

Р.Б. Шевчук (ОАО «НИИ ТП»)

В 2002 г. окончил Московский авиационный институт, факультет «Радиоэлектроника ЛА». В настоящее время — начальник отделения по созданию наземных спутниковых систем ОАО «НИИ ТП».

Комплексы приема информации с российских спутников ДЗЗ

Системы передачи целевой информации с космических аппаратов (КА) ДЗЗ, включающие в свой состав бортовые и наземные средства приема, обработки, оперативного хранения, передачи по каналам связи, постоянно развиваются и совершенствуются. Совершенствование космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в основном определяется увеличением разрешающей способности аппаратуры наблюдения, что приводит к развитию производительности аппаратуры КА ДЗЗ и эффективности функционирования бортовой и наземной аппаратуры радиолиний, оперативности регистрации и хранения.

Тенденции развития технологии ДЗЗ определяют требования к бортовой аппаратуре системы передачи целевой информации и высокоскоростной радиолинии (ВРЛ), что требует модернизации бортовой и наземной аппаратуры высокоскоростной радиолинии (НА ВРЛ). Имеющиеся эксплуатируемые наземные станции приема информации ДЗЗ как системы длительного использования, приспособленные для работы с различными существующими КА ДЗЗ, должны иметь возможность осуществлять прием вновь запускаемых КА. Поэтому ОАО «НИИ ТП» ставит перед собой цель обеспечить прием информации на вновь создаваемые унифицированные комплексы приема информации (КПИ), передаваемой со всех российских КА ДЗЗ типа «Ресурс», «Метеор», «Канопус» и частично зарубежных, имеющей оперативную, научную или коммерческую цен-

ность для потребителей в России и за рубежом.

Из расчета энергетического бюджета радиолиний и опыта эксплуатации КПИ по обслуживанию КА ДЗЗ в настоящее время в отечественной орбитальной группировке присутствуют 2 типа КА:

- КА с ВРЛ разработки ОАО «НИИ ТП» типа «Ресурс» с ЭИИМ 35 дБВт и скоростью передачи на одной несущей 150 Мбит/с.
- КА с ВРЛ разработки ОАО «РКС» с ЭИИМ 16 дБВт и скоростью передачи на одной несущей до 122,88 Мбит/с.

Первую группу (КА типа «Ресурс») возможно обслуживать антеннами, имеющими диаметр рефлектора от 2,4 м, вторую группу («Метеор», «Канопус») можно обслуживать только антенными системами, имеющими диаметр рефлектора от 9 м. Исходя из этого российские унифицированные КПИ (разработки ОАО «НИИ ТП») должны иметь возможность принимать информацию в метровом, дециметровом (L), сантиметровом (X) диапазонах частот, с правой и левой поляризацией, по нескольким каналам приема, со скоростями до 153 МБ/с по одному каналу, с достоверностью не хуже 10-6.

Унифицированный КПИ обеспечивает решение следующих задач:

- прием установочной информации (режимы работ, несущие частоты, виды демодуляции и т.п. для организации проведения сеанса связи);
- получение баллистических данных об обслуживаемых КА (например, формат TLE);

- пересчет в координаты антенной подсистемы и формирование опорной траектории движения антенны, формирования сигналов для управления приводами антенны с целью наведения антенн, организации вхождения в связь с КА и его сопровождения в зоне радиовидимости (программного, автосопровождения);
- прием, усиление, конвертирование высокочастотного сигнала;
- демодуляция, дифференциальное декодирование, синхронизация, дескремблирование, декодирование помехоустойчивого кода, восстановление структуры бортового информационного потока, дешифрирование средствами СКЗИ (при необходимости);
- проведение контроля качества приема информации;
- переформатирование потока и выдачи в комплекс обработки информации.

Структурная схема унифицированного комплекса приема информации приведена на рис. 1.

