном до 2 × 577 км,

но ценою некоторого ухудшения приведенных выше значений информативных характеристик.

Радиолокационная аппаратура КА TerraSAR-X выполнена для работы (единовременно) с одной (но любой из четырёх возможных: В/В, В/Г, Г/В, Г/Г) комбинацией ориентации плоскости линейно-поляризованного излуче­ния на передачу/приём. Для получения многополяризационной информации предусмотрены три дополнительных режима:

- в маршрутном режиме съёмки с поочередным переключением видов линейной поляризации с ухудшением из-за этого азимутального разрешения в три раза (Interleaved Scan Bursts);

- в том же режиме с поочередным переключением вида поляризации снижения, вследствие этого, частоты повторения зондирующих импульсов каждого вида и чувствительности на 3 дБ (Interleaved Spot Bursts);

- в детальном кадровом режиме с поочередным переключением видов поляризации, что приводит к ухудшению азимутального разрешения в два раза (Interleaved Pulses).

В конструкции РСА предусмотрено электрическое разделение АФАР на две части (Split antenna), а также резервное оборудование, позволяющее организовать второй приёмный канал и использовать два фрагмента в режиме DPC (Dial Phase Center mode). В этом режиме работы РЛС, благодаря образованию двух фазовых центров распространения сигнала, появляется возможность реализации ещё ряда дополнительных режимов:

1) режим обнаружения, сопровождения и определения вектора скорости подвижных объектов (MTI-mode) или продольный (вдоль подспутниковой трассы) интерферометрический режим ATI (Along-Track Interferometry);

2) поляриметрические режимы, реализуемые:

- двумя поляризационными каналами, образующими два слоя из нескольких возможных комбинаций видов поляризации, реализуемых одновременно: ГГ+ВВ, ГГ+ГВ или ВВ+ВГ,

- четырьмя каналами, организованными путём деления апертуры пополам (с реализацией одновременно всех четырёх комбинаций поляризации сигнала),

но ценою ухудшения чувствительности аппаратуры и/или сокращения шири­ны полосы обзора (режим используется только в научных целях);

3) режим съёмки с лучшим азимутальным разрешением (Enhanced Resolution Mode) за счёт объединения измерений от двух приёмных каналов или объединения когерентно обработанных изображений.

Однако информация об использовании этих режимов к настоящему времени отсутствует.

Минимальное расстояние между кадрами в маршрутном и обзорном режиме – 7 км.

Среднее время съемки:

- за виток – 5 мин;

- за сутки – 60 мин.

По другим данным рабочий цикл РСА составляет 18–20% от продол­жительности витка (500 кадров или режимов съёмки общей площадью 1 млн. км2 в сутки).

Кроме обычного применяемого прожекторного режима кадровой съёмки с высоким разрешением в РСА TerraSAR-X используется режим двойного приёма с разрешением РЛИ (1–2) × 1,2 м. Двойной приём реализуется путём частичного расширения ДНА на передачу (введением квадратичного распределения фазы по апертуре АФАР), разделения АФАР на две секции по азимуту с независимым приёмом сигналов от каждой секции. Разрешение по азимуту улучшается примерно в два раза («ультравысокое» разрешение). Точность управления лучом антенны составляет 65 утл. с (3σ). Погрешность привязки РЛИ к координатам по GPS не более 3 м (3σ).

Генератор зондирующих импульсов с цифровым управлением формирует восемь типов импульсов с задаваемой длительностью и шириной спектра 5–150 МГц. Из хранимых в памяти восьми образцов сигнала может улучшаться любой, чередуясь от периода к периоду. Сигнал с полосой 300 МГц для экспериментального режима формируется аналоговым методом.

В приёмном устройстве используются сосредоточенные фильтры для исключения наложения сигналов, согласованные с частотами квантования в АЦП: 110, 165 и 330 МГц и разрядностью 8 бит. После запоминания строки данных производится компрессия BAQ по блокам 128 отсчётов с выбранной разрядностью компрессии (4,3 или 2 разряда).

Запуск спутника TerraSAR-X (сокращенное название TSX), первоначально планировавшийся в 2005 году, неоднократно переносился и был произведен 15 июня 2007 г. ракетой-носителем «Днепр» с космодрома «Байконур». Провайдером пусковых услуг выступила Международная космическая компания «Космотрасс».

В августе 2006 г. DLR подписала контракт с компанией EADS Astrium GmbH на 85 млн. евро (56 – DLR, 26 – компания EADS Astrium, 3 –другие инвесторы) по созданию на основе платформы FLEXBUS спутника TanDEM‑X. Общая стоимость работ по реализации проекта (включая расходы на запуск и создание наземной инфраструктуры) должна была составить 145 млн. евро. Спутник планировался к запуску в начале 2009 г., но был выведен 21 июня 2010 г. на орбиту, близкую к орбите первого КА. Запуски двух спутников высокодетальной радарной съёмки TerraSAR-X и TanDEM-X (TSX add-on for Digital Elevation Measurement – дополнение к TSX для цифровых измерений рельефа) на полярные солнечно-синхронные (i=97,4°) терминаторные (нисходящий узел КА проходит около 6 ч. 00 м. по местному времени) орбиты высотой ≈514 км с одним односуточным (167 витков) периодом повторения подспутниковых трасс обеспечивают их прохождение по одной и той же подспутниковой трассе, но разнесённое по времени на 15 минут. Образованную таким образом систему намечается использовать для получения данных в интересах построения пространственных моделей местности для Министерства обороны ФРГ и для коммерческих целей. Фирмы OHB-Systems и Alcatel Space уже ведут соответствующую работу с некоторыми странами блока НАТО и других союзных структур. Два спутника в течение 3 лет смогут осуществлять бистатическую интерферометрическую съёмку Земли для создания высокоточной глобальной цифровой модели рельефа местности с пространственным разрешением до 3 м. С шагом сетки 12 × 12 м реализуется относительная точность измерения вертикального профиля, равная 2 м, и абсолютная точность не хуже 10 м.

Обеспечивается эффективное обнаружение подвижных целей и контроль высокодинамичных сюжетов. Для этого специалистами DLR разработан и запатентован принцип спутниковой группировки Helix. Спутники в этой группировке совершают взаимное движение по непересекающимся спиралям, оставаясь на заданном расстоянии в пределах 200 м – 2 км благодаря небольшой разнице в величинах эксцентриситета и долготы восходящего узла орбит. КА TanDEM-X отличается от КА TerraSAR-X в части системы управления движением (СУД). С целью постоянного поддержания минимальной дистанции между КА в состав СУД вводится лазерный дальномер. Поддержание необходимой дистанции между КА осуществляется бортовой ДУ на основании данных дальномера.

Для пары спутников TSX/TDX разработаны три основных режима тандемной интерферометрической съёмки Земли: двухпозиционный (биста-тический), последовательный монорежим и альтернативный двухпозиционный (бистатический) режим.

При реализации двухпозиционного режима съёмки спутники совершают групповой полёт на удалении 200–2000 м друг от друга, осуществляя одновременный синхронизированный приём отраженных от Земли сигналов, передаваемых с одного из спутников пары. Предполагается, что двухпозиционный режим является самым точным для формирования интерферограмм вдоль и поперек трассы полёта с минимальной временной и атмосферной декорреляцией.

Во втором режиме два спутника, совершающие полёт на удалении   
30–50 км вдоль орбиты ведут независимую последовательную съёмку одного и того же участка местности с разницей в несколько секунд.

Альтернативный двухпозиционный режим аналогичен первому, когда оба спутника осуществляют одновременный синхронизированный приём, но в режиме передатчика поочередно работают оба спутника. Третий режим ис­пользуется для синхронизации калибровки и получения интерферограмм районов со сложным рельефом.

По сообщению Центра DLR от 15 октября 2010 г., наземные службы завершили реализацию маневра сближения с расстояния 20 км до 350 метров радиолокационных спутников TerraSAR-X и TanDEM-X на рабочей орбите.

Передача данных осуществляется по радиолинии X-диапазона (модуляция DQPSK, скорость 300 Мбит/с) в зашифрованном виде после предварительной оцифровки аналогового сигнала с помощью восьмиразрядного АЦП и сжатия но алгоритму блочного адаптивного квантования BAQ с возможностью выбора коэффициента сжатия до 4-, 3- и 2-х разрядов. Возможна передача данных на приёмную станцию в реальном масштабе времени. Для съёмок вне зоны видимости наземных станций используется бортовой накопитель SSMM ёмкостью 320 Гбит (по другим данным – 512 Гбит). Команды и телеметрия передаются с модуляцией BPSK в диапазоне S (2,2–2,4 ГГц) со скоростями 4 Кбит/с и от 32 Кбит/с до 1 Мбит/с соответственно.

