

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

---

В. Ф. Михайлов, В. Н. Мошкин, И. В. Брагин

# КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Учебное пособие

*Рекомендовано*

*УМО по образованию в области телекоммуникаций  
в качестве учебного пособия*

Санкт-Петербург  
2006

УДК 621.396.2

ББК 39.67

М69

**Михайлов, В. Ф.**

**М69 Космические системы связи: Учеб. пособие / В. Ф. Михайлов, В. И. Мошкин, И. В. Брагин; ГУАП. СПб., 2006. 174 с.: ил.**

Приводятся и анализируются технические характеристики российской низкоорбитальной космической системы связи, в том числе характеристики наземного и бортового комплексов управления. Оцениваются основные космические системы связи. Рассматриваются перспективы развития космических систем связи.

Пособие предназначено для студентов радиотехнических специальностей.

Рецензенты:

кафедра радиотехнических систем

Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича; доктор технических наук,

профессор *Ю. З. Бубнов*

Утверждено

редакционно-издательским советом университета

в качестве учебного пособия

© ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский  
государственный университет  
аэрокосмического приборостроения»,  
2006

## ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АП	– антенный пост
АРМ	– автоматизированное рабочее место
АС	– абонентская станция
АСУ	– автоматизированная система управления
АСУП	– автоматизированная система управления полетом
АТМ	– асинхронный режим передачи (Asynchronous Transfer Mode)
БА	– бортовая аппаратура
БВКУ	– блок выдачи команд управления
БИС	– большая интегральная схема
БКУ	– бортовой комплекс управления
БС	– бортовая система
БСВ	– блок сверки времени
БСС	– бортовая синхронизированная система
БТИ	– блок траекторных измерений
БТМ	– блок телеметрии
БРТК	– бортовой радиотехнический комплекс
БУ	– блок управления
БЦ	– баллистический центр
БЦВМ	– бортовая цифровая вычислительная машина
БЦВС	– бортовая цифровая вычислительная система
БШВ	– бортовая шкала времени
ВКО	– высокая круговая орбита
ВПНССС	– ведомственная подсистема низкоорбитальной ССС
ВТИ	– внешнетраекторные измерения
ВЭО	– высокоэллиптическая орбита
ГОГУ	– главная оперативная группа управления
ГСО	– геостационарная орбита
ГУН	– генератор, управляемый напряжением
ЗС	– земная станция
ИСЗ	– искусственный спутник Земли
ИСК	– информационно-связной комплекс
ИВС	– информационная вычислительная система
КА	– космический аппарат
КД	– кодем

КНКУ	– командный наземный комплекс управления
КПИ	– контроль пакетовой информации
КТС	– командно-телеметрическая станция
КПЛ	– командно-программная линия
КС	– координирующая станция
ЛКИ	– лётно-конструкторские испытания
МАЗС	– малоапертурная земная станция
МККТ	– международный консультационный комитет по телевидению
МЛА	– многолучевая антенна
МЛС	– межспутниковая линия связи
МСЭ	– международный союз электросвязи
МШУ	– маломощный усилитель
НА	– наземная аппаратура
НКО	– низковысотная круговая орбита
НКУ	– наземный комплекс управления
НОКС	– низкоорбитальная космическая система
НР	– наземный ретранслятор
НССС	– низкоорбитальная ССС
ОГ	– орбитальная группировка
ОД	– оперативные данные
ОПУ	– опорно-поворотное устройство
ПАВГ	– поверхностно акустической волны генератор
ПКС	– пункт контроля связи
ПСС	– подвижная система связи
ППС	– приемно-передающее средство
ПУ	– пункт управления
РДП	– региональный диспетчерский пункт
РК	– решетчатое кодирование
РССС	– региональная ССС
РЧК	– радиочастотный канал
РЦО	– региональный центр обслуживания
СВО	– средневысотная орбита
СГ	– спутниковая группировка
СКО	– средняя круговая орбита
СР	– спутниковый ретранслятор
СС	– связной сегмент
СПД	– система передачи данных
ССПД	– система связи и передачи данных
ССС	– спутниковые сети связи
СЧ	– стандарт частоты
СЭО	– средняя эллиптическая орбита
ТМЛ	– телеметрическая линия

ТМИ	– телеметрическая информация
ТС	– технические средства
УВК	– управляющий вычислительный комплекс
УВС	– управляющая вычислительная система
УГП	– устройство гарантированного приема
УКГ	– управляемый кварцевый генератор
УСПД	– управление СПД
ФАП	– фазовая автоподстройка
ФАПЧ	– фазовая автоподстройка частоты
ФНЧ	– фильтр нижних частот
ФСС	– фиксированная система связи
ЦАП	– цифроаналоговый преобразователь
ЦВС	– цифровой вычислительный синтезатор
ЦДП	– центральный диспетчерский пункт
ЦЗ	– целевая задача
ЦСИ	– цифровая сеть интегрирования
ЦУ	– целеуказания
ЦУМ	– центр управления мониторингом
ЦУП	– центр управления полетом
ЦУС	– центр управления системой
ЦУСС	– центр управления системой связи
ЭП	– эскизное проектирование
ШС	– шлюзовая станция
ШСС	– широкополосная система связи

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы во всем мире активно внедряются современные виды и средства связи. К ним в первую очередь относятся спутниковые сети связи (ССС). Проблема создания эффективных СССР является исключительно актуальной для России с ее необъятными просторами. По этой теме появилось много публикаций в отечественной и зарубежной литературе. Фундаментальной книгой является работа [1], в которой изложены основные аспекты построения и применения спутниковых сетей связи. Для того чтобы ориентироваться во всем многообразии возможностей и свойств искусственных спутников Земли (ИСЗ), используемых для связи, приведем их основные характеристики для различных орбит (табл. 1).

В таблице обозначено:  $i$  – наклон (угол пересечения экватора проекцией орбиты ИСЗ); ПСС (MSS – Mobile Satellite Service); ФСС (FSS – Fixed Satellite Service); ШСС (BSS – Broadcast Satellite Service); 1 – магистральные ЗС; VSAT – Very Small Aperture Terminal (Терминал спутниковой связи с очень малым размером апертуры (антенны)); 2 – факсимильный аппарат; 3 – мобильный телефон; 4 – офисный телефон; 5 – коллективный терминал; 6 – индивидуальный терминал.

В литературе имеется более детальное представление о свойствах связных ИСЗ [2], а также подробно описаны их достоинства и недостатки на различных орбитах [1].

Распределением полос частот между различными службами радиосвязи занимается Международный союз электросвязи (МСЭ). Регламент радиосвязи [3] является основным международным документом, регламентирующим использование частот. В табл. 2 приведены основные полосы частот, выделенные для СССР, там же даны буквенные обозначения диапазонов, принятые Федеральной комиссией связи США, применение спутниковых служб и ряд других характеристик.

Кроме приведенных характеристик, по которым разделяются СССР, используются и другие признаки. Так, например, возможно разделение по охватываемой территории, административной структуре управления и принадлежности космического и наземного сегментов сети связи. В этом случае выделяют:

глобальные СССР, обеспечивающие полный охват территории Земли

Таблица 1

## Классификация орбит связанных ИСЗ

Характеристики	Тип орбиты			Геостационарная (ГЕО), geosynchronous earth orbit (ГЕО)
	Низковысотная (НКО), low earth orbit (LEO)	Средневысотная (СВО), medium earth orbit (МВО)	Высокоэллиптическая (ВЭО), high elliptical orbit (НЭО)	
Высота, тыс. км	0,5–2	5–15	Перигей от 0,46; апогей до 71	36
Срок службы, лет	5–7	Более 10	Более 10	Более 10
Ориентация плоскости орбиты	Экваториальная, наклонная (прямая $0^\circ < i < 90^\circ$ , обратная $90^\circ < i < 180^\circ$ )	Наклонная прямая и обратная	Наклонная прямая и обратная	Экваториальная, $i = 0^\circ$
Геометрический вид орбиты	Круговая	Круговая	Эллиптическая	Геостационарная
Период обращения вокруг Земли, ч	1,5–2	4–8	3–24	24
Минимальное количество ИСЗ в ОГ для одноорбитного покрытия	48–66	8–12	–	3

Характеристики	Тип орбиты			Геостационарная (ГЕО), geosynchronous earth orbit (ГЕО)
	Низковысотная (НКО), low earth orbit (ЛЕО)	Средневысотная (СВО), medium earth orbit (МЕО)	Высокоэллиптическая (ВЭО), high elliptical orbit (НЭО)	
Время пребывания в зоне радиовидимости, ч	0, 16–0, 25	1, 5–2	–	24
Задержка при передаче речи, мс	20 для одной зоны, до 130 для глобального обслуживания	Не более 130	–	270 – региональное обслуживание; более 400 – глобальное обслуживание
Относительный максимальный доплеровский сдвиг	$+/- (1,8-2,4)10^{-5}$	$+/- 6 \times 10^{-6}$	–	$+/- 10^{-8}$
Вид связи	ФСС, ПСС	ФСС, ПСС	ФСС, ПСС	ФСС, ПСС, ШСС
Тип терминала	2, 3, 4	2, 3, 4	Радиотелефон, телекс, пейджер, радиомаяк, радиобуд	1, 2, 3, 4, 5, 6

и управляемые международными организациями, объединяющими большинство стран мира;

интернациональные ССС, являющиеся объектом совместной деятельности нескольких десятков стран, в том числе и региональные, совместно используемые странами, принадлежащими к одному географическому региону;

национальные ССС, наземный сегмент которых расположен в пределах одной страны;

корпоративные (ведомственные), наземный сегмент которых принадлежит одному ведомству.

В пособии приведены принципы построения ССС, перспективы их развития, описаны конкретные системы спутниковой связи. Обобщены материалы лекционного курса «Спутниковые системы связи», читаемого на факультете радиотехники, электроники и связи ГУАП.

Таблица 2

Диапазоны частот для спутниковой связи

Маркировка диапазона	Полоса частот, ГГц	Тип спутниковой службы	Применение
<i>L</i>	0,5–1,5	ПСС	Подвижная телефония, пейджинг, низкоскоростная передача данных
<i>S</i>	1,5–2,5	ПСС	Подвижная телефония, пейджинг, низкоскоростная передача данных
<i>C</i>	4–8	ФСС	Телефония, передача данных, ТВ приложения, VSAT
<i>Ku</i>	12–18	ФСС, ШСС	Телефония, передача данных, ТВ приложения, VSAT, интернет
<i>Ka</i>	20–40	ШСС	Интернет, передача речи, аудио- и видеографических данных и др.
<i>Q/V</i>	40–70	ШСС	Интернет, передача речи, аудио- и видеографических данных и др.

# **1. НИЗКООРБИТАЛЬНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ РОСТЕЛЕСАТ. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

## **1.1. Назначение системы РОСТЕЛЕСАТ**

Низкоорбитальные космические системы (НОКС) связи находят все более широкое применение благодаря их следующим достоинствам: минимальная задержка распространения сигнала; высокая надежность при отказах ретрансляторов; низкая стоимость вывода на орбиту; низкая стоимость ретранслятора и ракетопосылителя; низкий уровень воздействия радиации. Принципы построения НКО, наземный и бортовой комплексы, управление системой, основные технические характеристики рассмотрены на примере системы РОСТЕЛЕСАТ.

Низкоорбитальная космическая система связи и наблюдения РОСТЕЛЕСАТ предназначена для реализации в глобальном и региональных масштабах следующих услуг связи:

- 1) организации связи между стационарными и подвижными абонентами и доступа их в сети общего пользования и ведомственные сети;
- 2) организации выделенных информационных сетей различного назначения и их связи между собой и сетями общего пользования;
- 3) информационного обеспечения объектов пользователей производственных и социальных сфер: топливно-энергетической, финансовых структур, сельскохозяйственных структур, геологии, геофизики, океанологии, экологии, медицины, образования и др.;
- 4) информационного обслуживания районов чрезвычайных ситуаций природного и промышленного происхождения;
- 5) информационного обеспечения испытаний и отработки средств авиационной и космической техники;
- 6) дистанционного зондирования земной поверхности;
- 7) обеспечения связи между абонентами системы (подвижная и фиксированная служба);
- 8) обеспечения доступа в ведомственные сети и сети общего пользования подвижным и стационарным абонентам, размещенным в области действия системы;

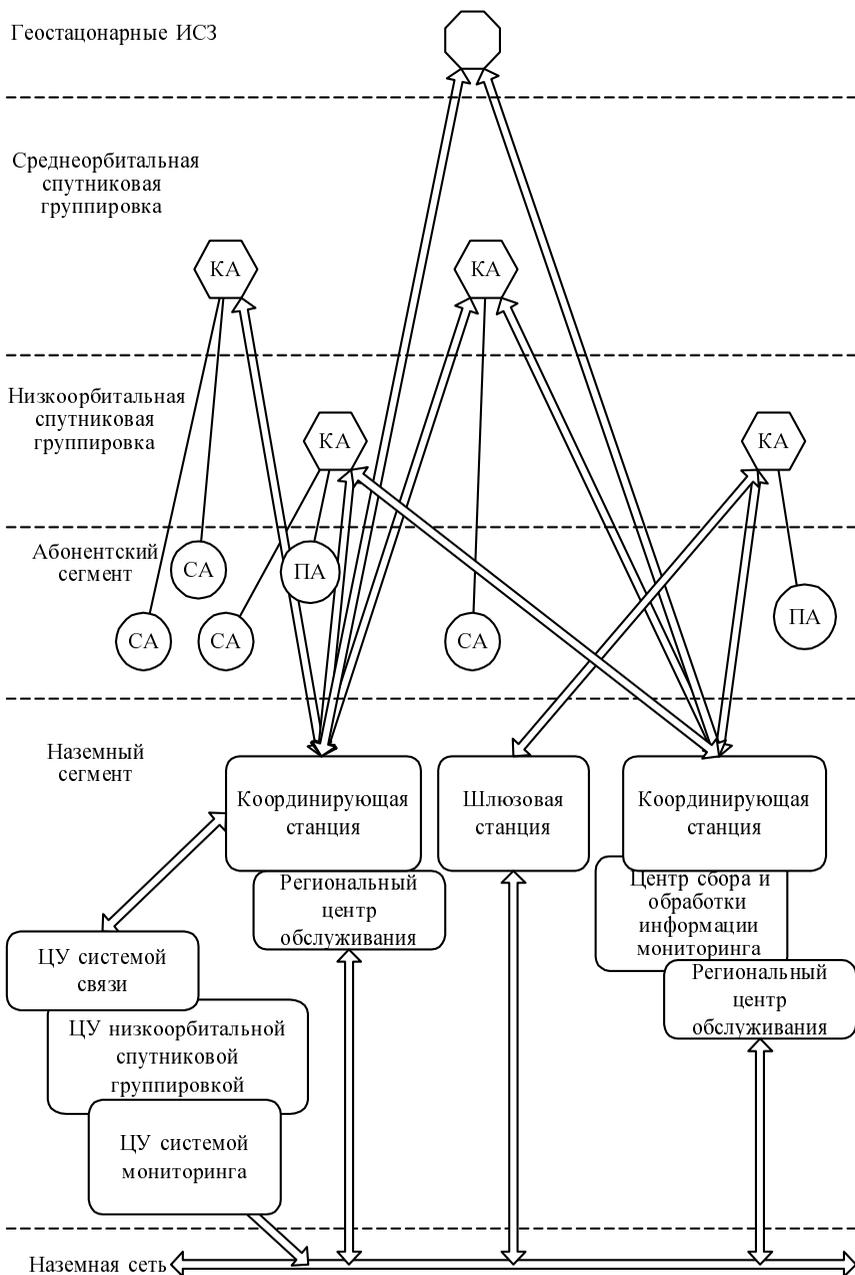


Рис.1.1. Структурная схема НОКС

9) передачи информации, поступающей с оборудования командного наземного комплекса управления (КНКУ), установленного на спутниковый ретранслятор (СР) в центре сбора и обработки;

10) приема информации от специализированных космических аппаратов (КА), входящих в КНКУ и передача ее в центры сбора и обработки;

11) передачи команд управления КНКУ;

12) обеспечения двухсторонней дуплексной телефонной связи (обмена данными) между абонентами по принципу «каждый с каждым»;

13) циркулярной передачи данных (сообщений);

14) централизованного сбора данных, в том числе в автоматическом режиме;

15) обеспечения связи абонентов системы с абонентами телефонных сетей через станции-порты сопряжения;

16) обеспечения определения мест абонентов с подвижными и носимыми станциями.

Система связи РОСТЕЛЕСАТ (рис. 1.1) позволит обеспечить:

на первом этапе – региональную связь (страны СНГ, Западной Европы и часть прилегающих стран Евразии) с помощью подвижных персональных и малогабаритных стационарных (перевозимых) абонентских станций;

на втором этапе – связь в глобальном масштабе с помощью подвижных станций в морском, речном, воздушном, железнодорожном, автомобильном и других видах транспорта, а также персональную связь с помощью носимых станций.

## 1.2. Состав НОКС РОСТЕЛЕСАТ

В состав системы входят:

1) группировка КА с бортовыми радиотехническими комплексами;

2) координирующие станции (КС);

3) шлюзовые станции (ШС);

4) автоматизированная система управления (АСУ);

5) малогабаритные стационарные абонентские станции для фиксированных систем связи (ФСС) и подвижные и носимые станции для подвижных систем связи (ПСС).

В состав информационно-связного комплекса (ИСК) входят:

1) спутниковая группировка (СГ);

2) шлюзовые станции для предоставления абонентам системы выхода в ведомственные, общегосударственные и местные телефонные сети;

3) абонентские (терминальные) станции (АС).

Система спутниковой связи РОСТЕЛЕСАТ строится на базе низкоорбитальной спутниковой группировки, которая обеспечивает возможность глобальной персональной связи.

Информационно-связной комплекс РОСТЕЛЕСАТ создается как транспортная система для обеспечения абонентскими и магистральными информационными каналами любых пользователей, имеющих на это право в соответствии с действующим законодательством.