Важной особенностью цифровых каналов передачи данных в системах ДЗЗ является достоверность информации на выходе тракта ВРЛ, выражаемая средней вероятностью ошибки на бит информации. Передача данных ДЗЗ считается эффективной, если вероятность ошибки Рош не превышает 10⁻⁶. Полученный и экспериментально опробованный уровень качества информации Рош > 10⁻⁸. Данное значение получено при эксплуатации на объектах аппаратуры приема и демодуляции ОАО «НИИ ТП» информации от ДЗЗ при работе с КА типа «Ресурс-ДК», Terra, Aqua и других КА.

Дополнительный выигрыш по энергетическому потенциалу достигается использованием помехоустойчивого кодирования в тракте передачи целевой информации и дает возможность расширять круг потенциальных потребителей, передавая информацию в наземные станции разного уровня исполнения (использование антенных систем с различным диаметром зеркала). Основное преимущество систем связи, использующих кодирование, состоит в том, что эффективность использования каналов оказывается во много раз более высокой по сравнению с тем, когда коды не используются. Мерой роста эффективности обычно выбирается энергетический

выигрыш кодирования (ЭВК), который указывает, на сколько можно снизить удельную энергетичность канала, т.е. отношение средней энергии передачи одного бита данных к спектральной плотности шума Eb/No при использовании некоторых методов кодирования и декодирования по сравнению с их отсутствием, чтобы обеспечить сохранение требуемой достоверности, которая необходима в данной системе. Способность кодов обеспечивать высокодостоверную передачу данных при небольшом уровне сигнала позволяет снизить мощность передатчиков и минимизировать размеры аппаратуры или существенно уменьшить размеры антенн. Практически величина ЭВК может достигать 5–8 дБ и более. Из российских космических аппаратов только космические аппараты типа «Ресурс» имеют режим передачи с использованием помехозащищенного кодирования.

Существующие комплексы, как в России, так и за рубежом с учетом единых тенденций в развитии техники в области приема информации ДЗЗ могут быть доработаны для обеспечения приема информации с КА типа «Ресурс», «Метеор», «Канопус».

С учетом большой стоимости поставки комплекса в целом и того, что компании специализирующиеся на приеме информации ДЗЗ уже обладают определенным парком антенных систем различного диаметра, наиболее предпочтительным вариантом доработки является сопряжение с устройством синхронизации и регистрации информации с российских спутников.

На данный момент в России отсутствуют решения о применении тех или иных стандартов, регламентирующих параметры радиосигналов и структуры информации при передаче с КА ДЗЗ. Для оптимального решения такой задачи устройство синхронизации и регистрации информации, разработанное ОАО «НИИ ТП», позволяет расширять группировку принимаемых КА путем оперативного перепрограммирования. В настоящее время обеспечивается прием с КА типа «Ресурс», «Канопус», «Метеор», Terra, Aqua, RADARSAT, Envisat.

Ниже приводится обзор приемных комплексов, созданных ОАО «НИИ ТП», и их технические возможности, которые могут быть актуальны в зависимости от требований заказчика.