С целью снятия ограничений со стороны пропускной способности ка­налов непосредственной передачи полученных данных в зоне радиовидимо­сти наземных пунктов приёма информации на функциональные возможности КА TerraSAR-X, на эффективность и экономическую отдачу от его использования, оба спутника оснащены терминалом лазерной связи TSX‑LCT (Laser Communication Terminal) массой 25 кг. Терминал разработан германской компанией Tesat-SpacecomGmbH по заказу DLR для реализации двухсторонней передачи данных со скоростью 5,5 Гбит/с и успешно прошёл испытания на линии КА-ППИ в режиме непосредственной передачи данных и в режиме связи с низкоорбитальным спутником NFIRE (США). Апробация технологии в ходе установления двусторонней связи между этими КА подтвердила возможность её штатного использования терминала. Вероятность сбоя на бит информации составляет 10-8. Передача (ретрансляция) радиолокационных данных в реальном масштабе времени с космических аппаратов TerraSAR-X и TanDEM-X была реализована в экспериментальном режиме после введения в эксплуатацию геостационарной платформы «Alphabus». В штатном режиме такая передача будет осуществляться после введения в эксплуатацию Европейской космической системы ретрансляции EDRS. Первый КА этой системы, оснащенный лазерным терминалом, планируется запустить до конца 2015 г.

Орбитальные испытания и калибровка РСА TerraSAR-X завершились в декабре 2007 г., после чего система была введена в оперативную эксплуатацию. Согласно контракту стоимостью 2,2 млн. евро, компания Infoterra (Германия) в течение года будет предоставлять Агентству ESA снимки со своего спутника дистанционного зондирования Земли TerraSAR-X. Агентство ESA выплатит компании Infoterra 200 тыс. евро для развёртывания наземного сегмента для получения снимков.

Стремясь развить успех, Германское космическое агентство присту­пило к проработке двух следующих модернизированных КА TanDEM-X и TerraSAR-X2 с улучшенными целевыми характеристиками. Последний частично будет финансироваться компаний Infoterra из коммерческой прибыли от продажи продукции первого КА и предназначен для его замены в 2013 г.

Сроки запуска спутников серии TerraSAR-L пока не определены. Рабочие орбиты и орбитальное построение аналогичны описанному выше для спутников серии TerraSAR-X. Спутники должны быть оснащены радиолокатором, который будет способен осуществлять полнополяриметрическую съёмку местности в зоне обзора шириной 610 км, ближняя и дальняя граница которой удалены от подспутниковой трассы на 150 и 760 км соответственно. При этом углы падения радиолокационного луча на земную поверхность колеблется в диапазоне 20–45°. РСА, основные технические характеристики которого приведены в таблице 2, обеспечивает линейное разрешение 5–9 м в полосе захвата 40–60 км (Stripman) и не хуже 30 м в полосе захвата 200 км. Объём памяти накопителей данных предполагается равным 256 Гбит, а максимальная скорость сброса данных на Землю – равной 300 Мбит/с.

Расчётный срок активного существования обоих типов КА составляет 5 лет с возможностью его продления.

Наземный комплекс TerraSAR-X находится в Германском центре космических операций GSOC (German Space Operations Center) в Oberpfaffenhofen под Мюнхеном и состоит из трёх сегментов:

Центр управления полётом (Mission Operation Segment, MOS), который обеспечивает планирование и управление полётом, а также работу станции управления в Weilheim (Вайльхайм) и станции приёма данных Neustrelits (Нойштрелиц), созданную и эксплуатируемую институтом технологий дистанционного зондирования IMF (Institut für Methodik der Pernerkundung) и германским центром дистанционного зондирования DFD (Dentsche Ferner-kundungsdatenzentrum).

1) Сегмент управления и калибровок радара (Instrument Operations and Calibration Segment-IOCS).

2) Наземный сегмент полезной нагрузки (Payload Ground Segment-PGS), предназначенный для обработки, анализа радарных данных и моделирования.

Работу двух последних сегментов обеспечивают исследовательские центы DLR: Институт СВЧ-техники и РЛС (DLR/IHR), Германский центр данных ДЗЗ (DED) и Институт методов ДЗЗ (IMF). В составе наземного сегмента планируется использовать также станцию управления и приёма данных на о. Шпицберген.

Данные от РСА, получаемые на наземном приемном комплексе станцией приёма информации в Найштрелиц (Neustrelitz), поступают затем в институт технологий дистанционного зондирования IMF и германский центр дистанционного зондирования DFD, образующих наземный сегмент системы по обработки данных РСА в Oberpfaffenhofen. Управление работой РСА и её калибровкой занят в Oberpfaffenhofen институт радиолокации и СВЧ техники IHR (Institute für Hochfrequenztechnik und Radar systeme). Далее данные от РСА поступают на два сегмента обслуживания потребителей: в космическое агентство DLR и в компанию Infoterra (отделение компании EADS Astrium). За использование научных данных со спутника отвечает Германский аэрокосмический центр DLR. Коммерческим маркетингом полученной информации, а также её обработкой и каталогизированием занимается компания Infoterra GmbH. В соответствии с условиями партнёрства Германский аэрокосмический центр агентства DLR осуществляют обработку заказов и распространение данных в научных целях, а коммерческим маркетингом полученной информации, её обработкой и каталогизацией занимается компания Infoterra CmbH (дочернее предприятие EADS Astrium), в штате которой состоит всего 40 человек.

Сроки запуска спутников серии TerraSAR-L с РСА L-диапазона пока не определены. Основные технические и информативные характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные технические характеристики РСА КА TerraSAR-L

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Тип антенны | АФАР |
| Размеры антенны | 15 × 1,5 |
| Длительность импульса, мкс | 21 и 42 |
| Длительность пачки импульсов, мс | до 500 |
| Диапазон частот повторения импульсов, Гц | 1300-3800 |
| Ширина спектра сигнала, МГц | 10-85 |
| Объем памяти накопителя данных, Гбит | 256 |
| Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с | 300 |
| Несущая частота, МГц | 5405 |
| Вид поляризации:  - на передачу  - на прием | Г и В  Г и В |
| Ширина диаграммы направленности антенны в азимутальной плоскости, угл. град | 0,21–0,63 |
| Ширина полосы съемки, км | 40–200 |
| Ширина полосы обзора, км | 150–760 |
| Пространственное разрешение, м | 5–30 |
| Диапазон углов падения, град | 20-45 |

В составе наземного сегмента планируется использовать станцию управления и приема данных на о. Шпицберген. Поляриметрическая РСА будет работать в двух режимах:

- полосовом покадровом (stripmap) с разрешением 5–9 м в полосе съемки 40‑60 км;

- полосовом маршрутном (scanSAR) с разрешением 30 м в полосе съемки 200 км.

* 1. **Космическая система радиолокационного наблюдения двойного назначения COSMO-SkyMed**

Космическое агентство Италии (ASI) начало финансировать проект COSMO с 1996 г., а с 1997 г. этот проект был включен в пятилетнюю национальную космическую программу PSN (1998–2002 гг.), став ее основным (стратегическим) элементом. Первоначальный вариант проекта предусматривал создание системы малых спутников радиолокационной съемки Средиземноморья и других районов земной поверхности. Четыре ИСЗ массой не более 550–600 кг с РСА X-диапазона должны были размещаться на солнечно-синхронных орбитах с наклонением 97,3° и высотой 480 км в одной плоскости, но с разнесением по аргументу широты на 90°. Радиолокатор с размерами апертуры антенны 6 × 1,2 м, углами наблюдения 20–35°, средней/пиковой мощностью 80–300 Вт/3,2 кВт должен был обеспечивать в полосе обзора 450 км:

- в маршрутном режиме: линейное разрешение 3 м в полосе съемки шириной 30–40 км,

- в режиме сканирования: разрешение 9–12 м в полосе шириной   
60–120 км.

Для расширения полосы обзора до 450 км предполагалось использовать вращение спутника по крену на угол до 35°.

Скорость формирования данных от РСА должна была составлять при этом 180 Мбит/с.

С 1998 г. в результате пересмотра концепции проект, переименованный в COSMO-SkyMed, приобрел статус системы двойного назначения. После подписания в 2001 г. межправительственного соглашения с Францией в рамках совместного проекта Pleiades-COSMO-SkyMed (также имеет наименование ORFEO), Италия отказалась от сегмента оптико-электронной съемки Земли из космоса. Она сосредоточила усилия на создание сегмента радиолокационной съемки и в обмен на радарные изображения получила доступ к результатам оптической съемки с французских спутников Helios-2 и Pleades. Министерство обороны Италии стало официальным партнером проекта.