Пользовательскими средствами (и системами) в РОСТЕЛЕСАТ являются:

абонентские (терминальные) станции всех типов;

отдельные шлюзовые станции;

сети и системы передачи информации, использующие для транспортировки спутниковую систему РОСТЕЛЕСАТ.

### **1.3. Область действия, покрытие, высота орбиты**

Область действия низкоорбитальной спутниковой системы связи — область географических точек, в которых обеспечиваются условия связи с заданными характеристиками, в том числе и территория Российской Федерации. Система должна допускать возможность расширения области действия до глобальной. ИСК предназначен для применения в основном на территориях с малой плотностью населения и слабо развитой инфраструктурой связи.

Спутниковая группировка и ее баллистическое построение обеспечивают однократное покрытие области действия системы. При этом минимальный угол места при произвольном размещении абонентов на поверхности Земли в области действия системы составляет не менее  $25^\circ$ . Бортовой радиотехнический комплекс обеспечивает в канале связи с абонентами плотность потока мощности, разрешенную для выбранного диапазона частот, с неравномерностью не более 3 дБ.

Высота орбиты спутниковой группировки составляет 700 км.

### **1.4. Пользователи системы**

Пользователи РОСТЕЛЕСАТ приведены в табл. 1.1.

По решаемым задачам, видам услуг и передаваемой информации, спутниковую низкоорбитальную систему связи можно отнести к цифровым сетям с интеграцией услуг.

В табл. 1.2 приведены возможные виды запросов пользователей и требуемые параметры качества предоставляемых услуг.

*Речь* принадлежит категории трафика реального времени и задает жесткие требования к задержкам при доставке, однако допускает сравнительно высокий уровень ошибок. В системе речь передается в цифровом виде с предварительной обработкой в вокодер. Скорость передачи речевого потока может составлять 4,8 кбит/с. Система должна обеспечивать выполнение ряда требований, обусловленных

## Пользователи

Вид услуги	Характеристика	Дополнительно	Скорость передачи кбит/с		Вероятность ошибки
			вверх	вниз	
Подвижная телефонная связь	В основном соединения: подвижной абонент – сеть общего пользования	Одновременная низкоскоростная передача данных (2,4–4,8 кбит/с)	4,8–8	до 64	$10^{-4}$
Стационарная телефонная связь	Малоканальные станции коллективного пользования (2–8 каналов)	–	до 64	до 64	$10^{-4}$
Стационарные и перемещаемые станции передачи данных	Терминальное окончание сети (конечный пользователь) Узел сети (провайдер): с конечным пользователем с другим узлом	–	до 64	до 512	$10^{-9}$
	Системы сбора информации		384 > 2048	64 > 2048	$10^{-9}$ $10^{-9}$
			0,3–64	0,3	$10^{-9}$

## Информационные услуги

Вид информации	Вероятность ошибки на бит	Допустимая максимальная задержка, с	Допустимый разброс задержки, с
Речь	$10^{-3}$	0,4	0,2
Видеопотоки	$10^{-3}$	0,5	0,2
Оперативные данные	$10^{-12}$	0,02–2	0,008–1
Интерактивный режим	$10^{-9}$	0,5–10	2–3

психологическими эффектами, вызываемыми задержкой и пробелами в речевом сигнале, которые порождаются флуктуациями времени задержки, ошибками в каналах связи, особенностями протоколов в сети, ошибками преобразования цифровых речевых сообщений.

*Видеопотоки* представляют собой большие потоки аналоговой по своей природе информации (промышленное телевидение, видеоконференции, диспетчерская связь и др.), подобные речевым потокам, но требующие значительно большей скорости передачи.

*Оперативные данные* (ОД) представляют собой относительно небольшие цифровые потоки, чувствительные к задержкам и шумам. ОД могут быть как пользовательскими, так и служебными, т. е. порождаться самой сетью. В частности, оперативными данными являются телеметрическая, командная и командно-программная информация, которой обмениваются наземный комплекс управления (НКУ) и бортовой комплекс управления (БКУ) при управлении СГ. Оперативными данными является также информация, которой обмениваются КА по управлению сетью: маршрутные таблицы, состояния КА и др.

*Диалоговые данные* представляют собой относительно короткие сообщения, допускающие сравнительно большие задержки. Характеристики трафика диалоговых данных менее устойчивы, чем характеристики телефонного трафика из-за широкого диапазона скоростей, длин сообщений и частот их поступлений в сеть.

*Файлы данных и видеофайлы* передаются в фоновом режиме, они не критичны к задержкам при передаче и допускают промежуточное запоминание.

В состав базового комплекса абонентских средств входят:

- 1) портативная малогабаритная телефонная абонентская станция личного пользования (Л);
- 2) подвижная станция с интегрированием услуг (И);
- 3) стационарная станция с интегрированием услуг (С);
- 4) необслуживаемая станция сбора данных и управления стационарными и подвижными объектами (Д).

Параметры перечисленных станций приведены в табл.1.3, 1.4.

Таблица 1.3

Пользовательское оборудование

Тип станции	Основной сервис	Дополнительные услуги	Интерфейсы	Пользовательские протоколы
Л	Телефон	Данные, факс	RS-232	ASYNC, эмуляция Hayes-модема
И, С	Данные, телефон		RS-232, V.35, RS422/449	TCP/IP, Frame Relay, HDLC

Таблица 1.4

Антенны пользовательского оборудования

Тип станции	Скорость передачи, кбит/с		Антенна	Диапазон
	к абоненту	от абонента		
Л	до 16	до 16	Слабонаправленная, неориентируемая	S
И	до 384	до 16	Слабонаправленная, неориентируемая	S
С	до 2048	до 2048	Направленная, ориентируемая	Ku
Д	до 16	до 64	Слабонаправленная, неориентируемая	S

В системе РОСТЕЛЕСАТ организуются следующие радиоканалы:  
 абонентский для подвижной связи;  
 абонентский для систем фиксированной связи;  
 магистральный для связи с координационными и шлюзовыми станциями.

В абонентском радиоканале для связи с подвижными абонентами используется следующий диапазон частот:

«снизу – вверх» (подвижные абонентские станции – КА) – 2170–2185 МГц;



«сверху – вниз» (КА – подвижные абонентские станции) – 2675–2690 МГц.

На борту КА применяется многолучевая антенная решетка, что позволяет существенно поднять энергетику в радиоканале и обеспечить связь с подвижными абонентскими станциями, оборудованными слабонаправленными антеннами. Бортовая антенная система формирует как на прием, так и на передачу 37 лучей, которые засвечивают зону обслуживания спутника так, как показано на рис. 1.2.

В абонентском радиоканале для связи со стационарными абонентскими станциями применяют следующий диапазон частот:

«снизу – вверх» (стационарные абонентские станции – КА) – 7675–7700 МГц;

«сверху – вниз» (КА – стационарные абонентские станции) – 7950–7975 МГц.

Для магистрального радиоканала используют следующие частоты:

«снизу – вверх» (координирующие станции – КА) – 7450–7520 МГц;

«сверху – вниз» (КА – координирующие станции) – 8315–8385 МГц.

## **2. ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ СПУТНИКОВОЙ ГРУППИРОВКИ РОСТЕЛЕСАТ**

### **2.1. Общие принципы**

Управление в больших системах можно определить как упорядоченный комплекс мероприятий, обеспечивающих организацию и поддержание на необходимом уровне интенсивности множества взаимосвязанных процессов, протекающих как на структурных элементах системы РОСТЕЛЕСАТ, так и между этими элементами и окружающей средой, направленный на достижение основной цели системы, – максимальной эффективности функционирования.

Таким образом, организация управления в системе РОСТЕЛЕСАТ связана с особенностями ее структуры. Здесь вполне очевидно различаются функциональная структура системы РОСТЕЛЕСАТ, или ее логическая организация, и пространственное построение системы, или ее физическая организация. При этом логическая организация относительно слабо зависит от конкретных условий выполнения и работы системы РОСТЕЛЕСАТ, обеспечивая лишь необходимый объем и полноту выполнения функций. В то же время физическая организация системы (т. е. количество аппаратных средств и их взаимное расположение) прямо определяется назначением и условиями работы системы.

Система РОСТЕЛЕСАТ обладает рядом отличительных особенностей, оказывающих серьезное влияние на организацию в ней процессов управления. Эти особенности следующие:

глобальность системы РОСТЕЛЕСАТ, т. е. покрытие полем связи всего земного шара, либо большей его части;

большое количество одновременно обслуживаемых абонентов, разнообразие пользовательских требований и предоставляемых системой РОСТЕЛЕСАТ пользовательских услуг при одновременном обеспечении высокого уровня требований к предоставляемым услугам и качеству обслуживания;

непрерывное перемещение КА в группировке и необходимость достаточно частой смены этих аппаратов в течение одного сеанса связи;

большое количество одновременно работающих КА в системе РОСТЕЛЕСАТ;

низкий уровень квалификации массового пользователя при обращении с абонентской аппаратурой (особенно с портативными и носимыми станциями);

необходимость взаимодействия со смежными системами РОСТЕЛЕСАТ космической и наземной связи, выполняющими сходные задачи.

Учет этих особенностей диктует прежде всего необходимость обеспечения высокой оперативности в предоставлении пользователю требуемого ресурса и такой же оперативности при возвращении этого ресурса обратно в систему РОСТЕЛЕСАТ. В противном случае системе грозит: с одной стороны, потеря вызова (т. е. потеря пользователя из-за отказа от связи), а с другой, – моральный ущерб и снижение конкурентоспособности; т. е. в любом случае неоперативное предоставление и возврат ресурса обратно в систему снижают эффективность его использования, а следовательно, и эффективность системы в целом.

Массовый характер пользования услугами системы РОСТЕЛЕСАТ требует высокой степени надежности аппаратных средств, особенно пользовательских (как правило, слабо резервируемых). При коэффициенте готовности абонентских комплексов 0,999 (весьма высокий уровень) и предполагаемом объеме парка этих комплексов в системе РОСТЕЛЕСАТ постоянно могут находиться десятки тысяч неисправных абонентских станций, что требует организации в ней специальных постоянно работающих служб диагностики и выявления таких станций и последующего быстрого их ремонта.

Во избежание быстрого морального старения и соответствующего снижения эффективности в системе РОСТЕЛЕСАТ должен осуществляться процесс непрерывной модернизации оборудования, который естественно должен происходить параллельно с эксплуатацией и не приводить при этом к отказам в предоставлении ресурса связи или снижением (даже кратковременным) качества обслуживания пользователей.

Таким образом, в соответствии с целями данной системы РОСТЕЛЕСАТ и особенностями ее организации, основными задачами управления следует считать:

достижение высокой надежности предоставляемого ресурса связи, а также быстроту его предоставления и возврата в систему;

быструю диагностику и локализацию неисправностей, а также быстрое восстановление ресурса связи;

достижение высокого уровня аппаратной надежности абонентских станций, – портативных и носимых – и достижение абсолютной надежности (допускается только постепенная деградация) координирующих и шлюзовых станций, КА и центра управления системой (ЦУС);

достижение высокого уровня автоматизации системы РОСТЕЛЕСАТ (для портативных и носимых станций должна быть обеспечена автоматическая работа);

обеспечение непрерывного пополнения, модернизации и развития системы РОСТЕЛЕСАТ без снижения (даже кратковременного) ее пользовательских характеристик.

Комплексное выполнение всех этих требований для коммерческой системы РОСТЕЛЕСАТ оказывается весьма затруднительным вследствие их противоречивости, особенно с учетом последнего из них. Однако в последнее время были найдены, и с тех пор успешно развиваются методология и основанные на ней специфические методические приемы системного анализа и синтеза, принципиально позволяющие разрешать указанные противоречия оптимальным образом с точки зрения получаемого эффекта. Согласно указанной методологии достижение всех поставленных целей возможно только в случае выявления и реализации логической структуры системы РОСТЕЛЕСАТ, обладающей некоторыми особыми свойствами, – так называемой «архитектуры», реализация которой в физической структуре также подчиняется некоторым основополагающим принципам. Краткое изложение этой методологии и вытекающих из нее методических принципов приведено далее.

Необходимо отметить, что успешное решение задачи разработки рациональной логической структуры системы РОСТЕЛЕСАТ на базе указанной методологии, кроме того, позволяет оптимизировать и сам процесс создания и развития этой системы, поскольку только в данном случае достигается максимальная гибкость системы РОСТЕЛЕСАТ при приспособлении к местным условиям работы и в предоставлении ею услуг пользователям.

## 2.2. Концепция управления

Разработка низкоорбитальной спутниковой системы связи предполагает создание группировки из большого числа КА и, следовательно, разработку системы и технологии управления и контроля работоспособности каждого КА и всей спутниковой группировки. Особенностью предлагаемой системы является ее связность, которая обеспечивается для любого КА, находящегося в пределах прямой видимости с любой координирующей станцией. Это позволяет организовать систему оперативного управления и контроля из одного наземного пункта, обеспечивающую возможность непрерывного контроля работоспособности и управления любым активным КА.

Основными элементами системы управления и контроля являются:

наземный комплекс управления;  
бортовые комплексы управления всех КА;  
системы связи и передачи данных (ССПД).

Особенностью рассматриваемой системы является распределенный наземный сегмент, состоящий из Центра управления и значительно числа координирующих и шлюзовых станций, размещенных по всей территории России и, возможно, на территории других стран.

С точки зрения управления все элементы системы объединены в одну сеть.

При штатной эксплуатации СГ основным режимом работы любого КА, входящего в ее состав, является режим автономного контроля и управления. Суть его заключается в том, что БКУ контролирует работоспособность бортовой системы КА и по результатам этого контроля оптимизирует их работу или устраняет нештатную ситуацию. В этом же режиме БКУ регламентирует время проведения сеансов связи с НКУ, КС, ШС, АС.

При этом роль НКУ сводится к следующему:

контроль параметров НОРМА (обобщенный параметр, характеризующий работоспособность КА), поступающих по связному каналу в центр управления полетом (ЦУП) НКУ с КА и КС;

периодическое проведение внешнетраекторных измерений каждого КА и прогнозирование их движения;

периодическое проведение сверки и коррекции бортовых шкал времени;

периодическое проведение регламентных проверок работоспособности систем каждого КА;

учет отказов аппаратуры КА и прогнозирование его работы.

На этапах выведения КА, ввода его в СГ, вывода из СГ, а также при регламентных работах или при возникновении нештатных ситуаций, не парируемых при автономном управлении и контроле, НКУ берет на себя оперативное управление бортовыми системами КА. При этом управление и контроль из ЦУП НКУ осуществляется через ССПД с использованием следующих каналов связи :

КС1 (находящаяся в непосредственной близости от ЦУП) – КА;

КС1 – КА – КС – КА;

КС1 – стационарный КА – КС – КА;

КС1 – среднеорбитальный КА – КС – КА;

ЦУП – наземные линии связи – КС – КА.

Оперативное управление из НКУ предполагает совместное решение всех задач управления и контроля средствами НКУ и БКУ, при этом приоритет в принятии решений принадлежит НКУ (смешанный режим управления).

Поскольку система РОСТЕЛЕСАТ на первом этапе не обеспечивает глобального покрытия, магистральный канал связи КС – КА работает, в основном, в сеансном режиме, при котором бортовой радиотехнический комплекс (БРТК) включается при пролете над территорией нахождения КС. При этом контроль и управление из НКУ возможно любым КА, находящимся в пределах видимости хотя бы одной КС. Магистральный канал КС – КА используется как при ориентированном, так и при неориентированном полете КА. При потере ориентации КА использование магистрального канала связи для управления возможно только при уменьшении скорости передачи данных в канале до (1–2) Мбит/с или при пролете его над НКУ с использованием более эффективных антенн, чем на КС.

### 2.3. Автономное управление КА в составе СГ

Для реализации автономного управления и контроля с целью устранения неисправностей или оптимизации работы КА предлагается следующий алгоритм работы БКУ:

- непрерывный контроль состояния (нахождение в пределах допусков) наиболее важных параметров, характеризующих работоспособность бортовых систем КА;

- при выходе какого-либо параметра за допуск – анализ состояния сопутствующих ему параметров;

- определение вероятных причин возникшей неисправности и реализация типовых алгоритмов ее устранения;

- формирование команд управления режимами работы или резервами аппаратуры, контроль и анализ последствий их исполнения.

С каждого активного КА в ЦУП передается информация телесигнализации, которая содержит следующие сигналы: НОРМА; ВЫЗОВ НКУ; АВАРИЙНЫЙ ВЫЗОВ НКУ.

Сигнал НОРМА представляет собой обобщенный критерий работоспособности КА. Он передается в том случае, если все контролируемые параметры бортовых систем КА находятся в поле допусков.

Сигнал ВЫЗОВ НКУ представляет собой несрочный запрос на связь с НКУ. Он передается в тех случаях, когда КА хочет сообщить НКУ о произведенных им действиях или получить разрешение на них, например:

- факт парирования возникшей и устраненной нештатной ситуации со всеми вытекающими последствиями (например, перечень отказавшей аппаратуры);

- уход бортовой шкалы времени;

- запрос разрешения на коррекцию местоположения.

Пакеты, содержащие сигналы НОРМА и ВЫЗОВ НКУ, имеют низкий приоритет и передаются в НКУ в паузах передачи целевой служебной информации системы связи.

Сигнал АВАРИЙНЫЙ ВЫЗОВ НКУ представляет собой срочный запрос на вызов НКУ. Передача его в НКУ с любого КА должна производиться с минимальной задержкой в каналах связи, для чего пакету информации, содержащему этот сигнал, присваивается высший приоритет. Этот сигнал передается в тех случаях, когда возникшая на борту КА неисправность нарушает работу системы связи и не парируется автономными действиями КА.