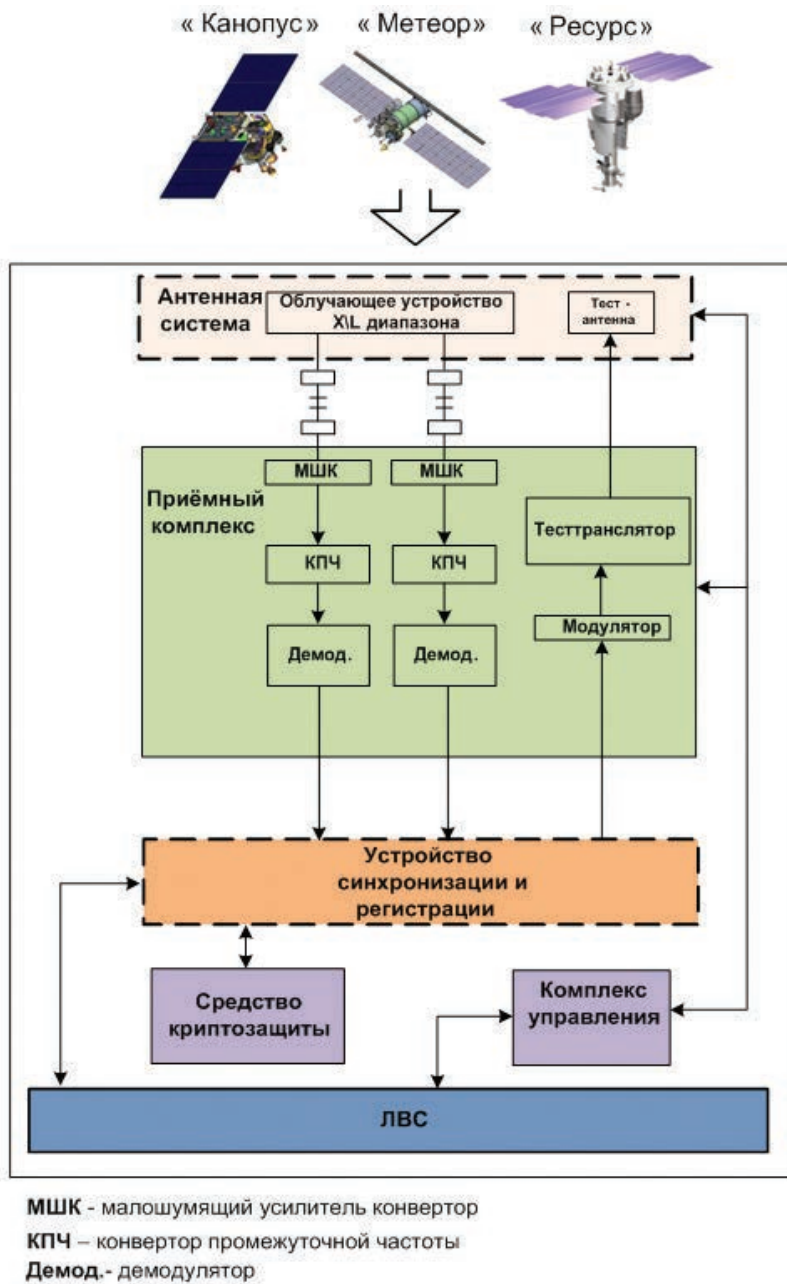


Рис.1. Структурная схема унифицированного комплекса приема информации с российских спутников

Комплекс приема информации дистанционного зондирования земли на базе антенны с офсетным рефлектором 2,4



Стационарное исполнение антенной системы



Мобильное исполнение антенной системы

Технические характеристики комплекса приема информации

Параметры	Значение
Антенный комплекс	
Офсетный рефлектор, D, м	D= 2,4
Схема построения опорно-поворотного устройства	азимутально-угломестная с третьей осью*
Диапазон рабочих углов: - по азимуту, град - по углу места, град	± 270 от 0 до 85 (до 90 с третьей осью)*
Максимальные скорости наведения: - по азимуту, градус/с - по углу места, градус/с (не менее)	20 10
Суммарная погрешность наведения, угл.мин. (не более)	6
Функционирование при максимальной скорости ветра, м/с	25
Габариты (ШхВхГ) (м)	4х4, 2х4
Масса (кг)	1200
Материал рефлектора	Алюминиевый сплав с порошковым покрытием
Радиопрозрачное укрытие (РПУ)	Используется без РПУ
X диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	8,0 — 8,40
Поляризация	Правая и левая

>Продолжение

Коэффициент усиления, дБ	43
Диапазон несущих частот, ГГц	8,035 – 8,380
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK
Скорость приема и регистрации, Мбит/с	До 160 по каждому из приемных каналов
Объем памяти накопителя, Тбайт	6
Режим работы	Ручное наведение Программное наведение Режим коррекции траектории по сигналу КА
L диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	1,6-1,7
Поляризация	Правая
Коэффициент усиления, дБ, не менее	27
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK, DBPSK, DQPSK
Скорость приема и регистрации, Мбит/с	0,256-2,56
Объем памяти накопителя, Тбайт	2
Интерфейс выходной информации	Ethernet 100/1000
Типы принимаемых КА	Ресурс, Метеор (L-диапазон), Terra, Aqua, Aura, Spot