Согласно первоначальным планам, запуск первого итальянского ИСЗ массой 1000 кг ожидался в 2003 г. После пересмотра концепции проекта он был перенесен на 2005 г. с тем, чтобы завершить развертывание системы из четырех КА в течение двух лет после этого. В реальности запуск первого КА ракетой-носителем Delta-2 был произведен в июне 2007 г., а формирование орбитальной группировки в полном составе завершено в ноябре 2010 г. Общая стоимость программы оценивалась в 1 млрд. евро. В его финансировании участвовали космическое агентство ASI, Минобороны, Министерство образования, университетов и научных исследований.

Контракт подписанный между Alenia Spazio (в дальнейшем – Thales Alenia Spazio) и Итальянским космическим агентством 21 декабря 2004 г. на изготовление первых трех космических аппаратов системы предусматривал затраты на эти цели уже 775 млн. евро (или 1,02 млрд. долл. США). 80% общей суммы 620 млн. евро выделило министерство образования, универси­тетов и исследований (MIUR), а остальные 20% (155 млн. евро – министер­ство обороны. В конце 2006 года был заказан и четвертый аппарат, изготовление которого оценивалось в 100–116 млн. евро. Контракт на запуск первых двух спутников был подписан 11 декабря 2006 г. Пуск второго КА должен был состояться в конце 2007 г. или в начале 2008 г. Полное развертывание системы планировалось завершить в 2009 г. Помимо итальянских подрядчиков, основными промышленными компаниями, вовлеченными в проект, являются INTA (Испания) и INTRACOM (Греция).

Руководители военного ведомства потребовали повысить линейную разрешающую способность аппаратуры с 2–3 м до 0,8–1,0 м, а также доработать наземный сегмент в целях повышения оперативности, производительности, надежности и живучести системы. Это вызвало необходимость повышения мощности бортовой энергоустановки, реализации ряда других усовершенствований, следствием которых стало увеличение массы КА с 550–600 кг до ~ 1900 кг.

Главным разработчиком осталась компания Thales Alenia Spazio, которая создавала космический аппарат на базе модулей собственной разработки: реконфигурируемой итальянской многоцелевой платформы PRIMA, на которой установлены две панели разворачиваемой солнечной батареи, и РСА X-диапазона, разработанного по программе SAR-2000. Платформа обеспечивает работу всех бортовых систем (энергоснабжения, терморегулирования, управления и обработки данных, связи, ориентации и стабилизации). Она подразделяется на два модуля (служебный и целевой нагрузки), причем последний имеет в своем составе подсистему обработки и передачи данных, а также датчики и исполнительные элементы системы ориентации. Аппарат на базе этой платформы способен работать в автономном режиме не менее 24 часов.

Силовая конструкция спутника, основные характеристики которого приведены в таблице 4, изготовлена из композитного материала на основе углеродного волокна, конструкция служебного модуля и модуля полезной нагрузки выполнены из алюминиевого сплава. Система ориентации и стабилизации космического аппарата – трехосная, для определения ориентации используются звездные камеры, для обеспечения заданной ориентации КА – силовые гироскопы. Для маневрирования на орбите на аппарате установлены химические двигатели.

Таблица 4 – Основные технические характеристики космических аппаратов системы COSMO- SkyMed

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Масса КА, кг | 1900 |
| Высота рабочей орбиты, км | 620 |
| Наклонение рабочей орбиты, угл. град. | 97,8 |
| Количество КА в орбитальной группировке | 4 |
| Максимальная скорость сброса данных, Мбит/с | 2 × 155 |
| Площадь солнечных батарей (СБ), м2 | 18,3 |
| Среднесуточная мощность СБ. кВт | 3,6 |
| Напряжение источника питания, В | 42 |
| Пиковое электропотребление, кВт | 14,0 |
| Емкость аккумуляторных батарей (АБ), А⋅ч | 336 |
| Масса АБ, кг | 136 |
| Расчетный срок активного существования, лет | 5 |
| Длительность автономного функционирования, час | 24 |
| Точность геопривязки изображений, м | 15 |
| Суточная производительность, тыс. км2  в детальном режиме (с разрешением 1 м)  в маршрутном режиме (с разрешением 5 м) | 30  2400 |

Панель солнечной батареи площадью 18,3 м2, изготовленная Galileo Avionica, способна обеспечить 3,6 кВт электроэнергии в конце срока активного существования. Однако режим работы полезной нагрузки предполагает возникновение пиковых значений электропотребления, которое может достигать 14 кВт. Сила тока в силовом канале в режиме точечной съемки (Spotlight) достигает при этом 460–650 А, а в режиме высокодетального сканирования – 330–450 А (при максимальной длительности такого режима – 10 минут). Для обеспечения таких экстремальных режимов системы электропитания на борту КА установлен блок перспективных литий-ионных аккумуляторов общей емкостью 336 А⋅ч и массой 136 кг. Надежность данных бортовых аккумуляторов составляет 0,999. Весь блок состоит из 2016 элементов. Соединенных последовательно в цепи по девять, а все образованные таким образом 224 цепи соединены параллельно. Такой блок способен выдать максимальную пиковую мощность равную 17,8 кВт.

Система энергоснабжения КА должна обеспечивать три вида питания РСА:

- нестабилизированное питание в диапазоне 38–50 В;

- стабилизированное питание 28±1 В;

- питание Heztars.

Должна быть обеспечена точность ориентирования спутника-носителя РСА с ошибками не более 0,015 угл. град. (3σ) по всем трем осям орбитальной системы координат. Необходимо также знание навигационных параметров КА с точностью:

- позиционирования не хуже 7 м (3σ);

- определения скорости не уже 0,01 м/с (3σ).

Модернизированный РСА SAR-2000, основные технические характеристики которого приведены в таблице 6, допускает возможность многоканального приема и обработки сигналов от нескольких субапертур для подавления фоновых помех, обнаружения движущихся целей, определения их координат и параметров движения, измерения параметров морских течений и волн, съемки с сигналами четырех видов поляризации для улучшения дешифровочных свойств изображения. В зоне обзора шириной 2 × 1300 км, ограниченной углами визирования 20–60°, возможен контроль объектов как справа, так и слева от трассы КА в любом из трех основных режимов:

- маршрутном (однополосовом), обеспечивающем в полосе съемки 30 и 40 км линейное разрешение на местности 3–5 и 15 м соответственно (при разрешении 15 м используются все возможные комбинации поляризации излучения на передачу и прием);

- обзорном (многополосовом), когда в полосе 100 и 200 км обеспечивается разрешение 30 и 100 м соответственно (в режиме съемки с разрешением 30 м возможно получение информации двух типов поляризации одновременно);

- телескопическом, обеспечивающем для гражданских и коммерческих пользователей в пределах кадра размером до 10 км разрешение 1 м; при съемке в интересах военных заказчиков разрешение в этом режиме может быть улучшено до 0,8 м (по некоторым данным до 0,7 м).

По данным прессы пространственное разрешение COSMO-SkyMed № 4 улучшено относительно предшественников (таблица 5).

Таблица 5 – Основные технические характеристики РСА ИСЗ серии COSMO-SkyMed

|  |  |
| --- | --- |
| Тип антенны | фазированная антенная решетка |
| Размеры антенны, м | 5,7 × 1,4 |
| Несущая частота, МГц | 9,6 |
| Вид поляризации:  на передачу  на прием | горизонтальная или вертикальная  горизонтальная или вертикальная |
| Угол механического смещения диаграммы направленности антенны, град | 33,8 |

Продолжение таблицы 5

|  |  |
| --- | --- |
| Ширина диаграммы направленности антенны:  в азимутальной плоскости, град  в угломестной плоскости, град  Диапазон углов электронного сканирования диаграммы направленности антенны:  в азимутальной плоскости, град  в угломестной плоскости, град | 0,33  2,3  ±0,75  ±19,2 |
| Диапазон углов падения, град | 35–70 (20–45) |
| Длительность импульса, мкс | 21 и 42 |
| Длительность пачки импульсов, мс | до 500 |
| Диапазон частот повторения импульсов, Гц | 3000–6500 |
| Ширина спектра сигнала, МГц | 10–400 |
| Пиковая мощность излучения, кВт | 3,2 |
| Разрядность кодирования радиоголограммы | 8 |
| Объем памяти накопителя данных, Гбит | 320 |
| Средняя потребляемая мощность. Вт | 800 |

Предусматривается реализация:

- оперативной реакции системы на запросы потребителя (от подачи заявки до выдачи продукта конечному потребителю – 18–36 часов в кризисной ситуации);

- интерферометрической съемки с двух спутников для обнаружения изменений и разработки цифровых моделей рельефа;

- съемки с сигналами четырех видов поляризации;

- высокой точности геопривязки изображений (15 м).