Кроме этих основных сигналов в состав телесигнализации целесообразно ввести еще ряд дополнительных уточняющих сигналов, повышающих оперативность реакции НКУ, например:

- наличие связи с соседними КС;
- запрос на коррекцию бортовой шкалы времени (БШВ);
- перегрузка каналов связи;
- номер отказавшей системы.

Причем некоторые из этих сигналов (например, запрос на коррекцию БШВ) формируется непосредственно на КС по информации, получаемой с КА.

Конкретный перечень сигналов телесигнализации должен быть определен на этапе эскизного проектирования (ЭП).

В качестве примера можно привести следующий состав информации, передаваемой в канале телесигнализации в стандартном служебном пакете, следующим с каждого КА и КС примерно один раз в секунду:

- значение БШВ;
- время возникновения нештатной ситуации;
- признак происшедшей нештатной ситуации;
- обобщенный параметр НОРМА;
- сигнал ВЫЗОВ НКУ;
- сигнал СРОЧНЫЙ ВЫЗОВ НКУ;
- номер системы, в которой произошла нештатная ситуация;
- признаки наличия связи с соседними КА и КС;
- обобщенные показатели загрузки каналов связи;
- значение взаимного рассогласования БШВ с соседними КА и КС.

В ЦУП НКУ информация телесигнализации, поступающая со всех КА и КС, должна непрерывно обрабатываться и отображаться. Ряд сигналов (АВАРИЙНЫЙ ВЫЗОВ НКУ, наличие связи с соседними КА и КС, перегрузка каналов связи) должны передаваться в центр управления системой связи (ЦУСС) НКУ для решения задачи маршрутизации.

## 2.4. Оперативное управление и контроль из НКУ

Управление и контроль КА из НКУ осуществляется в следующих случаях:

- вызов НКУ на связь по инициативе КА или КС (по каналу теле-сигнализации);

- нештатная ситуация на КА, которая не была устранена автономным управлением;

- плановые регламентные проверки работоспособности бортовых систем КА;

  - плановая сверка или коррекция бортовых шкал времени;

  - плановая проверка местоположения КА в составе СГ.

Если штатная ситуация на борту КА не связана с отказом системы связи, то управление и контроль любого КА производится из НКУ по штатным каналам связи. По этим каналам связи из НКУ на КА передается цифровая контрольно-пакетная информация (КПИ), а обратно – квитанционная и измерительная информация.

В составе цифровой КПИ передается:

- управляющая информация для работы бортовых вычислительных средств (исходные данные, начальные уставки, коррекция алгоритмов управления и т. д.);

- управляющая информация для реализации управления через БКУ на уровне единичных команд;

- управляющая информация непосредственного доступа (разовые команды, поступающие на рабочие органы бортовых систем, минуя бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ);

- технологическая управляющая информация (запрос на передачу контрольно-измерительной информации, на проведение сверки или коррекции времени и т. д.).

Управляющая информация в зависимости от назначения и адреса может поступать и обрабатываться в БЦВМ или транзитом пересылаться в другие бортовые системы КА.

Квитанционная информация, передаваемая по обратному каналу, формируется в ответ на принятую по прямому каналу КПИ и представляет собой данные о результатах ее приема, обработки и исполнении. Эта информация передается всегда, когда передается КПИ.

Контрольно-измерительная информация передается только в ответ на запрос НКУ, который может содержать:

- команду на передачу содержимого ОЗУ, регистрирующего все штатные ситуации на КА, и действия по их парированию;

- команду на передачу контрольно-измерительной информации от какой-либо конкретной бортовой системы;

команду на считывание информации из любого модуля БЦВМ; набор адресов конкретных параметров, которые необходимо передать в НКУ.

Скорость передачи цифровой информации по этим дуплексным служебным каналам может оперативно меняться от 0 до 4,8 кбит/с в зависимости от необходимого объема передаваемой информации, ее важности и загрузки системы связи.

НКУ, получив сигнал о вызове, запрашивает КА о причинах вызова (например, в случае возникшего, но устраненного отказа какой-либо аппаратуры), проводит при необходимости диагностический контроль одной или нескольких бортовых систем, регистрирует в своем архиве отказавшие элементы аппаратуры на этом КА и делает заключение о возможности его дальнейшей эксплуатации. Если же КА не может автономно парировать нештатную ситуацию, то НКУ находит и принимает оптимальное решение (моделируя у себя нештатную ситуацию).

Все эти операции проводятся вне зависимости от местоположения КА относительно НКУ и, возможно, одновременно с несколькими КА. Однако существует особый класс нештатных ситуаций, приводящих к автономно неустранимому отказу системы связи (например, при потере ориентации КА). В этом случае сигнал АВАРИЙНЫЙ ВЫЗОВ НКУ поступит с КА и НКУ должен немедленно исключить этот отказавший КА из маршрутов каналов связи. При этом контроль и управление таким КА становится возможным только при уменьшении скорости передачи данных в магистральном канале КА–КС и КС–КА или при его нахождении в пределах прямой видимости из НКУ.

На этапе летно-конструкторских испытаний (ЛКИ) системы РОСТЕЛЕСАТ, для повышения надежности управления возможно использование специализированной командно-телеметрической и траекторной системы «Орбита-ТРТК» с установкой на КА соответствующей бортовой аппаратуры.

*Проведение траекторных измерений КА.* Для сохранения жесткой группировки КА необходимо поддерживать местоположение каждого из них. Автономное решение этой задачи для каждого КА разбивается на следующие этапы:

измерение первичных параметров, характеризующих движение КА; вычисление на основе первичных параметров вектора состояния КА; проведение непрерывного контроля текущего и заданного вектора состояния КА;

формирование задания на коррекцию местоположения при ее необходимости.

Внешние траекторные измерения, проводимые НКУ, включают в себя измерение дальности КС–КА и радиальной скорости, непрерывно проводимые с использованием магистрального канала КС–КА. Измерение радиальных скоростей основано на принципе измерения в КС отклонения несущих частот радиосигналов от номинала, вызванного доплеровским смещением частоты. Такой принцип возможен благодаря применению в БКУ КА и в КС высокостабильных задающих генераторов, обеспечивающих вклад в погрешность измерения радиальной скорости не более 0,5 мм/с.

Измерение дальностей основано на принципе измерения задержек распространения радиосигналов в линиях связи. В качестве точки отсчета при измерении задержки распространения выбрана 31-символьная *m*-последовательность, входящая в состав заголовка кадра. Кроме того, возможно измерение угловых координат КА, проводимых с использованием привлекаемых фазовых пеленгаторов типа Галун-М, Ритм-М, Визир-М.

*Принципы передачи служебной информации.* Служебной называется информация, которой обмениваются НКУ и БКУ всех КА в целях контроля работоспособности и управления работой КА. Источниками и получателями служебной информации являются бортовая цифровая вычислительная система (БЦВС) и ЦУП, входящие соответственно в состав БКУ и НКУ.

Передача служебной информации из НКУ до последней КС и обратно происходит по штатным каналам системы связи по маршруту, задаваемому в НКУ. В режиме нормальной эксплуатации такая информация передается с низким приоритетом и не мешает работе системы связи (в основном это телесигнализация). На последнем участке линии связи до последнего КА служебная информация передается по специально выделенному каналу (слоту), абонентом которого является БЦВС КА.

В нештатных ситуациях для передачи служебной информации количество занимаемых каналов (слотов) может увеличиваться, обеспечивая скорость передачи до 1024 бит/с.

Информация во всех радиоканалах системы связи передается пакетами, состоящими из заголовка и поля данных, структура которых соответствует рекомендациям CCSDS. В состав заголовка введен циклически изменяющийся номер пакета, по которому получатель может обнаруживать пропавшие пакеты и переспрашивать их, а также признак служебной информации.

Учитывая особую важность служебной информации управления и контроля в системе приняты следующие меры:

дополнительное кодирование особо важной служебной информации, применяемое для обнаружения и отбраковки пакетов;

применение режима переспроса служебной информации (запоминание, ретрансляция квитанции, проверка достоверности, разрешение на передачу).

*Сверка и коррекция бортовых шкал времени.* БШВ ведется в БЦВС каждого КА. Для организации сеансов связи и работы системы управления движением БШВ должна быть привязана к мировому координируемому времени. Предварительные оценки показывают, что погрешность привязки не должна превышать (1–10) мкс, а связанная с ней необходимая стабильность задающего генератора, должна быть не хуже 10–12 (значения уточняются на этапе ЭП).

Для выполнения этого требования в системе предусматривается: установка на КА высокостабильных генераторов частот (долговременная стабильность не хуже 10–12) и создание высокостабильной сетки частот;

формирование БШВ и тактовых частот каналов связи БРТК от высокостабильной бортовой сетки частот;

создание эталонного времени в НКУ, соответствующего мировому координируемому универсальному времени;

периодическая сверка и коррекция бортовых шкал времени.

Исходя из требуемой погрешности БШВ и стабильности задающих генераторов на КА, периодичность коррекции БШВ должна составлять не более одного раза в 2 месяца для каждого КА.

В качестве эталона времени в системе используется шкала времени НКУ, которая в свою очередь привязывается к сигналам мирового координируемого универсального времени. В НКУ организована служба времени, которая непрерывно контролирует уход БШВ от номинала всех КА (проводит сверку времени), используя для этого значения взаимного рассогласования БШВ на всех КА и КС, поступающих в НКУ по каналу телесигнализации.

Сверка БШВ происходит в любом сеансе связи КА–АС путем измерения времени прихода маркера магистрального канала, время излучения которого привязано к БШВ. Коррекция БШВ производится программным путем на основании данных сверки.

### 3. НАЗЕМНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ

#### 3.1. Состав и размещение средств НКУ

Средства НКУ размещаются в основном на Подмосковном филиале ОКБ МЭИ «Медвежьи озера». В состав пункта входят следующие устройства.

1. Командно-программный и траекторно-телеметрический комплекс, включающий:

координирующую станцию 1, дополненную антеннами с повышенной эффективностью;

специализированную командно-телеметрическую и траекторную станцию «Орбита-ТРТК»;

систему обработки телеметрической информации, использующую телеметрическую линию (ТМЛ);

систему формирования командно-программной информации, использующую командно-программную линию (КПЛ);

систему сверки бортового времени;

систему внешнетраекторных измерений;

средства управления проведением сеансов связи с КА и средства функционального контроля в составе АСУ.

2. Центр управления системой связи (ЦУСС).

3. Центр управления полетом.

4. Центр управления мониторингом (ЦУМ).

5. Баллистический центр (БЦ).

6. Контрольно-проверочное оборудование и необходимое запасное имущество к приборам.

7. Линии и аппаратура внутренней и внешней связи.

Аппаратура основного пункта управления базируется на существующих средствах и размещается в имеющихся технических зданиях и помещениях.

В состав НКУ входят также все действующие координирующие станции. Связность координирующих станций в единый комплекс управления обеспечивается не только по штатным линиям связи, но и через каналы связи с геостационарными спутниками и наземные каналы связи.

Назначение и состав ЦУСС подробно изложены далее.

### 3.2. Назначение и состав ЦУП

Главное назначение ЦУП – управление и координация взаимодействия технических средств (ТС) по развертыванию, поддержанию в режиме штатной эксплуатации и замене отработавших КА в спутниковой группировке. ЦУП решает следующие задачи:

- долгосрочное и оперативное планирование работы каждого КА, СГ в целом, технических средств НКУ;

- организация синхронной работы технических средств в реальном масштабе времени;

  - прием результатов сверки БШВ и их выдачу потребителям;

  - контроль формирования пакетов КПИ и передача их в командно-телеметрическую станцию (КТС);

  - прием из КТС, обработку, отображение и архивирование телеметрической информации;

  - анализ и прогноз технического состояния КА;

  - организация проведения измерений текущих навигационных параметров, прием результатов наземных и бортовых измерителей параметров движения КА в составе СГ, их обработка;

  - формирование для БЦ запроса на прогноз параметров движения центра масс КА;

  - моделирование состояния КА и СГ в зависимости от оперативных воздействий;

  - организация профилактических работ и обработка нештатных ситуаций;

  - поддержание работоспособности наземных ТС и их реконфигурация в нештатных ситуациях;

  - управление работой технических средств ЦУП и проведение функционального контроля работоспособности технических средств ЦУП в соответствии с техническими требованиями;

  - организация протоколов, очередей, приоритетов, потоков информации, доступа к архивам и централизованным средствам обработки информации;

  - обеспечение автоматизированного обмена информацией со средствами НКУ и взаимодействующими комплексами, контроль форматов сообщений;

  - связь с резервным пунктом управления, космодромами и другими организациями; информирование потребителей о текущем, прошлом и будущем состоянии СГ;

  - формирование отображения состояния СГ и НКУ для экрана коллективного пользования и для отдельных рабочих мест;

    - работа с базой данных и центральным архивом НКУ.

Решение задач, стоящих перед ЦУП, обеспечивается взаимодействием технических средств ЦУП, основанном на обмене информацией. Каждое средство может быть представлено с информационной точки зрения как устройство способное:

принимать входную информацию;

использовать принятые данные для выполнения своих целевых функций;

формировать выходной поток данных.

Рабочие места штатных и привлекаемых операторов ЦУП должны располагаться в одном помещении. В ЦУП должны быть расположены резервные вычислительные средства и резервные рабочие места для работы в штатных ситуациях. Общее количество рабочих мест – около 10.

Рабочие места должны быть оснащены одинаковыми дисплеями. В ЦУП располагается центральный архив НКУ. В подчинении ЦУП находятся средства наземной связи. ЦУП управляет средствами функционального контроля НКУ. Технические средства ЦУП на основе программ одновременного обслуживания нескольких запросов должны иметь возможность одновременно работать как в штатной, так и в нештатной ситуации. Особая роль ЦУП в нештатных ситуациях заключается в том, что все инициативные сигналы о нештатных ситуациях первично возникают в ЦУП и, несмотря на место обработки нештатной ситуации, контроль правильности команд и разрешение выполнения дает ЦУП. В состав ЦУП входит и функционально тесно связана с ним главная оперативная группа управления (ГОГУ).

ЦУП является организатором взаимодействия всех средств НКУ, что обеспечивается согласованием форматов сообщений, синхронизацией взаимодействия по времени, своевременным архивированием и защитой информации от несанкционированного доступа. Взаимодействие с техническими средствами ЦУП основано на обмене информацией с помощью локальной вычислительной сети. Положение ЦУП в иерархии технических средств НКУ следует из главного назначения. ЦУП подчиняется Центру управления системой (администрации центра) и ЦУСС в части управления спутниковой группировкой в интересах системы связи при минимальных затратах. В ЦУП содержится центральный архив НКУ, который объединен с центральной базой данных НКУ. По мере поступления информации она упаковывается и пересылается в центральную базу данных в фоновом режиме. Центральная база данных может быть распределена по накопителям, однако для повышения надежности, дублирования, защиты от пропадания питания и удобства обслуживания операторами архивов желательно центральный архив НКУ расположить на

одной рабочей станции. На других рабочих станциях можно иметь свои локальные архивы, ответственность за сохранение которых несет персонал локальных станций (технических средств).

### 3.3. Главная оперативная группа управления

Основное назначение ГОГУ состоит в координации работы средств ЦУП и ЦУСС в целях полного удовлетворения запросов абонентов системы связи при минимизации затрат.

Главная задача ГОГУ реализуется через следующие частные задачи: формирование целевых функций для оперативного стратегического планирования в ЦУСС;

формирование плана затрат при заданных требованиях к системе связи;

формирование планов пополнения СГ и ликвидации КА;

формирование оперативных и перспективных заданий ЦУП по управлению СГ;

организация взаимодействия технических средств НКУ;

прогноз работоспособности каждого КА;

моделирование работы отдельного КА и СГ в целом.

ГОГУ в штатной ситуации взаимодействует с любыми техническими средствами НКУ в фоновом режиме. При обработке программных и аппаратных прерываний возможен режим высокоприоритетной работы ГОГУ. Операционная система должна обеспечивать динамическое изменение приоритетов и гарантированных времен существования задач в системе.

### 3.4. Командно-программный и траекторно-телеметрический комплекс

*Передача служебной информации.* Для передачи командно-программной информации и приема телеметрической информации используются радиолинии магистрального канала КС–КА и КА–КС, в том числе и в нештатных ситуациях, связанных с потерей ориентации КА. При этом для обеспечения необходимого энергетического потенциала радиолиний в состав КС1 входит антенная система повышенной эффективности ТНА-57 (диаметр зеркала 12 м) и передающие устройства повышенной мощности.

*Характеристики командной радиолинии.* Наземная аппаратура совместно с бортовой аппаратурой КПЛ обеспечивает в сеансе связи с КА, видимым из любой КС, передачу КПИ со скоростью до 1 Мбит/с при ориентированном или не ориентированном полете с вероятностью ошибки на двоичный символ не более  $1 \cdot 10^{-9}$ .

*Характеристики приема телеметрической информации.* Наземная аппаратура совместно с бортовой аппаратурой ТЛМ обеспечивает в сеансе связи с КА, видимым из любой КС, прием телеметрической информации со скоростью до 1 Мбит/с при вероятности ошибки не более  $1 \cdot 10^{-5}$  на бит информации при любой ориентации КА. ТЛМ-система обеспечивает непрерывный контроль функционирования КА и передачу в НКУ от всех КА в составе СГ, находящихся в пределах видимости одной из КС обобщенных результатов контроля их работоспособности.

ТЛМ-система обеспечивает выдачу в НКУ по его запросу от любого КА в составе СГ, находящегося в пределах видимости одной из КС ограниченного и произвольного набора контролируемых параметров.

*Характеристики внешнетраекторных измерений.* На участках выведения и схода (ликвидации) и на штатной орбите КА в составе СГ измеряются:

наклонная дальность с систематической погрешностью не более 25 м и среднеквадратическим отклонением не более 10 м;

радиальная скорость с систематической погрешностью не более 1 мм/с и среднеквадратическим отклонением не более 0,5 мм/с.