Комплекс приема информации дистанционного зондирования земли на базе антенны с рефлектором 5 м



Стационарное исполнение антенной системы под РПУ



Технические характеристики мобильного комплекса приема информации

Параметры	Значение
Антенный комплекс	
Рефлектор, D, м (схема Кассегрена)	D= 5
Схема построения опорно-поворотного устройства	Азимутально-угломестная с третьей осью*
Диапазон рабочих углов:	
- по азимуту, град	± 270
- по углу места, град	от 5 до 85 (до 90 с третьей осью)*

>Продолжение

Максимальные скорости наведения: - по азимуту, градус/с - по углу места, градус/с (не менее)	20 10
Максимальные ошибки наведения по азимуту и углу места: - по азимуту, угловые минуты - по углу места, угловые минуты	2 4
Функционирование при максимальной скорости ветра, м/с	25 (обеспечивается РПУ)
Габариты (ШхВхГ) (м)	8х8х8 – определяется РПУ
Масса (кг)	2300
Материал рефлектора	Углепластик, структура - стеклосоты
Радиопрозрачное укрытие (РПУ)	Используется с РПУ
X диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	8,0-8,40
Поляризация	Правая и левая
Коэффициент усиления, дБ	47
Диапазон несущих частот, ГГц	8,035-8,380
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 16APSK
Скорость приема и регистрации, Мбит/с	до 600 (300 по одному каналу)
Объем памяти накопителя, Тбайт	8
Режим работы	Ручное наведение Программное наведение Режим автосопровождения по сигналу КА
L диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	1,6-1,7
Поляризация	Правая
Коэффициент усиления, дБ	27
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK, DBPSK, DQPSK
Скорость приема и регистрации, Мбит/с	0,256-2,56
Объем памяти накопителя, Тбайт	2
Интерфейс выходной информации	Ethernet 100/1000
Типы принимаемых КА	Ресурс, Метеор (L-диапазон), Terra, Aqua, Aura, Spot, Envisat

Комплекс приема информации дистанционного зондирования земли на базе антенны с рефлектором 4,8 м

Стационарное исполнение антенной системы
Технические характеристики мобильного комплекса приема информации

Параметры	Значение
Антенный комплекс	
Рефлектор, D, м (схема Кассегрена)	D= 4,8
Схема построения опорно-поворотного устройства	Азимутально-угломестная с третьей осью
Диапазон рабочих углов: - по азимуту, градусы - по углу места, градусы - по азимуту наклонный, градусы	±178 от минус10 до 88 100 (угол отклонения от вертикали 10)
Угловые скорости наведения градус/с (не менее)	4
Максимальные ошибки наведения по азимуту и углу места: - по азимуту, угловые минуты - по углу места, угловые минуты	2 2
Функционирование при максимальной скорости ветра, м/с	25
Габариты, м (ШхВхГ)	6,7х6,6х6,7
Масса, кг, не более	5000
Материал рефлектора	Алюминий
Радиопрозрачное укрытие (РПУ)	Используется без РПУ
X диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	8,0-8,40
Поляризация	Правая и левая

>Продолжение

Коэффициент усиления, дБ	49
Диапазон несущих частот, ГГц	8,035-8,380
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 16APSK
Скорость приема и регистрации, Мбит/с	до 600
Объем памяти накопителя, Тбайт	8
Режим работы	Ручное наведение Программное наведение Режим коррекции траектории по сигналу КА
L диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	1,6-1,7
Поляризация	Правая
Коэффициент усиления, дБ	27
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK, DBPSK, DQPSK
Скорость приема и регистрации, Мбит/с	0,256-2,56
Объем памяти накопителя, Тбайт	2
Интерфейс выходной информации	Ethernet 100/1000
Типы принимаемых КА	Ресурс, Метеор (L-диапазон), Terra, Aqua, Aura, Spot