Размеры антенны РСА, состоящей из трех секций и выполненной по технологии АФАР, составляют 5,7 × 1,4 м2. В номинальном положении она наклонена под углом 32,8° от вертикали, однако система ориентации КА позволяет дополнительно отклонять ее на ±2° по рысканию или переводить с одной полуполосы на другую относительно трассы КА. Антенна имеет 40 групп по 32 приемо-передающих модуля в каждой, открывающих возможность гибко изменять мощность и направление луча. Средняя мощность излучения в зависимости от режима колеблется в диапазоне 80–300 Вт. Пиковая мощность достигает 3200 Вт (по другим данным – 5000 Вт). Масса РСА равна 370 кг, из них масса АФАР составляет 290 кг (по другим данным – 500 кг). Электропотребление АФАР составляет 5150 Вт, в режиме Spotlight и 3940 Вт в режиме Stipmap и Scansar. Общее потребление РСА составляет, соответственно, 5400 и 4190 Вт.

Штатная орбитальная группировка из 4-х КА, расположенных в одной плоскости на орбитах с одинаковым (солнечно-синхронным) наклонением (97,86°) и высотой (619,6 км), но разнесенных на 90° друг от друга по аргументу широты, обеспечивает возможность повторного наблюдения объектов через каждые 12 часов. Местное время прохождения узлов орбиты – 06.00 (восходящего) и 18.00 (нисходящего). Наземная трасса КА повторяется точно после 16 суток и 237 витков, а приблизительно – через пять суток. В случае необходимости планируется осуществлять маневры сближения аппаратов для тандемного (группового) полета в целях осуществления интерферометрической съемки местности. Продукты на базе такой съемки (карты просадок грунта и изменения рельефа) пользуются высоким спросом у различных потребителей. Рассматривается вопрос о целесообразности изготовления модернизированных пятого и шестого КА первого поколения Sabrina, оснащенных дифференциальной интерферометрической аппаратурой, для реализации прообраза многопозиционной (бистатической) системы. В случае принятия положительного решения спутники будут выведены в орбитальные позиции вблизи четырех основных КА системы. Это обеспечит чрезвычайно высокую точность получения информации, в том числе при формировании трехмерных карт местности и по движущимся целям.

Система из 4-х спутников будет обеспечивать среднюю периодичность повторной съемки 1–6 час (в зависимости и от географической широты расположения контролируемого сюжета) и передачу на Землю до 1800 снимков, например до 300 сцен в детальном режиме съемки (по 75 на спутник) и до 1500 маршрутов (по 375 на спутник) или до 600 обзорных сцен ScanSAR (по 150 на спутник). По другим данным система обеспечивает съемку 1800 сцен размерами 10 × 10 км с пространственным разрешением 0,7 м. Суточная производительность системы – до 30 тыс. км2 в детальном режиме с разрешением 1 м и 2,4 млн. км2 в маршрутном режиме с разрешением 5 м. Емкость твердотельного бортового запоминающего устройства составляет 320 Гбайт. Целевые данные сжимаются, шифруются и сбрасываются с борта КА на Землю по двум каналам с суммарной скоростью 310 Мбит/с в X-диапазоне несущих частот. Период времени от съемки до передачи готового продукта пользователю составляет около 40 минут. Командно-телеметрический радиоканал работает в S-диапазоне частот.

Наземный комплекс объединенной франко-итальянской системы ORFEO, включающий ресурсы спутников Helios-2, COSMO и перспективных Pleiades, разработан компанией Telespazio, которая является также операто­ром, управляющим КА и процессами обработки изображений. Комплекс разделяется на военный и гражданский сегменты. В него вошли следующие основные элементы:

- Центр планирования и управления полетом СРСМ – обеспечивает координацию операций на борту КА и на Земле, а также планирование и распределение ресурсов. Заявки на съемку направляются на центральную станцию управления Фучино.

- Центр управления спутниками CCS в Фучино, Италия – осуществляет управление и контроль спутниковой системы.

Центр приема и обработки оперативных данных CREDO – управляет работой стационарных и мобильных наземных станций X-диапазона, в том числе Матера (Италия), Кордоба (Аргентина), Кируна (Швеция), Аляска (США) и Малинди (Кения), а также проводит обработку и архивирование данных. Данные, поступающие со спутника, будут передаваться для обработки и анализа в три центра, расположенные:

- в Практика ди Маре АВ (в районе Рима) для Министерства обороны (МО) Италии;

- в Матера (о. Сардиния) для гражданских государственных и коммерческих пользователей;

- на французской военной базе в Крейл (в предместье Парижа) для МО Франции.

В феврале 2006 г. компания Alcatel Alenia Space подписала контракт стоимостью 32 млн. евро с Итальянским космическим агентством ASI на строительство последнего из перечисленных выше элементов наземного сегмента системы, предусматривающим проектирование и изготовление на предприятиях компании оборудования, которое планируется установить на этой базе. В стандартном режиме работы наземный комплекс подготавливает и передает на спутник одну суточную рабочую программу съемок. В кризисной ситуации – две рабочие программы на сутки; в экстренном режиме возможна закладка рабочей программы за три часа до съемки заданного района.

Оператором системы в целом является космическое агентство ASI. Совместно с компанией Telespazio оно создало в 2007 г. компанию e-GEOS, которая осуществляет коммерческое распространение данных, поступающих с радиолокационных спутников системы COSMO-SkyMed, и оказания сервисных услуг в области морской навигации, обнаружения нефтезагрязнений, ледовой разведки, мониторинга сельскохозяйственных земель и наблюдения за подвижками грунта.

В настоящее время КА системы Cosmo-SkyMed передают снимки в режиме Spotlight-2 с разрешением не лучше 1 м для любых коммерческих пользователей. Для военных пользователей снимки передаются в режиме Spotlight-1 с разрешением 0,7 м и доступ к ним контролируется МО Италии. Пока в системе планируется использование только стационарных приемных станций, но рассматривается вопрос создания и подвижных станций приема данных. Стоимость стандартных продуктов находится в пределах от 1650 евро за обзорные снимки режимов ScanSAR до 9450 евро за детальные снимки метрового разрешения. Дополнительно оплачиваются услуги срочного программирования и обработки заказов. По ценовым показателям на мировом рынке предложения COSMO занимают промежуточное место между более дорогими и качественными продуктами пары КА TerraSAR-X/TanDEM-X и продуктами КА Radarsat-2, которые при худшем разрешении обеспечивают более широкую полосу съемки. В январе 2009 г. компания Telespazio и фирма e-Geos заключили 10-летний контракт стоимостью 180 млн евро (251,7 млн долл.) с фирмой 4С, согласно которому фирме будут поставляться снимки со спутников COSMO-SkyMed.

Система Cosmo-SkyMed обеспечивает мониторинг и сбор материалов для составления карт для правительств и министерств обороны Италии и Франции. Оборонное ведомство Италии применяет радарную информацию, полученную с КА COSMO, для обеспечения операций в Афганистане, Ливии, для слежения за обстановкой в кризисных точках, в том числе на Корейском полуострове. Министерство по чрезвычайным ситуациям использует спутниковые снимки для оперативной съемки зон природных и техногенных катастроф. Так в ноябре 2010 г. на основе снимков COSMO были получены карты районов Италии, пострадавших от наводнения. Радиолокационные данные используются также другими гражданскими службами и исследовательскими организациями для контроля окружающей среды.

Информация COSMO-SkyMed применяется в общеевропейской программе мониторинга GMES (проекты SAFER, G-MOSAC и др.). В рамках двусторонних межправительственных соглашений ресурсы КА COSMO использует Агентство геопространственной разведки США NGA, военные организации многих других стран. Правительство США в начале 2010 г. определило систему Cosmo-SkyMed в качестве важного источника получения радиолокационных данных. Система Cosmo-SkyMed предназначена для ДЗЗ и картографирования по запросам правительств Италии, Франции, Аргентины, Австралии, Турции, Японии. Даже Германия, которая использует свою радиолокационную систему SarTupe, заявила о своем интересе к системе Cosmo-SkyMed.