Внешнетраекторные средства НКУ обеспечивают знание местоположения КА на орбите с погрешностью не хуже 1 км по каждой из трех координат при прогнозе на трое суток.

Для проведения внешнетраекторных измерений на этапах выведения КА, формирования СГ и в нештатных ситуациях допускается привлечение дополнительных средств внешнетраекторных измерений командного пункта.

Возможности прогноза на последующие сутки по данным внешнетраекторных измерений (ВТИ) НКУ должны быть уточнены на этапе рабочего проектирования.

## 4. БОРТОВОЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ

### 4.1. Общие принципы построения

БКУ является составной частью каждого КА и предназначен для управления функционированием КА в составе низкоорбитальной спутниковой группировки глобальной системы связи. БКУ является ядром управляющей системы КА. Он обеспечивает реализацию алгоритмов автономного управления и контроля бортовыми системами КА в реальном масштабе времени, а также, входя в автоматическую систему управления полетом (АСУП), обеспечивает функционирование КА в тесном взаимодействии с внешним контуром управления (с НКУ). С целью сокращения потоков управляющей и контрольно-диагностической информации БКУ построен по иерархическому принципу, причем аппаратура БКУ нижних уровней входит непосредственно в состав бортовых систем.

Одной из задач, решаемых БКУ, является организация бортовой шкалы времени, ее сверка и коррекция по командам НКУ, а также синхронизация работы всех бортовых систем КА и БКУ соседних КА. Для решения этих задач в состав БКУ введен рубидиевый стандарт частоты. Высокая надежность работы БКУ обеспечивается широким применением программного и аппаратного резервирования. Для реализации этих задач БКУ выполняет следующие функции:

- осуществляет непрерывный контроль работоспособности всех бортовых систем, их аппаратное и функциональное резервирование, а также оптимизацию их работы;

- формирует высокостабильную сетку частот, синхронизирующую работу БА КА, бортовую шкалу времени, а также проводит операции их сверки с эталонной шкалой времени НКУ и коррекции;

- управляет движением КА;

- координирует работу подсистем бортового радиотехнического комплекса (БРТК) между собой;

- обеспечивает измерение текущих навигационных параметров КА;

- обеспечивает взаимодействие с НКУ в части приема, обработки и исполнения поступающей по линиям связи служебной управляющей информации; передачи сформированной в БКУ контрольно-измерительной и диагностической информации; сверки и коррекции БШВ;

обеспечивает взаимодействие с КС в части измерения дальности от КА до КС и радиальной скорости; сверки шкал времени на КС и КА; координации циклограммы работ нескольких КС.

БКУ построен по иерархическому принципу и может быть разделен на три основных уровня:

управляющую вычислительную систему (УВС) верхнего уровня; информационно-управляющие системы (ИУС), входящие в состав различных бортовых систем КА;

исполнительные устройства команд и устройства сбора контрольных параметров.

Операции контроля работоспособности и управления работой бортовых систем осуществляются в пределах самих бортовых систем в ИУС с минимальным выходом на УВС, что позволяет значительно сократить циркулирующие по внутренним сетям связи КА потоки информации. При этом ИУС пересылает отчет о своих действиях в УВС, которая в свою очередь отчитывается перед НКУ.

БКУ включает в себя:

локальные информационно-управляющие системы;

управляющую вычислительную систему;

бортовую синхронизирующую систему (БСС);

блок выдачи команд управления (БВКУ);

блоки телеметрии (БТМ);

блоки управления (БУ);

блоки траекторных измерений (БТИ);

блоки сверки времени (БСВ);

кодек служебной информации (КД);

приемно-передающие средства (ППС) радиоканалов;

анализатор наличия связи с КС.

#### **4.2. Взаимодействие составных частей БКУ**

УВС является системой верхнего уровня БКУ. Она выполняет следующие функции:

принимает от бортовых систем обобщенные результаты их автономного контроля работоспособности, формирует один раз в секунду на этой основе пакеты канала телесигнализации и передает их в БРТК для дальнейшей передачи в НКУ;

ведет бортовую шкалу времени, привязанную к сетке синхротот БСС, и передает значения БШВ во все бортовые системы;

координирует работу бортовых систем;

осуществляет управление мультиплексным каналом обмена;

парюрует нештатные ситуации, ведет учет отказавшей аппаратуры;

анализирует наличие связи с КС и при ее прекращении включает дежурный режим;

берет на себя (частично или полностью) функции отказавших ИУС бортовых систем;

осуществляет взаимодействие с НКУ в плане приема, первичной обработки и раздачи по бортовым системам управляющей информации, а также в плане приема от бортовых систем формирования и передачи в НКУ контрольно-диагностической информации;

проверяет корректность сформированной в бортовых системах или поступившей из НКУ управляющей информации;

осуществляет закладку программного обеспечения в ИУС БС после подачи питания или при сбоях;

осуществляет коррекцию программного обеспечения в ИУС БС и закладку исходных данных по командам из НКУ;

корректирует шкалу БШВ, а также вырабатывает управляющую информацию для коррекции фазы сетки синхрочастот или частоты рубидиевого стандарта БСС по командам из НКУ;

после вывода КА на орбиту реализует алгоритмы приведения его в рабочее состояние (подача питания на системы, раскрытие панелей солнечных батарей, антенн и т. д.).

БСС, имея в своем составе высокостабильный рубидиевый стандарт частоты, формирует сетку синхрочастот (тактовые частоты радиоканалов – символы, пакеты, циклы, секунды), которую раздает в бортовые системы. К этой сетке привязывается и шкала бортового времени в УВС. БСС по командам от УВС осуществляет коррекцию фазы и частоты синхроимпульсов.

БВКУ предназначен для формирования наиболее важных разовых команд, управляющих работой бортовых систем в нештатных ситуациях, связанных с отказами ИУС или внутренних линии связи БС. Он преобразовывает управляющую информацию от УВС (или другого абонента мультиплексного канала обмена) в импульсные разовые команды, поступающие непосредственно на исполнительные элементы блоков управления бортовых систем.

Общими задачами ИУС, БТМ и БУ, входящих в бортовые системы, являются задачи контроля работоспособности бортовой системы (допусковый контроль параметров), обнаружение и анализ нештатной ситуации, выбор и реализация алгоритмов ее парирования, формирование и передача отчета в УВС. Кроме этого они осуществляют управление аппаратурой бортовой системы с целью оптимизации ее работы (например, поддержание заданной температуры или выбор канала приема, свободного от помех).

БРТК в рамках задач БКУ выполняет следующие функции: выделяет из общего потока связной информации, поступающего с КС, пакеты служебной информации, декодирует их и пересылает в УВС; принимает от УВС пакеты служебной информации для передачи в НКУ, кодирует их и вставляет в поток связной информации, идущей на КС;

осуществляет совместно с КС сверку БШВ со шкалой времени в НКУ; передает на КС навигационную информацию (вектор состояния, навигационный альманах), полученную из УВС.

Работу БКУ можно разделить на следующие режимы: начальные, функциональные, дежурные, технологические. К начальным относятся режимы, обеспечивающие приведение бортовых систем КА в рабочее состояние после срабатывания контакта отделения КА от ракеты-носителя. К функциональным относятся режимы, обеспечивающие организацию вычислительного процесса, бортового времени, автоматического и оперативного (из НКУ) управления и контроля, навигационных измерений и т. д. К дежурным относятся режимы, обеспечивающие возможность управления из НКУ при отсутствии связи по крайней мере с одной из КС. В этом режиме обеспечивается возможность приема информации с КС и при потере ориентации КА при уменьшении скорости передачи в канале КС–КА до 1–2 Мбит/с.

Технологические режимы работы БКУ используются при наземных испытаниях КА.

## 5. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ РОСТЕЛЕСАТ

### 5.1. Принципы разработки архитектуры

Рациональной методологией системного анализа и синтеза в данном случае является методология так называемого «архитектурного набора функций», впервые сформулированная и методически разработанная на фирме IBM (Р. Сипсер) в 60–70 гг. при создании первой сети вычислительных машин (сеть SNA). Эта методология затем была использована при создании семиуровневого протокола открытых систем и при последующих разработках систем телекоммуникаций («система-12» фирмы Алкатель и т. д.).

В основе методологии лежит принцип развития, т. е. признание как одного из жестких ограничений системного анализа того факта, что за время разработки и последующей эксплуатации системы происходит смена нескольких поколений аппаратных средств и система, не рассчитанная на постоянную модернизацию и замену этих средств, либо никогда не будет введена в строй, либо будет обладать заведомо устаревшими характеристиками. Преодоление указанного противоречия достигается путем представления системы в виде ансамбля («архитектурного набора логически-независимых» (Р. Сипсер) функций, реализация которых в аппаратно-программных средствах обеспечивает практически полную взаимную независимость работы этих средств, а стандартизация физических и логических параметров сопряжения обеспечивает их полную взаимозаменяемость при выполнении ими тождественных функций.

Из указанной методологии вытекает ряд важных методических следствий, касающихся как разработки и свойств самого архитектурного набора функций, так и организационных принципов создания системы РОСТЕЛЕСАТ.

В части свойств архитектурного набора основные из этих следствий следующие:

архитектурный набор функций вместе с их взаимными связями (архитектура системы) полностью описывает все свойства системы;

проведенный последовательно на всех уровнях декомпозиции с помощью указанной методологии анализ позволяет описать все свойства системы с помощью конечного числа формально определенных функций, что открывает возможности и указывает пути создания полностью автоматической системы;

в основе архитектуры системы связи лежит некая стандартная каноническая структура функций, дополняемая относительно не-

большим набором оригинальных функций, составляющих отличительные особенности конкретной системы;

функции архитектурного набора реализуются на аппаратных комплексах системы (в данном случае на КА, АС, КС, узлах связи, центрах управления и т. д.) с помощью соответствующих аппаратно-программных средств (узлов, блоков, приборов и т. д.);

взаимодействие функций обеспечивается с помощью «протоколов связи», стандартизация которых вместе с физическими параметрами для данной системы позволяет обеспечить взаимно-независимую разработку и модернизацию отдельных аппаратных средств и всего аппаратного комплекса в целом, обеспечивая тем самым органическое включение процесса модернизации уже на самых ранних стадиях разработки системы.

Из перечисленных свойств архитектурного набора вытекает, что задача управления в системе прежде всего заключается в организации процессов обмена информацией внутри и между функциями ее архитектурного набора. При этом, естественно, должны быть организованы также процессы обмена информацией между указанными функциями и внешними, по отношению к системе, службами и организациями, а также процессы управления состояниями аппаратных средств, реализующих эти функции.

Организационные принципы создания системы, вытекающие, как следствие, из методологии архитектурного набора, вкратце сводятся к следующему:

структура вновь разрабатываемой системы должна допускать немедленное начало работ по ее развертыванию на базе уже существующих аппаратно-программных средств и аппаратных комплексов с последующей постепенной их заменой на более новые и новейшие по мере разработки и налаживания серийного выпуска этих последних, а также по мере развития и возникновения новых потребностей в услугах связи;

система в долгосрочном плане должна быть четко ориентирована на конкретные типы или группы пользователей с как можно более точным прогнозом дальнейшего их развития;

система должна иметь многолетнюю программу развития, адекватно учитывающую (отражающую) прогноз развития потенциальных пользователей; экономическая стратегия системы также должна опираться на прогноз развития экономики потенциальных пользователей;

основу экономической стратегии при создании системы составляет принцип получения окупаемости уже на самых ранних этапах ее создания, т. е. с использованием уже существующего парка аппаратно-программных средств и комплексов;

вновь создаваемая система должна органически вписываться и сопрягаться с уже существующими или вновь создаваемыми аналогичными системами, дополняя их функционально вследствие особенностей своего построения;

для обеспечения гибкости экономической стратегии при создании и развитии системы она должна иметь стандарты на аппаратные средства и аппаратные комплексы, а также на программное обеспечение и прежде всего прикладное.

Перечисленные организационные принципы фактически определяют цели и задачи, которым должна следовать стратегия управления разработкой системы. При этом, как следует из указанных принципов, а также из перечисленных выше свойств функциональной архитектуры системы, основной постулат этой стратегии состоит в том, что процессы разработки, эксплуатации и дальнейшей модернизации системы в общем случае совмещены в ней по месту и протекают одновременно, т. е. образуют единый процесс функционирования системы, отдельные указанные составляющие которого в разные периоды этого функционирования могут иметь разную интенсивность.

В связи с этим следует отметить особую роль организации работ по созданию стандартов системы. Недостаточность или отсутствие стандартизации резко сужает возможности маневра при создании и развитии системы, что, в конечном счете, отрицательно сказывается на сроках и стоимости ее создания и развития, а следовательно, и на экономической эффективности и конкурентоспособности системы в целом. С учетом работ по стандартизации, проводимых международными организациями, следует отметить, что в данном случае речь идет о создании пакета собственных стандартов системы, в которых международные рекомендации входили бы органической составной частью.

## 5.2. Архитектура системы РОСТЕЛЕСАТ. Стандарты

Собственно систему РОСТЕЛЕСАТ составляет:

группировка КА;

центр управления системой;

координирующие станции, осуществляющие оперативное управление связным оборудованием КА;

шлюзовые станции для сопряжения с другими сетями;

абонентские станции.

АС и ШС являются окончаниями спутниковой системы РОСТЕЛЕСАТ. Работа их осуществляется через межсетевые интерфейсы. ЦУС в системе РОСТЕЛЕСАТ распределенный, т. е. содержит цент-

ральный ЦУС и региональные, отвечающие за организацию связи в отдельных зонах (сетях).

Из рис. 5.1 видно, что система РОСТЕЛЕСАТ обеспечивает следующие виды соединений:

соединения своих собственных абонентов между собой;

соединения своих собственных абонентов с абонентами других сетей и систем связи;

транзитное соединение абонентов других систем и сетей между собой.

Осуществление соединений обеспечивается упорядоченным процессом последовательного получения абонентом ресурса связи (с предварительным запросом или без такового в зависимости от дисциплины) сначала в своей сети а затем, через цепь интерфейсов (шлюзов) в смежных сетях, вплоть до сети вызываемого корреспондента. Необходимо подчеркнуть, что в соответствии с указанным процессом каждая из сетей, изображенных на рис. 5.1, работает автономно, обеспечивая связью своих корреспондентов между собой внутри сети, так и с внешними по отношению к этой сети абонентами (в последнем случае через соответствующие шлюзы). Таким образом, организация сетей соответствует принципам методологии архитектурного набора, изложенным выше. Это дает необходимую гибкость в организации этих сетей, их дальнейшем наращивании и развитии, а также в объемах и качестве предоставляемых пользовательских услуг.

Организация соединений в соответствии со схемой на рис. 5.1, обеспечивая для системы РОСТЕЛЕСАТ наибольшую гибкость при организации и удовлетворении запросов пользователей, выявляет также ряд проблем, которые должны быть решены на последующих этапах разработки. Основные из этих проблем следующие:

выявление и анализ существующих и вновь создаваемых сетей и систем связи (государственных, ведомственных, коммерческих и т. д.), с которыми целесообразно осуществление сопряжения;

анализ потребностей в создании и классификация собственных наземных распределительных сетей системы РОСТЕЛЕСАТ;

решение всех технических вопросов по организации сопряжения с этими сетями и обеспечение требований пользователей этих сетей по предоставляемым услугам (как-то объем и качество предоставляемых услуг при различном составе участвующих в соединении сетей, обеспечение сквозной нумерации и сигнализации, разработка и сопряжение протоколов доступа к ресурсам связи, управление ресурсами сетей и поддержание этих ресурсов на заданных уровнях и т. д.);

решение всех организационных, правовых и финансовых вопросов по взаимному сопряжению и совместной работе всех упомянутых выше сетей.

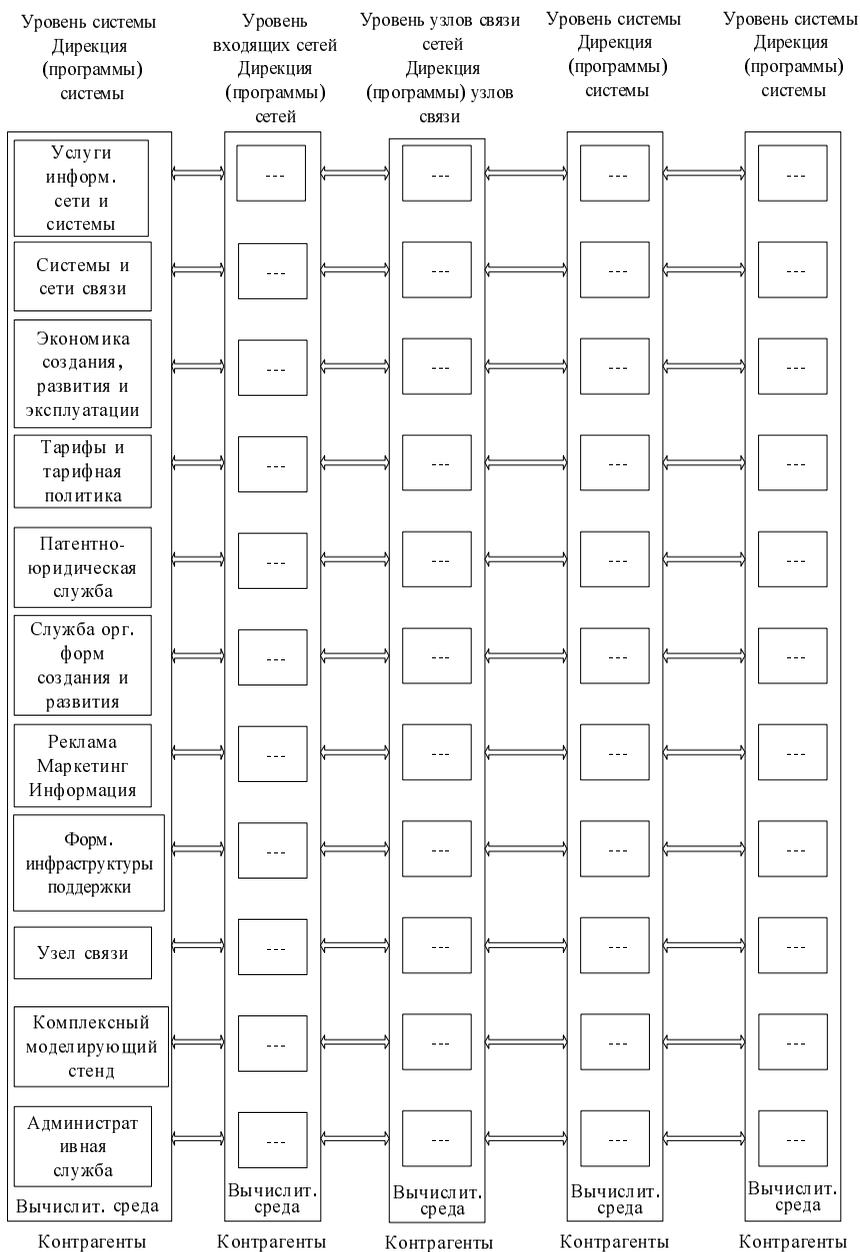


Рис. 5.1. Архитектурный набор функции РОСТЕЛЕСАТ

Архитектурный набор функции РОСТЕЛЕСАТ и их взаимосвязи изображены на рис. 5.1. Функции, входящие в собственно архитектурный набор, показаны строками схемы. Ее столбцами показаны уровни иерархии управления входящих в нее самостоятельных систем. Существенно, что архитектурный набор функции в представленной архитектуре повторяется (воспроизводится) на всех уровнях иерархии системы РОСТЕЛЕСАТ. При этом, в зависимости от уровня, изменяется только объем задач, выполняемых каждой из входящих в набор функций.