Комплекс приема информации дистанционного зондирования земли на базе антенны с рефлектором 9



Стационарное исполнение антенной системы

Технические характеристики мобильного комплекса приема информации

Параметры	Значение
Антенный комплекс	
Рефлектор, D, м (однозеркальная схема)	D= 9
Схема построения опорно-поворотного устройства	Азимутально-угломестная с третьей осью
Диапазон рабочих углов: - по азимуту, град - по углу места, град - по углу азимут наклонный, град	±178 от минус 10 до 88 ±100 (угол отклонения от вертикали 10)
Угловые скорости наведения градус/с, не менее	4
Максимальные ошибки наведения по азимуту и углу места: - по азимуту, угловые минуты - по углу места, угловые митнуты	2 2
Функционирование при максимальной скорости ветра, м/с	25
Габариты, м (ШxВxГ)	18x12x18
Масса, кг, не более	16000
Материал рефлектора	Алюминий
Радиопрозрачное укрытие (РПУ)	Используется без РПУ
X диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	8,0-8,40
Поляризация	Правая и левая
Коэффициент усиления, дБ	55
Диапазон несущих частот, ГГц	8,035-8,380
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK
Скорость приема и регистрации, Мбит/с	до 320
Объем памяти накопителя, Тбайт	8
Режим работы	Ручное наведения Программное наведение Режим коррекции по сигналу
Типы принимаемых КА	Ресурс, Метеор (X-диапазон), Канопус



Мобильный комплекс приёма информации дистанционного зондирования земли МПЗС-2,4

Комплекс предназначен для приёма, регистрации, структурного восстановления и формирования изображений земной поверхности, поступающих с космических аппаратов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) («Ресурс-ДК1», «TERRA», «AQUA», «NOAA» и др.) в X-, L-диапазонах и обмена информацией через геостационарные спутники-ретрансляторы в Ku-диапазоне.

Комплекс формирует стандартные информационные продукты:

- структурно-восстановленные и радиометрически откорректированные панхроматические или спектрональные изображения;
- изображения, приведенные к заданной картографической системе координат по орбитальным данным;
- ортоизображения в заданной картографической системе координат, созданных по опорным точкам и цифровым матрицам рельефа.

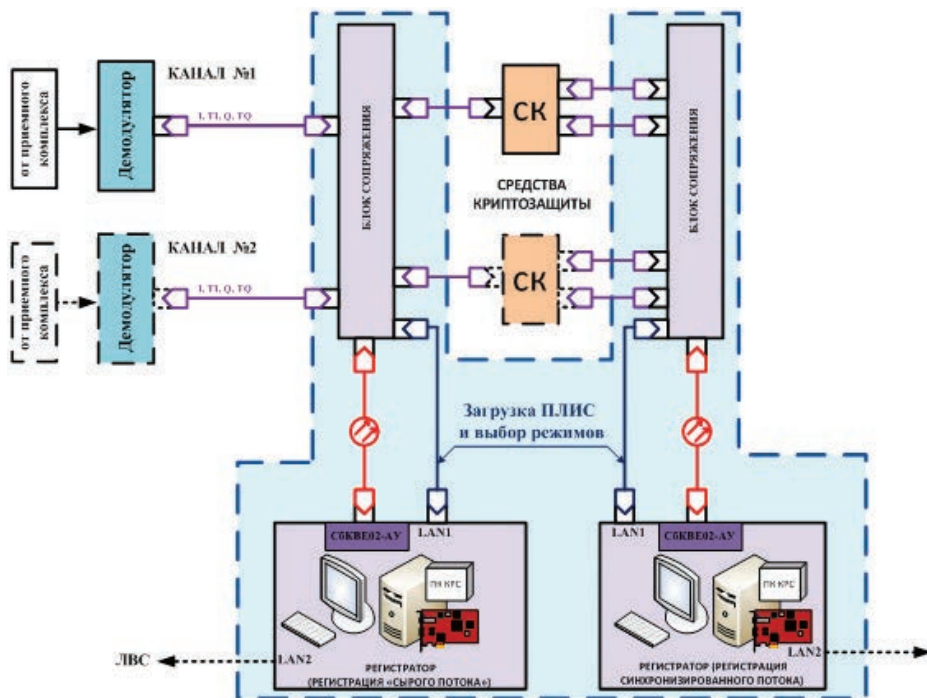
Комплекс выполнен на базе автомобиля Ford Transit с полноповоротным антенным комплексом приёма спутников ДЗЗ X- и L-диапазонов на базе прицепа и антенным постом Ku-диапазона, установленным на крыше автомобиля.