Планируется сотрудничество с космическим агентством Аргентины, которое в рамках проекта SAOCOM разрабатывает два КА массой 2 т, оснащенных радиолокаторами L диапазона, создаваемыми компанией Thales Alenia. Запуск первого из них намечен на 2011 г. Комплексная обработка данных, полученных в X- (CosmoSkyMed) и в L-диапазонах позволит значительно повысить эффективность решения обширного класса задач ДЗЗ. В конце 2000 г. Аргентина и Италия подписали соглашение о создании совместной аргентино-итальянской системы предупреждения о стихийных бедствиях на базе использования двух упомянутых радиолокационных космических комплексов. В стадии переговоров находятся соглашения с Австралией и Турцией. В России компания Telespazio развивает сотрудничество с ОАО РЖД: на основе методов спутниковой интерферометрии ведутся исследовательские работы по контролю смещений грунта вдоль железнодорожной трассы Адлер-Туапсе.

В настоящее время министерство обороны (МО) Италии и Космическое агентство этой страны ASI ведут работы по созданию радиолокационной системы с космическими аппаратами второго поколения. Эта система, которую планируется развернуть в 2014–2015 гг., получила обозначение CSG (CosmoSkyMed Second Generation – «Система Cosmo-SkyMed второго поколения»). Параметры режимов целевого функционирования РСА системы CSG, предусматривающих, в частности, обработку на борту первичной радиолокационной информации, представлены в таблице 6.

Основу системы составит перспективная РЛС с синтезированной апертурой и повышенной, в сравнении с прототипом, разрешающей способностью. Система CSG предназначена для замены системы CosmoSkyMed первого поколения после завершения расчетного срока их существования.

Таблица 6 – Параметры режимов РСА Cosmo-SkyMed 2-го поколения

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | CBR | МВР | СР-СС | НР-СС | 2-пол |
| Поляризация | С одним режимом поляризаций ГГ, ВВ. ГВ или ВГ по выбору | | | | ГГ+ВВ, ГГ+ГВ или ВВ+ВГ |
| Пространственное  разрешение, м | ≤1 | 3–15  3 | 30  (20) | 100  (много наблюдений) | 15 |
| Полоса съемки, км | кадр 10×10  (по другим данным:  5x5) | 40 | 100 | 200 | 30 |
| Ширина полосы обзора, км | 2×650 | | | | |
| Формат файлов | GEOS или GeoTIFF | | | | |
| Обработка информации | Радиометрическая, геометрическая коррекция, преобразование к картографическим проекциям | | | | |
| Радиометрическая чув­ствительность, дБ | не более -17 | | | | |

Компания Thales Alenia Space уже приступила к эскизному проектированию новых спутников массой 2200 кг на базе платформы PRIMA-H, на которой можно будет установить РЛС с разрешением 0,5 м, регулируемым остронаправленным зондирующим лучом, кодирующей системой доступа, а также «распределенным» управлением целевой аппаратурой войсками тактического звена. Такая возможность будет обеспечена за счет многоканальной антенны с расщепленными элементами. АФАР радиолокатора, разработка которой поручена Thales Alenia Spazio, будет состоять из трех секций общим размерами 5,75 × 1,5 м. Ее масса – 500 кг, пиковая мощность излучаемого сигнала – 5 кВт. Антенна, оснащенная электронным управлением и формирователем луча, работает в нескольких режимах с одиночной или двойной поляризацией. Сканирование луча антенны в пределах ±15° обеспечивается с помощью 40 элементов. Каждый такой элемент состоит из 32 приемопередающих модулей новейшей конструкции. Изучается вопрос размещения на этих КА индикатора движущейся цели. Основными направлениями совершенствования системы, помимо улучшения пространственного разрешения является также:

- реализация поляриметрической съемки без ущерба для значений других информативных характеристик и детектирования подвижных целей;

- передача данных с использованием высокоскоростного (с пропускной способностью до 5 Гбит/с) лазерного канала ретрансляции информации через геостационарные спутники Европейской системы ретрансляции EDRS. Технология и абонентская аппаратура такого канала прошла в настоящее время летную квалификацию в процессе эксплуатации КА TerraSAR-X на линии КА-НППИ. По программе стоимостью 550–600 млн. евро планируется построить два таких КА. Замена первого КА на орбите при достаточных темпах финансирования со стороны правительства Италии может состояться уже в 2015 г.

Создание системы не будет ограничено международными законами о регламентировании вооружений, поэтому ее можно свободно использовать и в гражданском секторе. Развертывание системы второго поколения может предшествовать изготовление модернизированных пятого и шестого КА первого поколения Sabrina для реализации прообраза многопозиционной (бистатической) системы, оснащенного дифференциальной интерферометрической аппаратурой. Спутники будут выведены в орбитальные позиции вблизи четырех основных КА системы. Это обеспечит чрезвычайно высокую точность получения информации, в том числе при формировании трехмерных карт местности и по движущимся целям.

Режимы работы РСА:

- сверхвысокого разрешения (СВР), прожекторный (Spotlight) (Frame);

- маршрутный высокого разрешения (МВР) Stripmap HIMAGE;

- среднего разрешения Скансар (СР-СС) - Wide Region ScanSAR;

- низкого разрешения широкозахватный Скансар (НР-СС) - Huge Region ScanSAR;

- маршрутный среднего разрешения с двойной поляризацией (2-пол) Ping-Pong Stripmap.

* 1. **Анализ отечественного опыта использования бортовых радиолокационных комплексов совместно с ядерными энергетическими установками, размещёнными на космических аппаратах**

В России в настоящее время отсутствуют штатно используемые космические средства радиолокационного наблюдения, космические аппараты которых оснащены высокоинформативными радиолокационными комплексами (ВРЛК) землеобзора. В стадии опытно-конструкторской разработки находится целый ряд таких средств, выполняемых различными кооперациями исполнителей ОКР в интересах различных групп потребителей в рамках государственных программ или на принципах государственно-частного партнерства.

В состав космических аппаратов серии «Метеор-М» № 2 космической системы гидрометеорологического и океанографического обеспечения двойного назначения «Метеор-3М» (головной исполнитель ОКР: АО «Корпорация «ВНИИЭМ») планируется включить бортовой радиолокационный комплекс (БРЛК), разрабатываемый ФГУП «РНИИРС» (г. Ростов на Дону).Согласно ТТЗ на создание космической системы «Метеор-3М», утвержденному руководителями Роскосмоса и Минобороны России, основным предназначением системы является обеспечение подразделений Росгидромета, соответствующих служб Вооруженных Сил Российской Федерации, а также других ведомств оперативной гидрометеорологической информацией и океанографическими данными о состоянии акватории Мирового океана. Океанографическая составляющая включает, в числе прочего, мониторинг ледовой обстановки в полярных районах, выявление зон и определение параметров штормовых волн и тропических циклонов, другую информацию, необходимую для решения оперативно-тактических и стратегических задач Военно-морского Флота:

- обеспечения эффективного функционирования российских морских стратегических ядерных сил,

- надежной защиты протяженной морской государственной границы,

- присутствия ВМФ на пространствах Мирового океана с целью закрепления военно-экономических интересов и геополитических позиций России в этих районах.

В соответствии с ТТЗ на ОКР «Метеор-3М» радиолокационная аппаратура КА серии «Метеор-2» должна обеспечивать в наиболее информативном режиме пространственное разрешение 500 м в полосе обзора шириной 600 км. В настоящее время рассматривается вопрос о возможности изготовления экспериментального образца БРЛК в сроки, позволяющие оснастить таким образцом КА «Метеор-М» № 2-2, запуск которого планируется в декабре 2017 г. Штатные образцы, изготовленные с соблюдением требований Положения РК-11-КТ в полном объеме и гарантированно обеспечивающие выполнение всех требований ТЗ к этой аппаратуре, будут включены в состав КА «Метеор-М» № 2-3 (2020 г.) и № 2‑4 (2021 г.). Учитывая гарантированный пятилетний срок активного существования на рабочей орбите, заданный в ТТЗ, ожидается, что космические аппараты «Метеор-М» № 2-2, 2-3 и 2-4 будут функционировать не менее чем до 2022, 2025 и 2026 года соответственно.

Вследствие низкого пространственного разрешения на местности такой радиолокатор далеко не в полном объеме способен удовлетворять требованиям даже основного (гидрометеорологического) назначения системы «Метеор-3М». Возможность эффективного привлечения радиолокационной аппаратуры, функционирующей в составе КА серии «Метеор-М» № 2, к решению задач освещения обстановки в Мировом океане весьма ограничена вследствие недостаточного пространственного разрешения, которое обеспечивает эта аппаратура, и отсутствия каналов оперативной передачи полученной информации потребителям. Тем не менее это разрешение в несколько раз лучше, чем у радиолокационной аппаратуры штатных космических средств мониторинга океанских (морских) акваторий («УС-А» и «УС-АМ»), которые достаточно успешно решали аналогичные задачи в 80-е годы прошлого столетия.