На верхнем уровне (Дирекция системы РОСТЕЛЕСАТ) задачи управления весьма сложны, слабо поддаются формализации и значительная часть их выполняется людьми (служащими), для которых вычислительные средства играют вспомогательную роль. На нижнем уровне (абонентские станции, локальные сети) задачи каждой из функций упрощаются настолько, что могут выполняться уже чисто программными средствами с осуществлением контроля из верхних уровней управления.

Конкретное содержание задач управления на каждом из уровней и для каждой функции определяется архитектурой этой функции, которая выявляется аналогичным образом, т. е. путем использования методологии и методических приемов, изложенных выше. При этом, естественно, степень участия операторов (служащих, абонентов) в процессе организации и поддержания связи (соединения) на каждом уровне зависит от достигнутой степени формализации каждой функции архитектурного набора при решении задач управления этого уровня, т. е., в конечном счете, от достигнутой степени детализации (декомпозиции) каждой такой функции и имеющихся на настоящий момент возможностей формального описания конкретных физических процессов.

Таким образом, последовательно проведенный на базе изложенной выше методологии системный анализ и синтез (задача последующих этапов работы) позволит выявить объективные предпосылки для расчета количества и требований к квалификации обслуживающего персонала и определения объема выполняемых им обязанностей на каждом уровне иерархии.

Основные особенности данной архитектуры применительно к системе РОСТЕЛЕСАТ состоят в следующем:

иерархическое построение каждой функции из архитектурного набора в соответствии с иерархией входящих в систему самостоятельных систем (сетей);

на каждом уровне иерархии осуществляется обмен информацией между всеми функциями архитектурного набора, поэтому все функ-

ции каждого уровня погружены в вычислительную среду, сосредоточенную или распределенную;

для обеспечения связи между уровнями иерархии в пределах одной функции используются каналы связи, арендованные (государственные, коммерческие и т. д.) либо часть ресурса собственной системы РОСТЕЛЕСАТ.

Необходимо отметить, что даже в случае использования в целях управления части ресурса собственной системы РОСТЕЛЕСАТ арендованные каналы связи (соответствующей емкости) должны остаться (на случай ликвидации крупных аварий в системе РОСТЕЛЕСАТ, ввода новых средств, расширения системы РОСТЕЛЕСАТ и т. д.), т. е. в случаях, когда собственный ресурс связи системы РОСТЕЛЕСАТ не может быть использован с достаточной эффективностью для целей управления. Имеет место взаимодействие каждого уровня в иерархии системы с внешними, вспомогательными и поддерживающими службами и системами: система единого времени страны, государственная инспекция электросвязи, система контроля космического пространства, гидро-, метео- и ионосферная службы, центральная и местные службы энергоснабжения, транспорт, ремонтные службы и производства, центральная и местная администрации, правозащитные, юридические и социальные структуры и т. д. в соответствии с назначением и объемом задач каждой функции.

Таким образом, архитектура системы РОСТЕЛЕСАТ представляет собой упорядоченную структуру из двух типов информационных сетей: иерархических информационных сетей, образующих архитектурный набор функций системы РОСТЕЛЕСАТ, и информационных неиерархических сетей для каждого уровня в иерархии управления, содержащих как входящие элементы все функции архитектурного набора данного уровня (Дирекция уровня). На указанной архитектуре в ее информационных сетях постоянно протекают процессы получения, обработки и обмена информацией, обеспечивающие эффективное функционирование системы в целом. При этом процессы организации соединений и предоставления услуг связи являются завершающими процессами в многозвенном цикле процессов создания и поддержания на должном уровне соответствующих ресурсов системы: аппаратных, информационных, связанных и входящих в них составляющих. Таким образом, процессы управления системой есть упорядоченные (автономно протекающие, но взаимоувязанные) процессы, организуемые в каждой из указанных информационных систем, направленные на оптимизацию ее (информационной системы) функционирования по соответствующему критерию. Формализация этого критерия для каждой из функций архитектурного набора и для

каждого уровня иерархии управления подлежит решению на последующих этапах работы.

Указанные выше информационные системы реализуются с помощью аппаратно-программных средств соответствующего уровня, организуемых в аппаратные комплексы (КА, АС, КС, ШС, узлы связи, ЦУС и т. д.), снабженные каналами связи, в качестве которых используются арендованные каналы и часть собственного связного ресурса системы РОСТЕЛЕСАТ, а также местные (локальные) сети каждого такого комплекса, объединяющего его аппараты. Отсюда вытекает также следующий комплекс задач, решение для которых должно быть найдено в процессе выполнения дальнейших работ:

- содержательное описание и разработка алгоритмов и программ прикладных процессов, протекающих на функциях архитектурного набора;
- содержательное описание и разработка алгоритмов и программ взаимодействия прикладных процессов для каждого из уровней иерархии управления;

- определение объемов циркулирующей на функциях архитектурного набора и между ними информации и параметров трафика;

- определение требований к пропускной способности и другим параметрам сетей, организуемых для обмена информацией управления в системе РОСТЕЛЕСАТ;

- разработка протоколов связи для сетей обмена информацией управления;

- разработка (организация) сетей для обмена информацией управления в системе РОСТЕЛЕСАТ.

Соответственно согласно вышеизложенным методологическим принципам архитектуры вытекает необходимость разработки следующего набора стандартов системы РОСТЕЛЕСАТ:

- стандарты информационного обмена в иерархических информационных системах и стандарты, регулирующие работу этих систем, детализированные по отдельным функциям, составляющим эти системы;

- стандарты информационного обмена в информационных системах для различных уровней иерархии и стандарты, регулирующие работу этих систем, детализированные по отдельным составляющим функциям;

- стандарты, определяющие сетевые протоколы, обеспечивающие функционирование указанных информационных систем;

- стандарты, определяющие сопряжение с системами пользователей и с взаимодействующими системами;

- стандарты на аппаратные средства и программное обеспечение системы РОСТЕЛЕСАТ;

- стандарты на аппаратные комплексы системы РОСТЕЛЕСАТ.

### 5.3. Воздействия на систему. Организация иммунных систем

Любая система связи, поскольку она занимает определенное место в топологии развивающихся организационных структур (технических и социальных), постоянно испытывает воздействия: благоприятные и неблагоприятные, вплоть до разрушающих.

Одна из задач архитектурного набора функций и процессов, протекающих на этом наборе, состоит в том, чтобы использовать благоприятные воздействия с максимальной пользой для системы и свести к минимуму ущерб или полностью нейтрализовать последствия воздействий неблагоприятных. Все неблагоприятные воздействия в данном случае можно разделить на следующие:

воздействия природного характера, в основе которых лежит изменение (постоянное или временное) условий функционирования системы, сюда же при некоторых допущениях можно отнести отказы аппаратуры, перерывы в энергоснабжении и т. д.;

антропогенные воздействия случайного характера, или так называемые неумышленные воздействия, т. е. воздействия, обусловленные человеческой деятельностью в смежных областях, возникновение которых обусловлено явлениями вторичного характера;

воздействия, обусловленные социальными причинами, т. е. умышленные воздействия, носящие конфликтный характер, которые могут иметь как неорганизованный (хулиганство), так и организованный характер, в последнем случае борьба с воздействиями особенно тяжела, так как их организует конфликтующая система.

Организованные воздействия осуществляются по всем функциям архитектурного набора. Помимо чисто технических (создание помех, несанкционированное использование ресурса) осуществляется и патентно-правовая борьба, и экономическая борьба, и борьба тарифов, и борьба за производителя и технологии, и борьба за пользователя, и борьба организационная (путем создания различного рода организаций и заключения двухсторонних и многосторонних соглашений).

Борьба с воздействиями природного характера сводится прежде всего к правильному учету всех природных факторов при проектировании системы и достижения необходимой достаточности объема задач, решаемых каждой функцией архитектурного набора, определяющих физическую реализацию системы. Это прежде всего функции контроля и диагностики аппаратных средств и каналов связи.

Борьба с неумышленными воздействиями антропогенного характера, а также умышленными случайными воздействиями, в основном, ложится на функции аппаратных средств и каналов связи, при том однако условии, что в этом случае желательно определение системой

РОСТЕЛЕСАТ источника и характера помех.

Борьба с организованными умышленными воздействиями осуществляется каждой функцией архитектурного набора в пределах своей области действия. Ниже рассматриваются только технические воздействия и принципы технической защиты.

Для функции услуг, информационных сетей и систем воздействия заключаются в следующем:

перехват сообщений пользователя;

имитация сообщений пользователя;

раскрытие дислокации и организационной структуры пользователя;

получение данных о пользователе, хранящихся в системе РОСТЕЛЕСАТ;

раскрытие самого факта пользования системой;

получение данных о системе РОСТЕЛЕСАТ через аппаратуру пользователя;

несанкционированное потребителем использование его аппаратуры для получения ресурса связи в системе РОСТЕЛЕСАТ;

несанкционированное использование данных потребителя для получения ресурса связи в системе;

воздействия на службы управления доступом и предоставления услуг.

Защита от указанных воздействий требует введения целого комплекса организационно-технических мероприятий, ответственность за выполнение которых распределяется между пользователем и системой. Основные из этих мероприятия заключаются в следующем:

введение в аппаратуру пользователя устройств индивидуальной и групповой крипто- и иммитозащиты пользовательской информации и адресов;

введение личных кодовых номеров для персонала пользователя, кодовых номеров аппаратуры и процедур идентификации при доступе персонала к аппаратуре и идентификации персонала и аппаратуры при получении ресурса связи;

исключение несанкционированной выдачи аппаратурой пользователя какой-либо информации, хранящейся в ее памяти, сверх официально разрешенной;

исключение несанкционированной выдачи системой каких-либо данных о пользователе;

исключение несанкционированного получения через аппаратуру пользователя каких-либо дополнительных данных о системе РОСТЕЛЕСАТ сверх сообщаемых ему официально через устройства отображения или иным путем;

защита пользователем аппаратуры от доступа посторонних лиц;  
введение в аппаратуру управления доступом и предоставления услуг индивидуальной и групповой крипто- и иммитозащиты управляющей информации и адресов;

независимая фиксация и документирование в аппаратуре пользователя и в системе РОСТЕЛЕСАТ всех попыток и фактов доступа и пользования ресурсами связи.

Для функции сетей и систем связи воздействия заключаются в следующем:

создание прицельных и заградительных помех на уровне физических каналов или иных воздействий на аппаратуру и среду распространения; эти воздействия организуются либо глобально для вывода из строя всей системы, либо локально для вывода из строя какой-либо ее области; воздействия могут быть направлены как на КА, так и на наземные средства либо комбинированно;

избирательные (или групповые) воздействия на отдельные (или группу) логические каналы связи;

воздействия на информационные системы управления и их каналы связи.

Защита от указанных воздействий также составляет целый комплекс организационно-технических мероприятий. Защита на уровне физического канала требует следующих мероприятий:

установки соответствующих датчиков и анализаторов помех на КА, АС и КС, а также соответствующих программ анализа на ЦУС (функции анализа электромагнитной обстановки и анализа трасс распространения) в совокупности с исключением для создателя помех наблюдать результаты своей работы (обработка на борту КА);

использование достаточной мощности множества состояний пространственно-временной структуры рабочих сигналов, которая должна быть адекватной возможным характеристикам систем создания помех (для коммерческих структур эти характеристики по-видимому не слишком высоки);

закрытия информации управления и радиоданных, сообщаемых пользователям по каналам управления.

Защита на уровне логического канала требует:

исключения для создателя помех идентификации канала с каким-либо пользователем;

исключения для создателя помех наблюдения результатов своей работы;

закрытия информации управления и радиоданных.

Таким образом, способы защиты физических и логических каналов для данной функции в целом совпадают. Защита от воздействия

на информационные системы РОСТЕЛЕСАТ и каналы управления складывается из мероприятий, аналогичных мероприятиям, проводимым для защиты информационных систем пользователя и мероприятий по защите физических и логических каналов системы РОСТЕЛЕСАТ, т. е. индивидуального и группового закрытия информации, циркулирующей в указанных выше информационных системах, образующих архитектурный набор функций системы, закрытия адресов источников и получателей информации, а также исключения возможности для создателя помех идентификации физических и логических каналов, по которым происходит обмен указанной информацией, и отождествления этих каналов с какой-либо функцией архитектурного набора, и исключения возможности наблюдения результатов воздействий на каналы и информационные системы управления.

Выполнение указанного полного пакета мероприятий по защите системы РОСТЕЛЕСАТ от воздействий в рамках функции сетей и систем связи представляет собой достаточно дорогую процедуру. Поэтому, с учетом наблюдаемого процесса быстрого развития систем и средств связи в мире, требуется дополнительная системная оценка степени воздействий, их источников, способов и средств создания (т. е. разработка системной модели воздействий) для разработки защиты от них на уровне разумной достаточности с учетом дальнейшей перспективы развития. Аналогичное замечание следует сделать и относительно пакета мероприятий по защите системы РОСТЕЛЕСАТ и в рамках функции услуг, информационных сетей и систем, поскольку закрытие пользовательской информации для массового потребителя (бытовое обслуживание населения), по-видимому, не является актуальным. С этой точки зрения более важной представляется оценка сравнительной стоимости потерь от несанкционированного доступа к ресурсам системы РОСТЕЛЕСАТ или несанкционированного использования кода (адреса) абонента сравнительно со стоимостью иммунной системы РОСТЕЛЕСАТ и технической возможностью ее введения в аппаратуру пользователей (например, в носимые станции). Подобная оценка однако также требует учета ряда социальных и демографических факторов (создания соответствующих моделей) с достаточно точной ориентацией на конкретного пользователя.

Из изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Для адекватной реакции на воздействия система РОСТЕЛЕСАТ по каждой функции архитектурного набора (координате) должна иметь в общем случае достаточно мощное множество возможных состояний. Реакция системы РОСТЕЛЕСАТ должна осуществляться достаточно быстро и скрытно.

2. Воздействия могут осуществляться как прямым способом, в рамках одной иерархической информационной системы РОСТЕЛЕСАТ управления (например, разрушение физического ресурса с помощью прицельной или заградительной помехи), так и косвенно, путем утечки информации из одной иерархической информационной системы РОСТЕЛЕСАТ (по одной координате, например техническое состояние) и организации воздействия в рамках другой информационной системы РОСТЕЛЕСАТ (по другой координате, например изменение тарифов за услуги). Указанные особенности делают необходимым организацию систем защиты (иммунных систем) на всех без исключения функциях архитектурного набора (так называемые «коммерческие секреты» системы РОСТЕЛЕСАТ). При этом особое значение наряду с датчиками (рецепторами) воздействий приобретает профилактическая работа по предотвращению утечки (расшифровки) информации.

3. Создание иммунных систем в полном масштабе достаточно дорого, поэтому необходима разработка моделей воздействия на систему, для чего должен быть выполнен анализ ее социального статуса относительно других систем (определена «экологическая ниша»), а также по возможности точно определен тип потребителя услуг системы РОСТЕЛЕСАТ.

Ранжирование проблем защиты системы РОСТЕЛЕСАТ, разработка системных моделей воздействий и иммунных систем в целом должны быть выполнены на последующих этапах работы. С учетом большой гибкости в организации и взаимной независимости работы аппаратно-программных средств, обеспечиваемых архитектурой (см. рис. 5.1), внедрение этих систем может осуществляться поэтапно с достаточной эффективностью в соответствии с наполнением и развитием системы РОСТЕЛЕСАТ.

#### **5.4. Взаимодействия аппаратных комплексов при организации управления**

Процессы, происходящие на функциях архитектурного набора, и их взаимодействие составляют процесс управления системой. Содержание процесса управления (т. е. фактически «удельный вес» каждого из составляющих его процессов отдельных уровней) зависит от текущего состояния системы РОСТЕЛЕСАТ. Поскольку, однако, в соответствии с принятой методологией процесс эксплуатации системы осуществляется одновременно с процессами ее наполнения, расширения и модернизации целесообразно сначала рассмотреть более крупные фрагменты процесса управления, связанные с организацией и

взаимодействием аппаратных комплексов системы РОСТЕЛЕСАТ. Эти фрагменты связаны прежде всего с количеством и состояниями наполняющих систему аппаратных комплексов.