Комплекс предусматривает:

- транспортировку трёх операторов, помимо водителя;
- установку мачтового устройства с высотой подъёма 6 м и аппаратуры приёма информации от БЛА;
- установку двух автоматизированных мест работы операторов.

Электропитание комплекса осуществляется от промышленной электросети или автономно от дизельного электроагрегата (ДЭА) - 380/220 В 50 Гц.

Параметры	Значение
Антенный комплекс	
Офсетный рефлектор, D, м	D=2,4
Схема построения опорно-поворотного устройства	азимутально-угловая
Диапазон рабочих углов:	
- по азимуту, град	± 270
- по углу места, град	от 5 до 85
Максимальные скорости наведения:	
- по азимуту, град/с	20
- по углу места, град/с (не менее)	10
Суммарная погрешность наведения, угл.мин. (не более)	6
X-диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	8,0-8,40
Поларизация	правая и левая
Коэффициент усиления, дБ	43
Диапазон несущих частот, ГГц	8,035-8,380
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK
Скорость приёма и регистрации, Мбит/с	до 320
Объём памяти накопителя, Тбайт	2
Интерфейс выходной информации	Ethernet 100/1000
L-диапазон	
Полоса принимаемых частот, ГГц	1,6-1,7
Поларизация	правая
Коэффициент усиления, дБ	27
Вид модуляции принимаемого сигнала	BPSK, QPSK, DBPSK, DQPSK
Скорость приёма и регистрации, Мбит/с	0,256-2,56
Объём памяти накопителя, Тбайт	2
Интерфейс выходной информации	Ethernet 100/1000
Ku-диапазон-антенный пост	
Офсетный рефлектор, D, м	D=1,4
Коэффициент усиления, дБ	$\geq 42,6$ на передачу $\geq 40,5$ на прием
Поларизация	линейная вертикальная, горизонтальная
Диапазон рабочих углов:	
- по азимуту, град	± 85
- по углу места, град	от 2 до 60
Диапазон частот, ГГц	14-14,5 на передачу 10,95- 11,2 на прием
Вид модуляции сигнала	BPSK, QPSK
Символьная скорость, Мбит/с	до 2
Интерфейс обмена информацией	Ethernet 100/1000



Структурная схема устройства синхронизации и регистрации информации российских спутников

Технические характеристики

Параметры	Значение
Прием цифровых информационных потоков	одновременно от двух демодуляторов (в интерфейсах LVDS, TTL, ECL (PECL, NECL, LVPECL).
Первичную («сырой» поток) и вторичную (синхронизированный поток) регистрацию со скоростью	- не менее 307,2 Мбит/с (при двухканальном режиме); - не менее 153,6 Мбит/с (при одноканальном режиме).
Воспроизведение первичной регистрации для дальнейшей (повторной) синхронизации со скоростью	- не менее 307,2 Мбит/с (при двухканальном режиме); - не менее 153,6 Мбит/с (при одноканальном режиме).
Обмен информацией с средствами криптозащиты информации	Есть
Загрузка ПЛИС и выбор режимов работы с использованием протокола Ethernet:	КА (отечественные): «Ресурс-ДК», «Ресурс-П», «Канопус-В», «Метеор»; КА (зарубежные): RADARSAT-1, Aqua, Terra, Envisat.