По радиоканалам, функционирующим в дециметровом (1,69–1,71 Гц) и сантиметровом (8,025–8,4 ГГц) диапазоне со скоростью 665,4 Кбит/с и 122,88 Мбит/с соответственно, радиолокационная информация, полученная с использованием КА серии «Метеор-М» № 2, может быть сброшена на Центральный или Восточный георазведывательные центры приема и обработки космических данных ГРС ВМФ в зоне их радиовидимости. Реализация организационно-технических мероприятий по информационному сопряжению БРЛК космических аппаратов серии «Метеор-М» № 2 с наземной инфраструктурой Военно-морского Флота позволит не только отрабатывать технологию и методы применения данных, ожидаемых в дальнейшем от более информативных космических комплексов, но и решать с приемлемой эффективностью ряд практических задач, выполняемых ВМФ.

Начиная с 2026 г. планируется введение в штатную эксплуатацию более совершенного гидрометеорологического космического комплекса мониторинга Земли и космической системы четвертого поколения «Метеор-МП» на его основе. Космические аппараты этой системы призваны заменить КА серии «Метеор-2».

На базе инженерно-технических и технологических заделов, накопленных АО «ВПК «НПОмаш» и его соисполнителями в процессе создания космического комплекса «Кондор-Э», в рамках ФКП-2025 предусмотрено создание космического комплекса «Кондор-ФКА». Летные испытания образца планируется начать в 2021 г. Тактико-техническим заданием на выполнение ОКР предусмотрена возможность создания орбитальной группировки в составе двух КА с гарантированным сроком активного существования 5 лет. Радиолокационный комплекс, который входит в состав КА, должен обеспечивать:

- в детальном кадровом режиме наблюдения: разрешение не хуже 1–2 м в пределах кадра 10 × 10 км;

- в обзорном маршрутном режиме: разрешение 6–12 м при полосе захвата 90–100 м.

Однако ограниченные ресурсы располагаемой массы малого космического аппарата и ряд устаревших технических решений (эскизный проект комплекса разработан в 1997 г.) существенно снижают уровень его информативных характеристик и сужают область эффективного применения. Создание и штатное использование комплекса оправдано, прежде всего, в период до появления более результативных штатных космических средств радиолокационного наблюдения, разработка которых может затянуться в связи с необходимостью решения новых для отечественной промышленности сложных технических и технологических проблем.

В стадии опытно-конструкторской разработки находится три перспективных высокоинформативных многофункциональных комплексов радиолокационного землеобзора, выполняемых различными кооперациями исполнителей ОКР в рамках государственных программ или на принципах государственно-частного партнерства

- космический комплекс радиолокационного оперативного наблюдения «Обзор-Р»;

- космические аппараты радиолокационного мониторинга объектов газовой отрасли «Смотр-Р1» и «Смотр-Р2», входящие в состав космического комплекса «Смотр» (подсистемы «Арктика-Р»);

- космическая система радиолокационного наблюдения «Аракс-Р».

В рамках ФКП-2025 предусмотрено проведение ОКР «Обзор-Р» по созданию космического комплекса радиолокационного наблюдения Земли и космической системы на его основе. Запуск двух КА «Обзор-Р» на рабочие орбиты планируется в 2021 и 2023 г. соответственно. Целевые характеристики и функциональные возможности РЛК «Касатка-Р», который входит в состав этого комплекса, близки к аналогичным характеристикам РЛК «ЭЛСАР» за исключением меньшего срока активного существования (5 лет), более низкой обнаружительной способности и отсутствия средств обработки данных на борту КА. Комплекс предназначен для использования в интересах решения задач МЧС России, Минсельхоза, Росреестра, Росгидромета и других потребителей высокоинформативных радиолокационных данных.

Еще одна космическая система высокоинформативного радиолокационного наблюдения в составе 5 КА создается в рамках ГПВ для решения специальных задач контроля земной поверхности. Действующие в настоящее время документы предусматривают запуск КА № 1 в 2019 г., КА № 2 в 2020 г., КА № 3 в 2021 году, КА № 4 в 2022 г. и КА № 5 в 2023 г. Срок активного существования КА – 7 лет.

По заказу ОАО «Газпром космические системы» на коммерческой основе, но при научно-техническом сопровождении со стороны Роскосмоса предусмотрено создание радиолокационного сегмента системы «Смотр» (подсистемы КС «Арктика-Р»), предназначенной для спутникового мониторинга объектов газовой промышленности Российской Федерации. Заказчик рассматривает как вариант закупки программно-технических средств радиолокационного комплекса за рубежом, так и вариант разработки этих средств в России. Специфика организации работ по реализации проекта затрудняет получение ФГУП ЦНИИмаш достоверной информации по этому вопросу и осуществление научно-технического сопровождения ОКР. Однако анализ технического задания на радиолокационную аппаратуру для КА подсистемы «Арктика-Р» показывает, что требования к ней по назначению аналогичны требованиям, которые предъявляются к образцам, создаваемым для использования в составе КА океанографического обеспечения «Метеор‑М» № 3 (ОКР «Метеор-3М»), КА радиолокационного наблюдения (ОКР «Обзор-Р») и КА радиолокационного наблюдения специального назначения (ОКР «Аракс-Р»).

Начиная с 2020 года, в интересах Минобороны России и Росгидромета в рамках ФКП-2025 предусмотрено проведение ОКР «Океан» по созданию океанографического космического комплекса мониторинга Земли нового поколения и космической системы на его основе в составе 1–2 КА. Предполагается, что комплекс будет оснащен набором целевой аппаратуры расширенного (по сравнению с прототипом – КК «Метеор-М» № 3) состава и с более высокими измерительными характеристиками. Однако анализ предварительных требований тематических заказчиков к информативным характеристикам океанографического РЛК, который входит в состав целевой аппаратуры, показывает, что эти требования удовлетворяются образцом, создаваемым для использования в составе КА предыдущего поколения («Метеор-М» № 3). Начало наземной экспериментальной отработки космических аппаратов системы запланировано на 2023 г. Срок окончания ОКР не определен.

Рассмотрение проектов, реализуемых в настоящее время или предусмотренных к реализации в рамках действующих программ, показывает, что тактико-технические требования к информативным характеристикам всех четырёх разрабатываемых перспективных многорежимных образцов РЛК, также как и образца РЛК, планируемого к разработке, начиная с 2020 г., в рамках ОКР «Океан», либо близки, либо полностью совпадают между собой. Это совпадение вызвано объективными обстоятельствами. Современная радиолокационная аппаратура землеобзора, использующая технологию АФАР, способна оперативно (за несколько миллисекунд) и в любых необходимых пределах адаптировать параметры режима съемки к специфике очередной решаемой задачи. Способность реализуется за счет «размена» улучшения одних характеристик на ухудшение других, менее значимых в данном конкретном применении. Поэтому требования к перспективным образцам РЛК определяются не столько назначением космического комплекса, в составе которого их планируется использовать, сколько современными возможностями отечественной промышленности. Её кадровый потенциал, экспериментальная и производственная база, не в полной мере восстановившиеся после кризиса 90-х годов прошлого века, в дополнение к этому оказались распыленными между несколькими кооперациями исполнителей почти идентичных изделий.

Исследования, проведенные в ФГУП ЦНИИмаш с участием научных учреждений РАН и ведомств – потенциальных потребителей радиолокационных данных, показали, что обширный сегмент актуальных задач ДЗЗ как гражданского, так и военного характера требует для своего эффективного решения данных, полученных не только в коротковолновом (Х), но также и в длинноволновых (L и Р) диапазонах зондирующего излучения, или комплексного анализа информации, полученной во всех трёх существенно разнесенных (X, L и Р) диапазонах. Проникающая способность длинноволнового излучения позволяет выделять и дешифрировать объекты или различные пространственно-неоднородные структуры, расположенные в подповерхностном слое Земли или замаскированные естественными и искусственными покровами. Длинные волны по иному, чем в Х-диапазоне, взаимодействуют с веществом и микрорельефом поверхности наблюдаемых объектов, позволяя получить обширные дополнительные данные о их физических характеристиках. Совместная обработка данных, полученных в нескольких диапазонах, снимает часто имеющую место неоднозначность интерпретации результатов дешифрирования одночастотных радиолокационных изображений. Существует ряд приоритетных задач (в частности, синхронное обнаружение в широкой полосе захвата и детальное портретирование судов в акватории Мирового океана), решение которых на приемлемом уровне эффективности объективно невозможно при использовании одночастотного радиолокационного комплекса землеобзора.