С этой точки зрения условно можно различить следующие состояния (фрагменты процесса управления) системы РОСТЕЛЕСАТ:

состояние генерации системы, т. е. создания ее физической структуры и активизации аппаратных комплексов (запуск и активизация КА, установка и активизация КС, установка АС, ввод в строй ЦУС и т. д.);

состояние активизации системы, т. е. установление взаимодействия КА между собой и с ЦУС, подключения ограниченного количества КС и АС и осуществления взаимодействия КА и ЦУС с ними, проверка и коррекция основных характеристик системы и т. д.;

состояние развертывания системы, т. е. постепенное подключение к ней КС и АС, сопряжение КС с местными и магистральными сетями, создание и развитие учетно-адресных служб системы в подключаемых регионах;

обработка сопряжения со смежными системами, проверка и уточнение функциональных характеристик и программ работы системы, набор и обработка статистики и т. д.;

состояние ввода системы в эксплуатацию, т. е. предоставление абонентам определенных регионов гарантированных услуг связи с введением необходимой тарификации;

состояние эксплуатации системы, т. е. гарантированное предоставление полномасштабных услуг связи пользователям при непрерывно протекающем процессе поддержания функционирования системы на должном уровне с обеспечением ее непрерывного расширения и развития.

Процесс эксплуатации предполагает непрерывное протекание в системе РОСТЕЛЕСАТ с той или иной степенью интенсивности всех частных процессов, характеризующих предыдущие состояния системы РОСТЕЛЕСАТ, т. е. правильно организованная и нормально функционирующая система РОСТЕЛЕСАТ будет находиться одновременно в состояниях генерации, активизации, развертывания и эксплуатации (для отдельных территорий, служб, аппаратных комплексов и т. д.). При этом, однако, существенно то, что приведенное выше ранжирование процессов управления в соответствии с состояниями системы РОСТЕЛЕСАТ позволяет упорядочить весь этот процесс как для отдельных ее частей, так и для системы РОСТЕЛЕСАТ в целом.

Особенности указанных состояний заключаются в следующем:

уже отмеченное их совмещение по времени в правильно организованной системе РОСТЕЛЕСАТ;

границы этих состояний достаточно условны и могут взаимно перекрываться;

всем указанным этапам предшествует ряд подготовительных периодов, в течение которых осуществляются строительные и монтажные работы и создаются эксплуатирующие и ремонтные службы и структуры в центре и на местах;

с учетом сложности системы РОСТЕЛЕСАТ и практической невозможности выполнения «вручную» даже начальных этапов ввода ее в строй особое значение приобретает моделирование и разработка алгоритмов и программ автоматизированного осуществления этих этапов, что является одной из важных функций комплексного моделирующего стенда;

последовательность указанных выше состояний представляет собой укрупненный процесс (организацию алгоритмов) создания, эксплуатации и дальнейшего развития системы РОСТЕЛЕСАТ.

Процессы управления для каждого из состояний системы РОСТЕЛЕСАТ протекают на отдельных функциях архитектурного набора и последовательно разлагаются на отдельные составляющие согласно методологическим принципам, изложенным выше. Поэтому возможна организация алгоритма выполнения каждого этапа с последовательным его делением на более мелкие шаги и детализацией соответствующих функций. Указанные процессы описаны ниже для двух основных функций архитектурного набора, обеспечивающих организацию связи.

### **5.5. Принципы организации прикладного программного обеспечения**

В соответствии с методологическими принципами, изложенными выше, можно показать, что структура прикладного программного обеспечения системы РОСТЕЛЕСАТ адекватно отражает ее архитектуру и, следовательно, соответствующим образом повторяет все ее свойства. Отсюда, в частности, следует, что архитектура прикладного программного обеспечения соответствует архитектуре на рис. 5.1. Аналогичным образом стандарты и протоколы информационного обмена между элементами прикладного программного обеспечения должны определенным образом соответствовать стандартам и протоколам связи аппаратных реализаций элементов архитектуры. Указанное свойство прикладного программного обеспечения позволяет сделать ряд весьма важных для всего последующего процесса разработки системы РОСТЕЛЕСАТ принципиальных выводов.

1. Архитектура системы РОСТЕЛЕСАТ представляет собой один из способов формального описания ее работы, поэтому достаточно подроб-

ная разработка архитектуры (1-й; 2-й; 3-й ... и т. д. уровни декомпозиции) позволяет получить и достаточно подробное формальное описание этой работы. При этом указанное описание будет полностью зафиксировано в структуре и свойствах прикладного программного обеспечения.

2. Возможность получения формального описания работы системы позволяет построить и промоделировать на комплексном моделирующем стенде практически любой этап и любую ситуацию процесса ее создания и эксплуатации. Достаточно ограниченное число процессов, не поддающихся формальному представлению, может быть решено вариационными либо статистическими методами. Это принципиально позволяет создавать и проводить отработку «боевых» программ системы РОСТЕЛЕСАТ еще до создания какой-либо ее материальной части или получения результатов лабораторных исследований.

3. Состав и квалификация операторов, обслуживающих систему, определяется только количеством и характером точек в алгоритме принятия решений, где процесс управления не поддается формальному описанию.

4. Возникает возможность целенаправленной организации сбора и обработки статистических данных и машинного моделирования направлений дальнейшего развития системы РОСТЕЛЕСАТ.

Из сформулированных выше свойств архитектуры прикладного программного обеспечения вытекает и то, что она допускает практически любую конфигурацию вычислительной среды, что в свою очередь резко повышает гибкость конструктивных решений. На первый план здесь теперь выдвигаются требования надежности и стоимости. С этой точки зрения вычислительную среду информационных систем Дирекции в уровнях иерархий управления целесообразно делать распределенной в виде локальных вычислительных сетей, что обеспечивает гибкость их создания и дальнейшего развития.

## **5.6. Каналы управления системой. Принципы организации**

Из архитектуры системы РОСТЕЛЕСАТ (см. рис. 5.1) следует, что каналы управления должны обеспечивать два направления информационного обмена: обмен в иерархических информационных системах РОСТЕЛЕСАТ и обмен в информационных системах Дирекций уровней.

Обмен в иерархических информационных системах РОСТЕЛЕСАТ есть фактически обмен между пространственно разнесенными аппаратными комплексами (КА, ПС, КС, АС, ЦУС), и для его организации используется часть ресурса связи системы РОСТЕЛЕСАТ либо арендованные каналы других систем.

Обмен в информационных системах Дирекций есть информационный обмен фактически внутри аппаратного комплекса. Его реализация в настоящее время осуществляется путем создания локальных вычислительных сетей.

Объем связного ресурса системы РОСТЕЛЕСАТ, выделяемого для организации каналов управления между аппаратными комплексами, естественно должен быть переменным во времени и различающимся для различных направлений, поскольку на этапах активизации или ввода в эксплуатацию, а также при ликвидации крупных неисправностей каналы управления работают с максимальной нагрузкой. С этой же целью функциям архитектурного набора должен присваиваться высший (хотя и различающийся для различных функций и срочности сообщений) приоритет в получении ресурса связи. Каналы управления внутри аппаратных комплексов целесообразно организовывать на базе локальных вычислительных сетей, имеющих единый распределяемый оперативно связной ресурс (моноканал) достаточной емкости. Пропускная способность каналов управления:

для каналов выделяемого связного ресурса системы РОСТЕЛЕСАТ – *минимальная* при учете только сигнализации для соединения абонентов (без учета потребностей в рассылке служебной информации, сборе данных о состоянии аппаратных средств, диагностике неисправностей и т. д.); *максимальная* с занятием всего ресурса связи по отдельным каналам, направлениям и стволам;

для каналов обмена информацией внутри аппаратных комплексов определяется составом средств и способом организации аппаратного комплекса (сосредоточенный либо распределенный), а также его статусом в иерархии управления, т. е. классификация пропускной способности каналов управления в этом случае должна быть адекватна классификации аппаратных комплексов (соответственно, в последующем должны быть выбраны типы локальных вычислительных сетей этих комплексов).

## 5.7. Обеспечение конфиденциальности

Под конфиденциальностью понимается свойство информации, характеризующееся способностью сохраняться в тайне от субъектов, у которых нет полномочий на право ознакомления с ней. Обеспечение конфиденциальности информации и защита ее от утечки, искажения или уничтожения особенно важны в коммерческих информационных системах, предоставляющих свои услуги промышленным и социальным структурам, а также частным лицам.

Опыт стран Западной Европы и США показывает, что несмотря

на развитое законодательство в области информации, предусматривающее крупные штрафы и лишение свободы для нарушителей, ущерб только от компьютерных преступлений составляет более 100 млрд долларов США. В России в настоящее время отсутствует система защиты коммерческих секретов и другой конфиденциальной информации. Из законодательных актов введен в действие только один — Указ от 20.10.92 г. «О правовой охране программ для ЭВМ и баз данных».

Основными видами потенциальных нарушений безопасности информации (показатель, характеризующий уровень ее защиты) в многофункциональной и глобальной информационной системе РОСТЕЛЕСАТ являются:

нарушения, ведущие к утечке информации из подсистем и линий связи, искажению информации и дезорганизации системы;

несанкционированные действия обслуживающего персонала системы, ведущие к искажению, уничтожению или утечке информации;

несанкционированные действия абонентов, ведущие к утечке информации;

нарушения безопасности и достоверности информации посредством несанкционированного доступа к программному обеспечению системы и базам данных, внедрения в них компьютерных вирусов;

воздействие на систему и ее сети связи неблагоприятных факторов окружающей среды и стихийных бедствий, ведущих к нарушению функционирования системы и уничтожению информации.

Локализация и предотвращение указанных воздействий на систему могут быть реализованы только при системном подходе к организации и обеспечению защиты информации и системы, который предусматривает:

системный анализ потенциально возможных угроз безопасности системы и информации;

комплексное использование методов и средств защиты и создание механизма защиты, гарантирующего надежное перекрытие возможных каналов утечки и несанкционированного доступа к системе;

разработку методов и средств защиты одновременно с созданием системы РОСТЕЛЕСАТ;

аттестацию и сертификацию средств защиты и каналов передачи, приема и обработки конфиденциальной информации.

Система защиты информации должна обеспечивать:

создание механизма защиты, адекватного потребностям защиты информации и системы РОСТЕЛЕСАТ (по критерию достаточности);

удобство для пользователей (не создавать дополнительных трудностей);

минимизацию привилегий в доступе к ресурсам системы и информации, предоставляемых пользователям;  
полноту контроля всех обращений к системе и информации;  
наказуемость нарушений (отказ в доступе к системе и др.);  
экономичность механизма защиты.

К настоящему времени разработан достаточно развитый арсенал способов и средств, позволяющих при их комплексном использовании создать достаточно надежный механизм защиты. К ним относятся следующие средства защиты:

- 1) законодательные;
- 2) организационно-технологические;
- 3) технические;
- 4) программные;
- 5) криптографические.

*Законодательные средства защиты.* В процессе создания и эксплуатации системы РОСТЕЛЕСАТ механизм защиты должен опираться на законодательные акты России, которыми регламентируются правила использования и обработки конфиденциальной информации и устанавливаются меры ответственности за нарушение этих правил. Наряду с этим отношение работника к сохранению коммерческой тайны должно базироваться на сложившихся морально-этических нормах, которые большей частью не являются обязательными, однако их несоблюдение ведет, как правило, к потере авторитета, престижа человека или предприятия в целом со всеми вытекающими отсюда последствиями. Эти нормы бывают как неписанные (например, общепринятые нормы честности, ответственности и т. п.), так и оформленные в некоторый свод правил, инструкций (например, устав).

*Организационно-технологические средства защиты.* Они представляют собой совокупность организационно-технических мероприятий, решений и процедур, регламентирующих передачу и обработку информации на всех этапах технологического процесса создания и эксплуатации системы РОСТЕЛЕСАТ. К ним относятся мероприятия, направленные на обеспечение защиты при разработке общего проекта системы РОСТЕЛЕСАТ, монтаже, отладке, испытаниях и эксплуатации оборудования системы, организация охраны и ограниченного доступа в помещения, где обрабатывается конфиденциальная информация, организация технологии обработки информации, а также подбор и подготовка обслуживающего персонала. В целом этот комплекс мероприятий позволяет полностью или частично перекрывать значительную часть каналов утечки информации и обеспечить объединение всех используемых средств в целостный механизм защиты.

К данной группе относятся также методы, обеспечивающие создание таких структур различных компонентов системы РОСТЕЛЕСАТ (топология сети, режимы функционирования технических средств и т. д.), которые позволяют наиболее эффективно применять меры защиты.

*Технические средства защиты.* К ним относятся различные электронные и электронно-механические устройства, которые включаются в состав технических средств системы РОСТЕЛЕСАТ и выполняют в комплексе с другими средствами функции защиты и контроля доступа к информации и системе. К ним также можно отнести средства экранирования отдельных устройств и помещений для исключения побочных электромагнитных излучений, а также специальные средства излучения шумовых сигналов, маскирующих информационные сигналы.

*Программные средства защиты.* К программным средствам защиты относятся специальные программы, которые должны включаться в состав программного обеспечения системы РОСТЕЛЕСАТ для обеспечения функций защиты. В соответствии с выполняемыми функциями программы защиты разделяются на следующие группы: программы аутентификации, обеспечивающие подтверждение подлинности субъекта информационного доступа; программы разграничения доступа (к задачам, программам, элементам баз данных); программы защиты программ (операционных систем, систем управления базами данных, защиты при хранении программ, защиты от копирования, программы пользователей и др.), вспомогательные программы. Защита информации от компьютерных вирусов (особенно важна в вычислительных сетях) обычно реализуется разнообразными методами и средствами, в том числе специальными антивирусными программами.

*Криптографические средства защиты.* Процесс криптографического закрытия информации (шифрование и кодирование) может осуществляться как программными, так и аппаратными средствами. Аппаратная реализация в несколько раз производительнее программной и не требует больших затрат машинного времени. Поэтому в ряде зарубежных стран налажено промышленное производство аппаратуры для шифрования и имеется значительный опыт ее практического использования для сохранения коммерческой тайны, особенно в информационно-вычислительных сетях. Так как при передаче информации по линиям связи большой протяженности (в том числе радиопередачам) этот вид защиты является единственным способом надежной защиты передаваемых данных.

Перед началом эксплуатации системы РОСТЕЛЕСАТ ее подсистемы должны быть аттестованы и сертифицированы во взаимодействии

с системой защиты по показателям эффективности и достаточности в соответствии с нормативно-технической документацией. Все помещения системы РОСТЕЛЕСАТ и вспомогательные технические средства передачи, приема, обработки и хранения информации, которыми оборудованы указанные помещения, также подлежат аттестации.

## 5.8. Структура системы связи РОСТЕЛЕСАТ

Под структурой системы понимается совокупность ее элементов – космических аппаратов, земных станций и связей между ними. Выбор структуры системы заключается в выборе структуры орбитальной группировки (ОГ) КА, количества и схемы размещения ЗС различного типа и способа обеспечения связности. При этом следует исходить из необходимости выполнения системой своей основной функции (функции обеспечения связи любых абонентов обслуживаемой территории с заданным качеством), а также общих требований технико-экономического характера.

В основу выбора структуры системы РОСТЕЛЕСАТ были положены следующие принципы.

1. Как уже отмечалось, система РОСТЕЛЕСАТ является системой нового класса, не имеющей еще действующих аналогов в мире, поэтому многие вопросы ее построения еще не получили практической апробации. Из этого следует целесообразность построения системы в два этапа, с тем чтобы на первом этапе, используя имеющийся научно-технический задел, реализовать наиболее простой, но в то же время достаточно эффективный вариант построения системы, а на втором этапе, с учетом полученного опыта, расширить ее возможности. Это позволит сократить сроки разработки, развертывания и ввода в эксплуатацию системы, уменьшить первоначальные затраты и обеспечить их быструю окупаемость.

2. Качество системы связи оценивается уровнем связности, под которым понимается вероятность предоставления любой паре абонентов, расположенных на обслуживаемой территории, по их требованию канала связи с заданными характеристиками (временем ожидания, длительностью существования и числом ретрансляций) независимо от времени поступления заявки на связь и взаимного расположения абонентов. Причем в системе связи РОСТЕЛЕСАТ ставится условие, чтобы в течение сеанса связи маршрут прохождения сигнала не менялся.

3. На втором этапе развития системы РОСТЕЛЕСАТ предполагается расширить зону обслуживания до глобального масштаба. В этом случае необходимо уже введение межспутниковых линий связи (МЛС). Это явится логическим развитием системы первого этапа.

Количественная оценка связности определяется уровнем связности. Уровень связности является важнейшей характеристикой, определяющей возможности и характеристики низкоорбитальной спутниковой системы связи.

Связность системы определяется ее структурой и способом функционирования и зависит от состава и структуры космической группировки, состава и расположения наземных пунктов управления и парка абонентских станций.

Возможны три способа обеспечения связности в системе:

с помощью МЛС;

через наземные ретрансляторы (НР);

комбинированный способ – частично с помощью МЛС и частично – через НР.

Системы, в которых связность обеспечивается с помощью МЛС и комбинированным способом, принципиально позволяют организовать связь в глобальном масштабе, а система с НР – только региональную связь, хотя и в достаточно крупных регионах.