Анализ современного состояния рынка продуктов и услуг радиоло­кационного зондирования Земли из космоса показывает, что спрос на данные, получаемые в ближнем дециметровом L-диапазоне с использованием единственного источника – КА ALOS-2 (Япония), во много раз превышает предложение. Ниша продукции зондирования Земли из космоса в дальнем дециметровом диапазоне вообще не занята в настоящее время: запуск первого КА, оснащенного радиолокатором Р-диапазона, (Biamass, EKA) ожидается не ранее 2021 г. С учётом высокой потребительской ценности данных, получаемых синхронно как в сантиметровом (Х), так и в дециметровых (L и Р) диапазонах, можно утверждать, что своевременное создание космического аппарата многочастотного радиолокационного наблюдения позволит России занять лидирующую роль в обеспечении такими данными потенциальных потребителей (как российских, так и зарубежных). Будет облегчено ведение конкурентной борьбы, расширены возможности осуществления кооперации с зарубежными партнерами. Проведение в рамках ФКП-2025 ОКР «Обзор LP» по созданию космического комплекса многочастотного радиолокационного наблюдения и космической системы на его основе (начало ОКР – 2024 г.) следует рассматривать как первый этап освоения этого перспективного направления развития средств ДЗЗ.

Эффективное решение целого ряда актуальных задач, прежде всего – военного, но также и гражданского (мониторинг чрезвычайных ситуаций, контроль ледовой обстановки в приполярных акваториях и др.) характера требует высокой периодичности обновления данных, которая в полной мере недостижима в рамках использования каждой из создаваемых космических систем в отдельности. Увеличение численности орбитальной группировки радиолокационных средств, функционирующих только в интересах информационного обеспечения ВС РФ, с целью довести характеристики периодичности контроля объектов до уровня, требуемого в период военной активности, представляется неоптимальным способом решения проблемы. Такой вариант решения проблемы вынуждает пропорционально увеличивать финансовые затраты на поддержание расширенной орбитальной группировки, дополнительно ограничивается реальными производственными мощностями космической промышленности и характеризуется низкой степенью использования ресурса потенциальной производительности группировки.

В случае полного и своевременного выполнения сформированных к настоящему времени планов и программ, орбитальная группировка специализированных средств высокоинформативного радиолокационного наблюдения к 2023 г. будет насчитывать 10 космических аппаратов, создаваемых в рамках четырех нескоординированных между собой ОКР. Интеграция этих КА в единую систему и оптимизация баллистической структуры объединённой группировки КА позволили бы полностью удовлетворить требования потребителей к оперативности выхода в требуемый район наблюдения и периодичности его контроля.

Между тем все создаваемые в настоящее время отечественные комплексы и системы предусматривают размещение КА радиолокационного наблюдения в одной и той же плоскости: на солнечно-синхронной «рассветно-сумеречной» орбите, расположенной вблизи линии терминатора. Такое расположение КА облегчает функционирование бортовой системы электропитания спутников, но не позволяет улучшить показатель периодичности наблюдения, реализуемой с необходимой вероятностью (не менее 0,8–0,9), за счет увеличения численности орбитальной группировки. При любом количестве КА в такой группировке этот показатель не может быть лучше 10,5–11,0 час. Исключается и контроль объектов в ночное время. Требование обеспечить эффективное функционирование КА радиолокационного наблюдения на орбите с любой ориентацией относительно направления на Солнце потребует незначительной доработки технического облика изделий, которые находятся в настоящее время на начальном этапе создания, но качественно повысит целевую и экономическую отдачу от эксплуатации объединённой системы.

В таблице 7 приведены создаваемые российские КК радиолокационного назначения и их тактико-технические характеристики.

Таблица 7 – Создаваемые российские КК радиолокационного назначения и их тактико-технические характеристики

| №  п/п | Наименование | «Кондор-ФКА» | «Метеор-М»  № 2-3, 2-4 | «Океан»  №1-2 | «Обзор-Р» | «Смотр-Р»  № 1, 21) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|  | Внешний вид КА | Z:\GVS\Work\Кондор-Э\Картинки\Новый_2.tif | C:\Users\User-\Desktop\Рисунок1 2.jpg | C:\Users\GusevAA\Desktop\НТС2\m3-2-1.png | D:\Оксана\Видео\Обзор\обзор открытый1.tif | Определится по результатам конкурса |
| 1 | Назначение КС | социально-эконмическое | двойное назначение | двойное назначение | социально-эконмическое | социально-эконмическое |
| 2 | Сроки выполнения ОКР | 2015–2021гг | 2016–2021гг | 2012–2023гг | 2013–2023гг | 2017–2023гг |
| 3 | Головной исполнитель ОКР | АО«ВПК «НПОмаш» | АО «Корпорация «ВНИИЭМ» | АО «Корпорация «ВНИИЭМ» | АО «РКЦ «ПРОГРЕСС» | Определится по результатам конкурса |
| 4 | САС КА, лет | 52) | 5 | 7 | 5 | 10 |
| 5 | Количество КА в группировке | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 6 | Тип антенного устройства | Зеркальная антенна с волноводным облучателем | АФАР | АФАР | АФАР | АФАР |
| 7 | Размеры антенного устройства, м | ∅ 6 | 13,4 × 0,25 | 6,0 × 1,7 | 4 × 1,5 | Определится  по результатам конкурса |
| 8 | Полоса рабочих частот, МГц | 200 | 5 | 380 | 300 | 500 |
| 9 | Диапазон частот РЛК | S | Х | Х | Х | X |
| 10 | Пространственное разрешение в высокодетальном режиме, м | 1–2 | 500 | не хуже 1 | не хуже 1 | не хуже 1 |
| 12 | Радиометрическая чувствительность в высокодетальном режиме, дБ | -22 – -20 | - 20 – -25 | -20 – -16 | -20 – -16 | -19 – -27 |
| 13  Продолжение таблицы 7 | Поляризация2,4) | ДПР-ГГ,  ДНР-ГГ или ВВ  ОР-ВВ | В/В | ГГ, ВВ, ВГ, ГВ,  ВВ+ВГ, ГГ+ГВ | ГГ, ВВ, ВГ, ГВ,  ВВ+ВГ, ГГ+ГВ | ГГ, ВВ |
| 14 | Точность определения абсолютной величины ЭПР, дБ | 1–3 | – | 1 | 1,5–2,0 | 1,5–2,0 |
| 15 | Время работы РЛК на витке, мин | до 10 | до 10 | до 10 | до 10 | до 10 |
| 16 | Производительность КА в высокодетальном режиме,  в сутки, км2 | 100005) | 106 | 10 0006) | 10 0006) | 10 0006) |
| 17 | Головной разработчик РЛК | АО « Концерн радиостроенияВега» | ФГУП «РНИИРС» | АО «РТИ им Минца» | АО «НИИ ТП» | Определится по результатам конкурса |
| 18 | Основные соисполнители в части разработки РЛК | АО «ОКБ «МЭИ»  АО  «НПП Исток» | \_ | АО  «НПП «Пульсар» | ЗАО «НПФ  «Микран» | Определится по результатам конкурса |
| 19 | Наземный калибровочный радиолокационный комплекс | Волгоградская область  (создается) | Ростовская область  (создается) | Ростовская область  (создается) | Краснодарский Край  (создается) | (создается) |
| 20 | Наличие безэховой камеры у головного разработчика РЛК | есть | есть | создается | есть | создается |

Примечания:

1 Характеристики носят предварительный характер.

2 Поляризация: В - вертикальная, Г – горизонтальная (в числителе – излучаемого сигнала, в знаменателе – принимаемого сигнала)

3 Ограничена характеристиками механического перенацеливания крупногабаритного устройства и пропускной способностью каналов передачи полученной информации на Землю.

4 ДПР – детальный прожекторный режим; ДНР – детальный непрерывный режим; ОР – обзорный режим

5 Согласно ТТЗ (САС двух экспериментальных предшественников серийного КА составил 1,5 года и 4 месяца соответственно)

6 Ограничивается пропускной способностью каналов передачи полученной информации на Землю

7 Рассматривается вопрос о передаче в ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина роли головного разработчика РЛК.

1. **Анализ существующих и создаваемых перспективных космических систем радиолокационного наблюдения**

1. Все перспективные КС РЛН базируются на технологии АФАР.