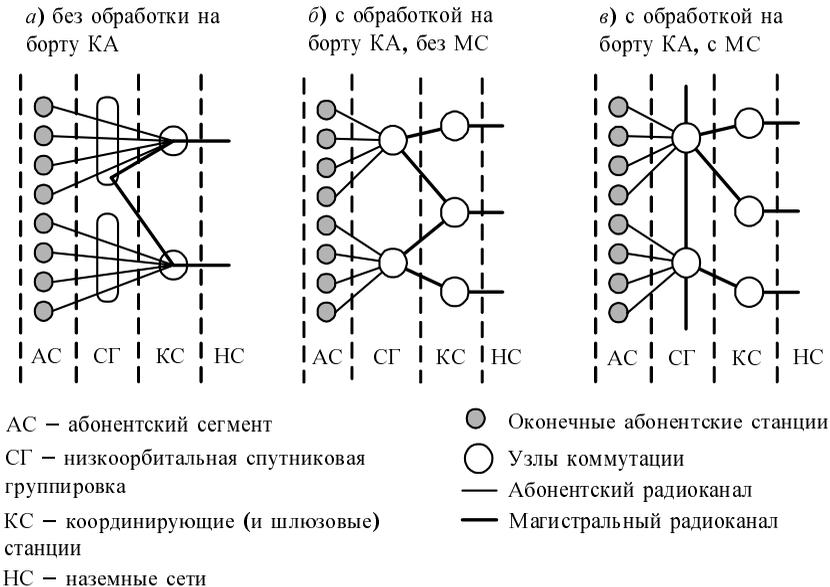
Особенностью системы связи с низкоорбитальными КА является то, что каналы связи между абонентами в низкоорбитальных спутниковых системах являются составными и могут включать в себя несколько звеньев с бортовыми или наземными ретрансляторами. Конфигурация и протяженность интегральных каналов (маршрута связи) изменяются во времени вследствие быстрого перемещения КА по орбитам. При построении системы необходимо также учитывать, что требование МККТТ по допустимой задержке сигнала при телефонных переговорах (0,39 с) между абонентами может привести к ограничению возможного числа ретрансляций, учитывая, что задержка происходит не только за счет времени распространения сигнала, но и за счет времени его обработки в узлах ретрансляции и в оконечных речепреобразующих устройствах. Характерной особенностью функционирования системы является возможность кратковременных перерывов связи во время сеанса, вызываемых изменением маршрута связи (при смене КА или НР) или переходом абонентов из одного луча в другой (в случае применения на КА многолучевых антенн). Особенно нежелательны перерывы, связанные с изменением маршрута, поскольку здесь происходит либо наложение частей сигнала друг на друга, либо разрыв между ними. Интенсивность и длительность этих перерывов зависит от структуры системы, способов обеспечения связности, вида многостанционного доступа, методов обработки сигналов в узлах ретрансляции.

## 6. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ СВЯЗИ РОСТЕЛЕСАТ

### 6.1. Распределение обработки между КА и КС

Низкоорбитальная спутниковая система связи в зависимости от назначения и требований, предъявляемых к предоставляемым услугам, может иметь различную структуру. При определении структуры спутниковой низкоорбитальной системы связи немаловажное значение имеет оптимальное распределение обработки информационных потоков между бортовым и наземным оборудованием.

На рис. 6.1 схематично показаны три основных варианта построения НОКС.



**Рис. 6.1. Варианты построения НОКС**

Вариант с полной обработкой на координирующей станции показан на рис. 6.1, *а*. В этом случае бортовой комплекс «прозрачно» пере-

дает всю информацию из абонентского канала без какой-либо информационной обработки на КС через магистральный канал. Вся обработка, обеспечивающая коммутацию информации между абонентами спутниковой сети и наземных сетей, производится на координирующей станции. Обратный (от КС) поток также «прозрачно» передается в абонентский канал. Таким образом обеспечивается непосредственное взаимодействие абонентских станций с координирующими станциями, являющимися по сути узлами доступа к сети связи. Связность в системе обеспечивается только координирующими станциями и магистральными каналами связи между ними. В качестве последних могут использоваться магистральные спутниковые каналы как через низкоорбитальные, так и через геостационарные спутники связи или наземные каналы связи.

В вариантах на рис. 6.1, б и 6.1, в обработка информационных потоков производится как на борту низкоорбитального КА, так и на координирующих станциях. Различие между этими вариантами состоит в наличие межспутниковой связи (см. рис. 6.1, в), поэтому по-разному обеспечивается связность. В варианте на рис. 6.1, б связность так же, как и на рис. 6.1, а, обеспечивается только координирующими станциями, а в варианте на рис. 6.1, в – совместно КС и межспутниковыми каналами связи. Если на рис. 6.1, б бортовой коммутатор обеспечивает только замыкание информации в пределах зоны обслуживания КА, то на рис. 6.1, в коммутатор должен обеспечить коммутацию информации по многим направлениям (абонентский, межспутниковые и магистральный каналы), причем нагрузка в межспутниковых и магистральном канале выше, чем в абонентском, поэтому производительность коммутатора в варианте на рис. 6.1, в более чем на порядок выше, чем в варианте на рис. 6.1, б.

На первом этапе спутниковая сеть РОСТЕЛЕСАТ строится без межспутниковых каналов связи. Поскольку известно, что до 80% информационного потока замыкается в зоне действия одного КА, то предпочтительнее построение системы по схеме на рис. 6.1, б. Однако, по сравнению с вариантом на рис. 6.1, а, в этом случае бортовое оборудование существенно сложнее. Для ускорения разработки и ввода в действие системы можно рассматривать вариант на рис. 6.1, а как начальный и вариант по схеме на рис. 6.1, б – как его дальнейшее развитие. Кроме этого, по результатам эксплуатации системы возможно потребуется введение на последующих этапах межспутниковых связей.

Отметим общие положения, лежащие в основе управления системой связи.

1. Каждый КА, находящийся в пределах видимости хотя бы одной КС, считается активным, т. е. работает в единой системе связи

РОСТЕЛЕСАТ. При этом связность в системе РОСТЕЛЕСАТ обеспечивается одним из следующих путей:

- через каналы КС–КА–КС;
- КС – стационарный КА–КС;
- КС – высокоэллиптический КА–КС;
- КС – наземные линии связи – КС.

2. Координирующая станция полностью управляет всеми соединениями в пределах своей зоны действия: обеспечивает служебный канал для синхронизации и начального доступа абонентов в систему, установление, контроль и поддержание соединений между абонентами как в пределах зоны действия КС и КА, так и между абонентами, находящимися в зонах действия разных КС и КА и т. д.

3. Каждый активный КА управляется в данный момент времени одной КС. При этом, если в зоне видимости КА находятся более одной КС, то для управления назначается еще одна резервная КС, которая дублирует формирование сигналов управления данным КА в пассивном режиме. Передача управления от основной к резервной КС в штатном режиме осуществляется по их взаимной договоренности во время защитного интервала между циклами управления без потери информации.

4. Вся спутниковая сеть связи строится на принципах АТМ. При этом на КС устанавливаются стандартные АТМ-коммутаторы. Протоколы, структура пакетов в спутниковых каналах как в магистральном, так и в абонентских разрабатываются таким образом, чтобы обеспечить максимальное соответствие принятым в сетях АТМ и соответственно уменьшить издержки на преобразование протоколов.

5. Магистральный канал КС–КА при работе КА одновременно с несколькими КС строится по принципу временного разделения сигналов, циклограмму которого задает управляющая КС.

6. Магистральный канал КА–КС работает непрерывно для всех КС. При работе КС одновременно с несколькими КА используется принцип пространственного разделения сигналов.

7. Информация на АС передается с КА по магистральному каналу с применением принципа временного разделения сигналов в подзонах.

8. Во всех элементах системы РОСТЕЛЕСАТ используется единое время.

9. Адаптация системы РОСТЕЛЕСАТ к переменной нагрузке осуществляется путем перераспределения времени, отведенного источникам на передачу информации посредством изменения циклограммы сканирования лучей антенны канала КА–АС и циклограммы работы канала КС–КА.

10. Для управления системой связи в линиях передачи информации выделяются специальные виртуальные каналы для переда-

чи служебной информации. Эти каналы имеют постоянные параметры, позволяющие принимать служебную информацию независимо от циклограммы и загрузки каналов передачи связной информации. При необходимости для передачи служебной информации дополнительно используются и каналы передачи связной информации.

## **6.2. Структура информации в магистральных линиях связи**

Структура информации в линиях передачи КС–КА и КА–КС в основном соответствует рекомендациям CCSDS. Отличием является применение специального синхронизационного кадра, обеспечивающего вхождение в синхронизм в режиме временного разделения сигналов в канале КС–КА. Кадр состоит из 8160 бит без учета кодирования и синхрослова. Цикл состоит из нескольких кадров (максимально 256) и равен периоду сканирования лучей антенны канала КА–АС. Длительность цикла – 10–100 мс.

В цикле организуются следующие виртуальные каналы:

служебный – 1–2 кадра в цикле;

информационный – остальное.

Информация передается пакетами от источника потребителю. Длина пакета переменная (зависит от загрузки источника) от 8 до 65542 байт.

На КА выделяются следующие источники-потребители:

коммутатор АС – 37 зон;

линия магистрального канала КА–КС – до 4 (8) соседних КС;

декодер служебной информации КА.

На КС выделяются следующие источники-потребители:

коммутатор КС;

декодер служебной информации.

Пакеты подвергаются стандартной процедуре сегментации. Один пакет может занимать как часть кадра, так и несколько кадров. В заголовках пакетов передается адрес потребителя, длина пакета, приоритет и другая регламентированная информация. Заголовки пакетов обрабатываются на КС.

На коммутатор АС КА передается один пакет, содержащий целевую и служебную информацию для АС. Структура этого пакета, циклограмма сканирования лучей по зонам и другая необходимая информация передается в канале передачи служебной информации. Внутри этого общего пакета содержатся пакеты служебной и целевой информации для каждой зоны. Общий пакет на КА без обработки записывается в буфер канала передачи КА–АС.

*Структура информации в магистральных линиях связи КС–КА и КА–КС.* В системе связи организуется единый для всех радиолиний цикл передачи информации, равный периоду сканирования лучей бортовой антенны канала КА–АС. Длительность цикла равна 40 мс. Цикл разбит на 3020 ячеек одинаковой длины 53 байта. Ячейка представляет собой один канал передачи информации со скоростью 9,6 кбит/с без учета кодирования или 4,8 кбит/с при применении сверточного кодирования с  $R = 1/2$ . В каждом цикле 60 ячеек жестко отведены под передачу служебной информации (служебный канал). Служебные ячейки имеют определенное положение в цикле, которое определяется управляющей КС на ближайшие несколько циклов и передается в составе служебной информации. Управляющая КС распределяет служебные ячейки между собой и активными КС и ШС, а также резервирует некоторую их часть для вновь подключаемых ШС. Количество резервируемых ячеек зависит от общего количества ШС в регионе и от соотношения активных и пассивных ШС. С каждой КС или ШС информация передается блоками, состоящими из нескольких ячеек. Минимальное количество ячеек в блоке – 2, максимальное – 3020 (весь цикл).

Длина блока определяется по следующим критериям:

пропорционально загрузке каналов, рассчитанной по нескольким предыдущим циклам;

максимальная пауза между двумя блоками от одной КС (ШС) должна быть не более 360 ячеек;

ячейки от одной КС (ШС) группируются в максимально возможные блоки;

в цикле резервируются ячейки для случайного доступа любой КС (ШС) для снятия пиковых нагрузок;

при распределении приоритет отдается тем ячейкам, которые идут на КА в канал АС, при этом места выделяются таким образом, чтобы подстроиться под циклограмму сканирования лучей антенны канала КА–АС и обеспечить минимальную задержку.

Первая ячейка каждого блока – синхронизационная. Она состоит из защитного интервала (отсутствие сигнала), преамбулы для вхождения в синхронизм по несущей и преамбулы для вхождения в синхронизм по тактам, которая одновременно является маркером начала блока.

В канале КА–КС (ШС) деления на блоки нет (рис. 6.2). В начале первой ячейки цикла передается маркер цикла. Информационная ячейка состоит из маркера (1 байт), заголовка (4 байта) и поля данных (48 байт). Заголовок ячейки частично обрабатывается на КА для определения потребителя этой ячейки.

На КС заголовки ячеек обрабатываются полностью.

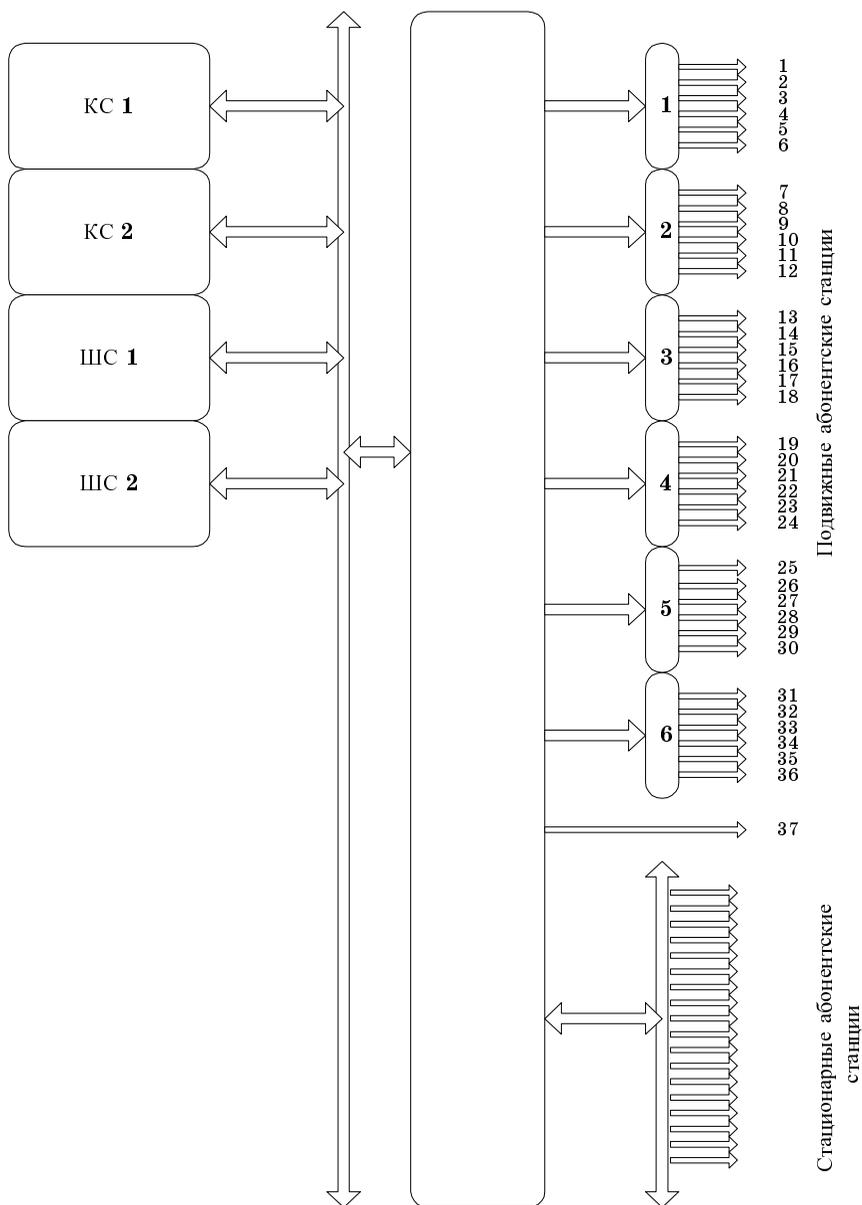


Рис. 6.2. Связь КС (ШС)–АС

*Структура информации в магистральной линии связи КА–АС. В линии КА–АС организуются два независимых канала, разделенных*

по времени: служебный и информационный.

В служебном канале информация передается пакетами постоянной длины с равномерной циклограммой обхода зон.

В информационном канале длина пакета переменная и соответствует необходимому объему информации для каждой зоны.

Циклограмма сканирования лучей канала КА–АС записывается в коммутатор АС КА в начале каждого цикла на основании информации, поступающей из КС в канале передачи служебной информации КС–КА. В начале каждого пакета передается синхронизационная преамбула и маркер начала. В заголовке пакета передается номер подзоны и информация о структуре пакета и процедуре ответов.

Для повышения средней и пиковой пропускной способности, а также для уменьшения межзонавых помех в канале КА–КС одновременно с временным применяется и частотное разделение.

*Служебная связь КА–АС.* В линии КА–АС выделяются два служебных канала (основной и резервный), разнесенных по частоте. Каналы работают параллельно и в них передается одна и та же служебная информация.

Задачи основного канала:

синхронизация ответов АС;

контроль наличия абонентов с привязкой их к подзонам;

установление соединения с абонентом по его инициативе или по запросу;

передача абонента в другую зону или другой КА.

Задача резервного канала – организация работы при наличии помех в основном канале.

Служебные каналы организованы так, что они не перекрываются по времени в соседних подзонах одного КА и соседних КА. Циклограмма равномерная, полностью перекрывающиеся подзоны с разных КА выключаются. Каждая включенная АС непрерывно принимает сигналы служебных каналов с КА, обеспечивая постоянную готовность к ответу на вызов.

Каждая АС после включения проходит по своей инициативе процедуру регистрации на региональной КС. При этом определяются и фиксируются координаты АС. Процедура регистрации повторяется после каждого перерыва на АС приема сигнала служебного канала с КА. В случае отсутствия приема сигнала в основном служебном канале АС переходит на прием в резервном канале.

Для подвижных АС предусматривается режим работы с периодической перерегистрацией в ожидании вызова. Такой режим позволит учесть изменение местоположения подвижного абонента и ускорить

соединение с ним. Чтобы не загружать служебный канал, время между перерегистрациями должно быть не менее 10 мин.

При вызове АС она отвечает в специально выделенном ей служебном канале, информация о котором поступает вместе с вызовом. После установления соединения происходит переход на индивидуально выделенный информационный канал.

АС постоянно принимают и анализируют сигнал от КА во всех временных интервалах, соответствующих зонам сканирования лучей. Активные (находящиеся в связи с КА) АС передают результаты анализа в своем ответе по служебному каналу. Если АС видит сигнал от следующей по траектории движения подзоны, то КС дает команду на переключение зоны или переход на другой КА.

Основные проблемы при такой логике:

увязать циклограммы работы всех КА;

добиться такой энергетике в служебном канале, чтобы АС отвечали в любом положении и при нераскрытой антенне;

двухканальный приемник АС.