2. Обширный сегмент актуальных задач ДЗЗ как гражданского, так и военного характера требует для своего эффективного решения данных, полученных не только в коротковолновом (Х), но также и в длинноволновых (L и Р) диапазонах зондирующего излучения, или комплексного анализа информации, полученной во всех трёх существенно разнесенных (X, L и Р) диапазонах.

3. Обеспечение высокой периодичности, а тем более, непрерывности наблюдений с помощью низкоорбитальных КА является серьезной проблемой, связанной с необходимостью развертывания КС РЛН, состоящей из большого количества (до нескольких десятков) КА.

4. Глобальность наблюдений во исполнение задач всепогоного радиолокационного наблюдения Земли возможно с геосинхронных орбит.

5. Максимальная мощность потребления бортовой аппаратуры наблюдения КА с использованием солнечных энергетических установок (СЭУ) составляет в настоящий момент не более 16 кВт с последующим увеличением к 2030 г. до 500 кВт более.

6. Используемые в настоящее время на КА солнечные энергетические установки являются сдерживающим фактором для создания перспективных космических средств радиолокационного наблюдения. Система электропитания (СЭП) на основе СЭУ обладает рядом существенных недостатков, очевидных, прежде всего для систем энергоснабжения высокой мощности. К основным недостаткам СЭУ можно отнести:

- возможность существенного повышения необходимой электрической мощности только путем увеличения габаритных размеров панелей солнечных батарей;

- зависимость вырабатываемой мощности от расположения Солнца;

- наличие деградации, приводящей к падению вырабатываемой мощности в течение срока активного существования КА.

4. Учитывая отмеченные требования к энергоисточнику, а также выполнение задач, решаемых с использованием КС РЛН диктует безальтернативное использование ядерных источников энергии при том, что разработка средств РЛН следующего поколения должна предусматривать:

- увеличение времени экспозиции и времени непрерывной работы на витке;

- повышение разрешающей способности и увеличение полосы захвата;

- повышение информативности радиолокационных снимков;

- использование различных диапазонов частот и поляризаций РСА;

- повышение помехозащищенности работы;

- увеличение ресурса работы аппаратуры.

1. **Определение ключевых параметров характеристик космической системы радиолокационного наблюдения с БВРЛК.**

Анализ содержания и рациональных способов эффективного решения основных классов задач радиолокационного землеобзора показал, что в случае необходимости ограничиться созданием одночастотной аппаратуры наблюдения выбор наиболее коротковолнового из возможных в космических приложениях Х-диапазона с длиной волны λ ≈ 3,1 см является оптимальным. Именно в этом диапазоне с высокой или приемлемой эффективностью решается наибольшая часть задач упомянутых в Приложении А. В частности, в этом диапазоне:

достигается наилучшее значение пространственного разрешения по координате дальности, которое в первую очередь зависит от ширины полосы частот зондирующего сигнала и в этом диапазоне имеет максимальное (разрешенное Регламентом радиосвязи) значение, равное 600 МГц;

для достижения одинакового разрешения в азимутальном направлении требуется (по сравнению с более длинноволновыми диапазонами: C, S, L, P, VHF) минимальное время синтезирования искусственной апертуры; соответственно уменьшаются отклонения реальных значений параметров движения КА-носителя радиолокационной аппаратуры от расчетных, которые приводят к расфокусировке синтезированного радиолокационного изображения;

минимизируются значения дисперсионных искажений в ионосфере, которые также являются источником расфокусировки изображения;

космические радиолокаторы с синтезированной апертурой, основанные на использовании технологии активных фазированных антенных решеток (АФАР), имеют, при прочих равных условиях, минимальные габаритные размеры и массу;

обеспечивается наилучшая точность определения радиальной скорости подвижных объектов и наиболее низкий порог селектирования этих объектов.

Более коротковолновый (Кu) диапазон с длиной волны ≈ 2,1 см, хотя и разрешен к применению Регламентом радиосвязи, вполне обоснованно не используется в радиолокаторах космического базирования, так как не обладает всепогодностью. Потери в гидрометеорах атмосферы и шум, генерируемый в них, резко возрастают в этом диапазоне и приводят к недопустимому понижению информативности получаемых данных.

Тем не менее, обширный сегмент актуальных задач наблюдения требует реализации радиолокационной диагностики в более длинноволновых (дециметровых) диапазонах: L (λ ≈ 23 см) и Р (λ ≈ 67 см) или комплексного анализа информации, полученной в двух существенно разнесенных X- и L‑диапазонах. В перспективе – по мере совершенствования методов ослабления негативного влияния неоднородности и нестабильности ионосферы на качество радиолокационного изображения, полученного с использованием длинноволнового зондирующего излучения, а также методов формирования трехмерных изображений подповерхностных структур, номенклатура эффективно решаемых задач может быть дополнительно расширена за счет освоения метрового (VHF, λ ≈ 210–220 см) диапазона зондирующего излучения.

Проникающая способность радиолокационного сигнала, возрастая по мере увеличения длины волны, позволяет в этих диапазонах выявлять и дешифрировать объекты и пространственно-неоднородные структуры различного происхождения (в том числе, бункеры, скрытые коммуникации, и тайники снаряжения), под растительным покровом, снегом, льдом, специальными средствами маскировки, в подповерхностном слое почвы и наносных отложений, в осадочных, многолетнемерзлых и даже коренных породах.

Эту зависимость иллюстрирует, в частности, таблица **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, в которой приведены усредненные значения удельной эффективной поверхности рассеяния (УЭПР) для травяного и лесного покрова земной поверхности в Х-, L- и VHF-диапазонах зондирующего излучения и значения контраста между изображениями элементов этих двух покровов для случая согласованной вертикальной поляризации излучения. Если УЭПР лесного покрова остается практически неизменной в диапазоне 3 см – 2,5 м, оставаясь на уровне -11 – ‑12 дБ, то УЭПР травяного покрова снижается с -12 дБ до -28 дБ. В результате контраст элементов, определяющий возможность и вероятность их дешифрирования, возрастает с практически неразличимого на фоне шумов яркости изображения (≈ 1 дБ) в Х-диапазоне до 12 дБ в L-диапазоне и до 16 дБ в VHF диапазоне зондирующего излучения. Все это позволяет получать обширные дополнительные данные о физических и геометрических характеристиках, о пространственной структуре и о состоянии изучаемых объектов.

Как следствие упомянутых факторов, совместная обработка радиолокационной информации, полученной от КА, оснащенного радиолокатором X диапазона, и от КА, в составе которого функционирует радиолокатор ближнего (L) диапазона (или от КА, оснащенного двухчастотным радиолокатором Х- и L-диапазонов), позволила бы устранить часто имеющую место неоднозначность интерпретации результатов диагностики объектов, качественно повысить степень дешифрируемости сюжетов, целевую и экономическую отдачу от эксплуатации создаваемых космических комплексов землеобзора.

Анализ спроса и предложения на рынке продуктов и средств радиоло­кационного зондирования Земли из космоса показывает, что подавляющее большинство радиолокационных комплексов, эксплуатируемых в настоящее время, функционирует в сантиметровых X- или С-диапазонах электромагнитного излучения. Данные, получаемые с использованием КА ALOS-2 (Япония) в L-диапазоне, являются пока единственным исключением. Спрос на такие данные во много раз превышает, и в среднесрочной перспективе будет по-прежнему превышать предложение.

С учетом высокой потребительской ценности данных, получаемых в процессе многочастотного зондирования, можно утверждать, что своевременное создание космического аппарата ДЗЗ, оснащенного бортовым радиолокационным комплексом (БРЛК) Х- и L-диапазонов, позволит России занять лидирующую роль в области обеспечения научной и хозяйственной деятельности потенциальных потребителей, полученных данных как внутри страны, так и за рубежом. Будет облегчено ведение конкурентной борьбы, расширены возможности осуществления кооперации или координации с зарубежными партнерами.

Вариант радиолокатора, функционирующего в Р-диапазоне зондирующих частот, на этапе НИР не рассматривался. Трудности реализации еще более крупногабаритной антенны размером не менее 60 × 60 м и низкое пространственное разрешение, которое может быть реализовано в рамках полосы частот, разрешенной в настоящее время Регламентом радиосвязи (6 МГц), затрудняет эффективное использование преимуществ этого диапазона:

- проникающей способностью длинноволнового электромагнитного излучения,

- дополнительными дешифрирующими возможностями, связанными со спецификой отражения такого сигнала от неровностей зондируемой поверхности и с рядом других факторов, повышающих информативность радиолокационной продукции, получаемой в этом диапазоне.