Для увязки циклограмм в системе РОСТЕЛЕСАТ должно быть единое время. Погрешность определения времени на КА не должна превышать

$$(T_{\text{цикла}}/37)K_{\text{защитн}} = (1-10) \text{ мкс, где } K_{\text{защитн}} = (0,01-0,001).$$

В случае установления соединения по инициативе АС, она посылает запрос в специально выделенном для этого служебном канале.

В процессе установления соединения АС дается частотный и кодовый номера вариантов связного канала, которые желательно сохранять на все время сеанса.

*Передача данных КС–КА–АС–КА–КС.* КС, анализируя распределение активных абонентов по подзонам, составляет циклограмму сканирования лучей на следующий цикл и передает ее в служебном канале на КА в начале каждого цикла.

КС формирует пакет информации для каждой подзоны и передает его с таким расчетом, чтобы он успел приняться и обработаться на КА до момента его излучения в эфир, обеспечивая минимальную задержку. Распределение информации в пакете по зонам увязано с циклограммой сканирования лучей. Обработка пакетов и их заголовков на КА не производится. Пакеты записываются в буфер коммутатора АС КА.

В соответствии с заданной циклограммой КА передает из буфера коммутатора на АС пакеты целевой информации, в заголовках которых содержится указания по процедуре ответа на следующий цикл.

КА собирает пакеты информации, поступившей от абонентов каждой подзоны, и передает их на КС в ближайшем свободном интервале

канала КА–КС. Обработка пакетов и их заголовков на КА не производится. Информация о номере абонента вставляется в заголовок пакета на АС. Информация о номере зоны и значении доплеровского смещения частоты добавляется к пакету каждого абонента на АС.

*Передача данных КС–КА–КС.* Управляющая КС, анализируя распределение загрузки каналов связи КА с другими КС региона, составляет циклограмму работы КС с этим КА на следующий цикл и передает ее в служебном канале в начале каждого цикла через КА на все КС, находящиеся в пределах его видимости.

Каждая КС формирует пакет информации для каждой другой КС региона и передает его на КА. В заголовках кадров, в которых передаются эти пакеты, содержится указание о пересылке их в канал КА–КС. Обработка пакетов и их заголовков на КА не производится. Информация поступает в буфер, откуда считывается для передачи с задержкой на время не более одного кадра.

Во время пауз при переходе от одной КС к другой при временном разделении в канале КА–КС передается дополнительная служебная информация или холостые пакеты.

*Очереди и приоритеты.* В соответствии с принятой логикой работы системы связи очереди из пакетов могут возникать только на КС. Для управления очередью создается система приоритетов, которые присваиваются пакетам в зависимости от их назначения. Приоритет пакета, стоящего в очереди, повышается при приближении к допустимому времени его задержки. Длина очереди используется также и при решении задачи прокладки маршрута следования пакета.

### 6.3. Центр управления системой связи

Центр управления системой связи является составной частью наземного комплекса управления (рис. 6.3). Задачи управления спутниковой группировкой в составе НКУ решает центр управления полетом. ЦУСС взаимодействует с ЦУП, обеспечивая управление связным сегментом (СС) системы РОСТЕЛЕСАТ, включающим бортовую аппаратуру (БА) спутников-ретрансляторов и наземную аппаратуру (НА) связи.

Оперативное управление ЦУП и ЦУСС обеспечивается главной оперативной группой управления. Стратегические вопросы развития системы РОСТЕЛЕСАТ, коммерческая деятельность и другие кардинальные вопросы, выходящие за рамки текущей деятельности, решаются в ЦУСС под управлением дирекции системы связи. В систему входят подчиненные ЦУСС региональные центры обслуживания, совмещенные с координирующими станциями и управляющие наземными средствами прилегающих к ним регионов.

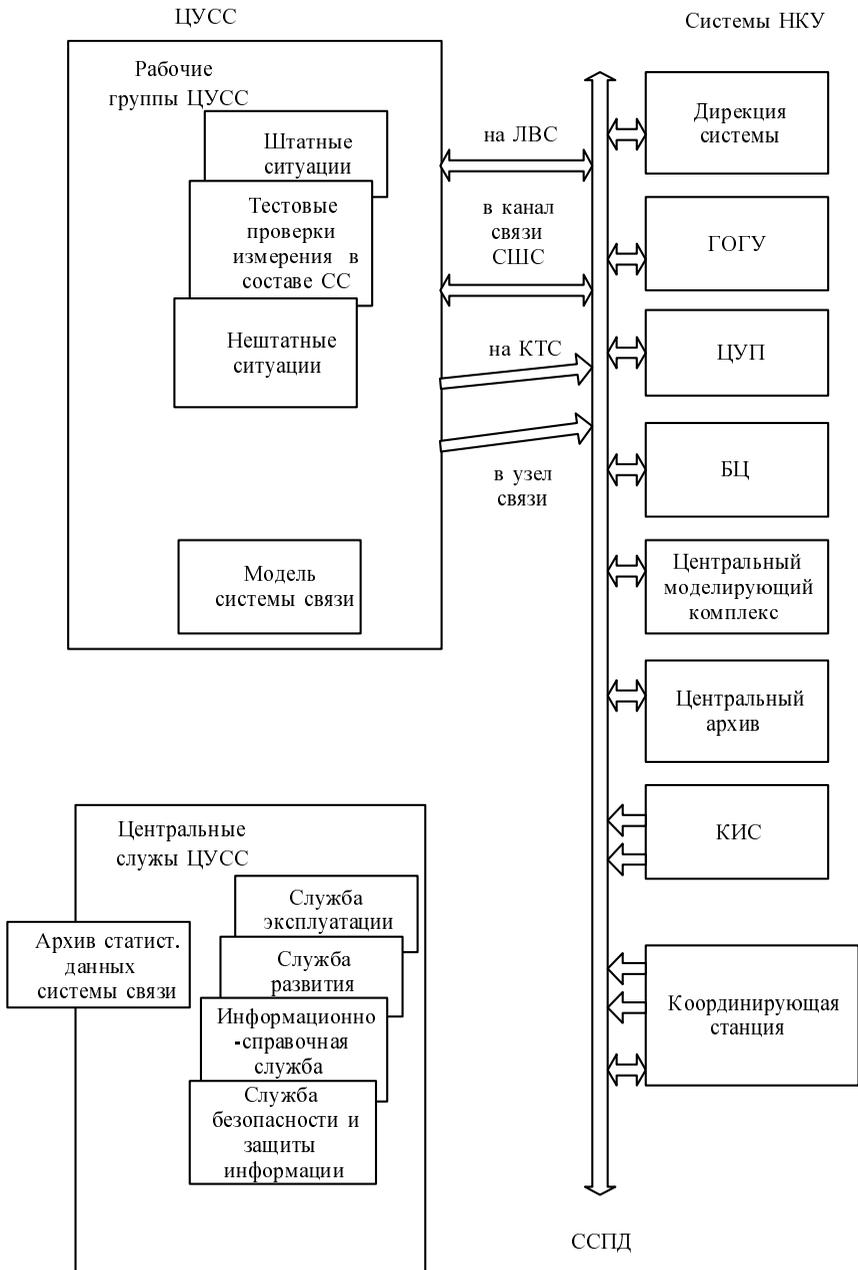


Рис. 6.3. Структура центра управления системой связи

Региональные центры обслуживания (РЦО) (рис. 6.4) в составе КС участвуют в подключении абонентов к сети связи, осуществляют контроль абонентов, проводят начисление платы за услуги связи, ведут архивы абонентов, осуществляют эксплуатацию наземных средств связи (пункты контроля и связи – ПКС). Абонентские стан-

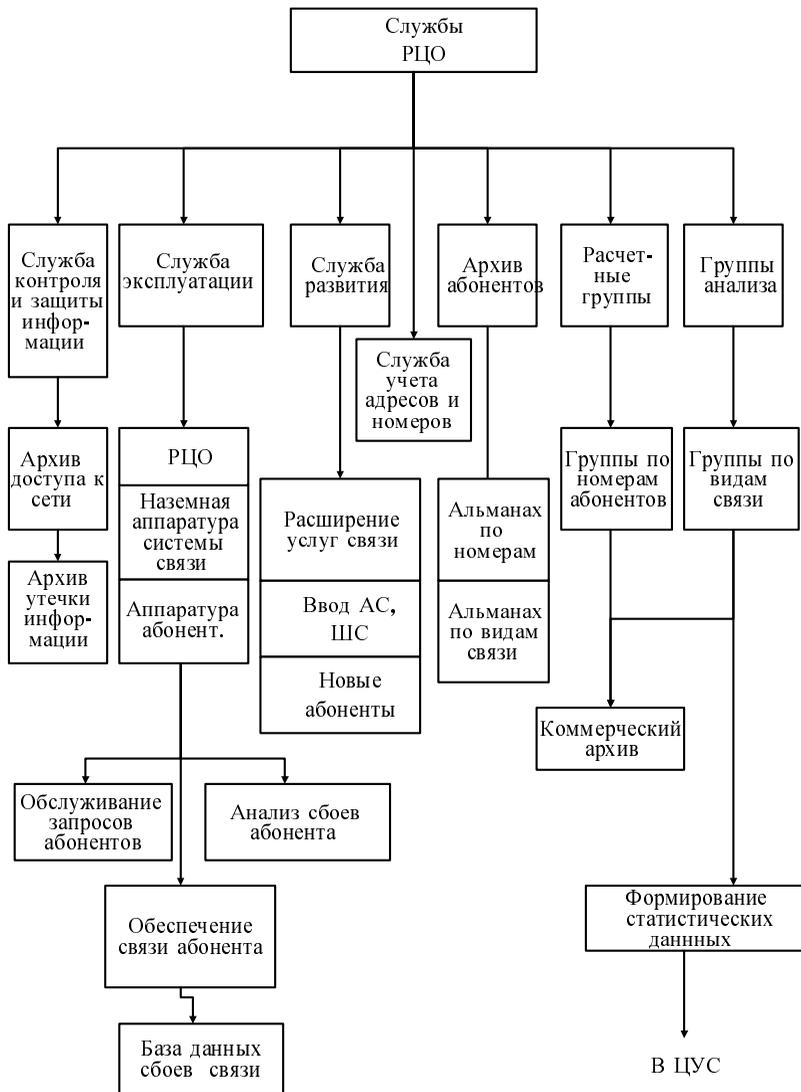


Рис. 6.4. Функция региональной службы сервиса

ции и наземные каналы связи проводят мероприятия по развитию сети связи в пределах региона, обслуживают заявки абонентов, обеспечивают поиск подвижных абонентов (во взаимодействии с другими РЦО). РЦО передает в ЦУСС оперативную информацию о работе подчиненных средств связи, статистические данные о работе подчиненных средств связи и коммерческой деятельности. РЦО принимает из НКУ оперативные указания о режимах работы средств.

ЦУСС обеспечивает непрерывный контроль и отображение характеристик использования каналов связи. При нормальной работе бортовых и наземных средств ЦУСС обеспечивает оптимизацию загрузки каналов связи путем коррекции весовых коэффициентов. Эти коэффициенты учитываются в КС при прокладке маршрутов через СГ. Работа операторов ЦУСС позволяет уменьшить время выявления и локализации отказа в системе связи, а следовательно, сократить время парирования нештатной ситуации. Для этого ЦУСС может запрашивать дополнительную информацию о состоянии каналов связи бортовых и наземных средств.

Выделены три рабочие группы операторов (по условиям и характеру деятельности):

работа в штатных ситуациях;

работа при тестовом контроле, ремонте или плановом изменении состава средств системы связи;

работа в нештатных ситуациях.

Работа операторов ЦУСС осуществляется во взаимодействии с базой данных рабочих групп ЦУСС и поддерживается математическим моделированием фрагментов системы связи.

Центральные службы ЦУСС, такие как служба эксплуатации, служба развития, коммерческая служба и др. решают вопросы обеспечения, коммерческого анализа работы системы связи (по данным РЦО) и прорабатывают варианты развития перечня услуг связи бортовых и наземных средств. Работа центральных служб обеспечивается архивом системы связи, в том числе архивом статистических данных, поступивших из РЦО.

Для контроля и управления системой связи предлагается использовать служебную сеть, в составе которой в качестве резервной линии связи с РЦО используется наземная связь через узел связи.

С каждого ПКС передается информация телесигнализации, которая представляет собой набор пороговых сигналов. При развертывании системы связи, парировании нештатных ситуаций, а также для учета сезонных, суточных и других изменений загрузки и качества каналов связи ЦУСС может использовать накапливаемые на каждой КС данные о количестве сбоев и загрузке каналов связи.

#### 6.4. Задачи рабочих групп и служб ЦУСС

Выделены три группы задач, решаемых ЦУСС.

1. Обслуживание сети связи в штатных ситуациях.

2. Обслуживание отдельных СР, РЦО и отдельных средств (ПКС, АС) при их тестовом контроле, ремонте, плановом вводе или выводе из системы связи.

3. Действия в нештатных ситуациях.

На автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора ЦУСС могут быть активизированы следующие целевые задачи (ЦЗ):

условий связи;

контроля загрузки каналов связи;

контроля наземной аппаратуры связи;

контроля бортовой аппаратуры связи;

контроля сбоев;

радиокоманд и командно-программной информации;

работы с архивом.

##### *Работа в штатных ситуациях*

Данные об орбитах СР, точности их ориентации, параметрах бортовой аппаратуры поступают на вход ЦЗ условий связи из модели системы связи. Модель системы связи поддерживается периодически сменяемыми данными телеметрической информации (ТМИ) и баллистического центра. Производится индикация поступивших уточненных данных из ЦУП и при необходимости формируется заявка на уточнение характеристик модели.

Отображение условий связи космического сегмента с наземными средствами может быть ориентировано на:

общую картину, отражающую кратность покрытия;

определенный регион (оперативные данные, данные за виток, данные за сутки);

взаимодействие выбранного СР с НА;

помеховую обстановку в диапазонах используемых частотных полос.

Контроль загрузки каналов связи производится в ЦЗ загрузки каналов связи по следующим показателям:

процент загрузки – максимальная загрузка 100% ;

процент необслуженных заявок от общего числа сеансов связи;

длина очередей на коммутаторах каналов и коммутаторов пакетов в узлах связи.

Контроль и отображение загрузки сети производится для магистрального канала связи с КС и абонентского канала с отображением

общей картины и локализации загрузки для каждого из СР и регионов. Данные по регионам поступают из региональных центров обслуживания РЦО. Должна быть предусмотрена работа с оперативными данными и данными на более длительных интервалах (виток, сутки, архивные данные статистики загрузки).

Оператор ЦУСС имеет возможность формировать запросы к КС на уточнение картины загрузки. Анализ загрузки позволяет сформировать рекомендации на изменение маршрутов.

Особенностью входных данных ЦЗ контроля бортовой аппаратуры связи является то, что они поступают в общем потоке ТМИ о работе систем данного СР из командно-телеметрической станции (КТС) и проходят первичную обработку в ЦУП. Кроме результатов обработки ТМЛ датчиков СР, в том числе данных о состоянии приемопередающей аппаратуры в магистральном и абонентском каналах, оператору доступны данные об использовании резерва по командам БКУ и НКУ и данные ЦУП о работе всех бортовых систем.

Вместе с информацией о локализованных сбоях и частоте исправленных ошибок, что характеризует качество сигнала, оператор анализирует нарушение условий связи и данные телесигнализации.

Оператор формирует несколько видов заявок:

на уточнение состояния БА связи;

на уточнение условий связи;

на уточнение состояния взаимодействующей НА;

на тестирование данного СР без вывода его из сети связи;

на регламент с полным тестированием, с выводом его из штатных сеансов связи.

Под контролем оператора происходит подготовка данных для ГОГУ о состоянии бортовой аппаратуры связи. При наличии изменений в состоянии космического и наземного сегментов системы связи оператор участвует в выдаче задания на коррекцию программ сеансов связи и контроле за выполнением задания.

Входной информацией ЦЗ контроля НА связи являются:

сигналы состояния наземной аппаратуры;

результаты автономного и комплексного тестового контроля НА;

данные о сбоях наземной аппаратуры, приписанной к РЦО;

информация о необходимости коррекции альманаха.

К выходной информации относится подготовка для ГОГУ данных о состоянии НА. ЦЗ контроля и коррекции маршрутов решает задачу контроля маршрутных карт и формирования заданий на коррекцию маршрутов, в том числе при изменении состава СГ. Конкретный маршрут до следующего ПКС прокладывается автономно на ПКС. ЦУСС участвует в формировании и коррекции маршрутных таблиц, опре-

деляющих весовые коэффициенты возможных шагов продвижения к вызываемому абоненту (три ближайших спутника). Некоторые маршруты существуют чисто формально — возврат в исходную точку, занятый канал. Результирующее решение о прокладке маршрута зависит от текущей загрузки и приоритетности данной информации.

К входной информации ЦЗ контроля маршрутов относятся сведения об отклонении реальной нагрузки от плановой, необслуженные заявки на связь, информация о прерываниях связи за счет неподготовленных новых маршрутов и маршрутов с малым временем устойчивой связи.

Целью ЦЗ радиокоманд и командно-программной информации является суммирование заявок на передачу РК и КПИ со всех рабочих мест ЦУСС, проверка их непротиворечивости, установление очередности передачи, подготовка данных об управлении сетью связи для ГОГУ. Кроме заявок от ЦУСС, входной информацией является информация от центра управления полетом и ГОГУ. Выполнение команд может быть заблокировано оператором ГОГУ или программным обеспечением при наличии несогласованных действий ЦУП и ЦУСС. Оператор ЦЗ участвует в оперативном планировании ближайшего сеанса связи и контролирует выполнение составленной программы действий на сеансе (технологической карты сеанса).

ЦЗ ЦУСС работы с архивом обеспечивает взаимодействие всех операторов ЦУСС с архивом ЦУСС. Информация обобщается, составляется протокол сеанса, куда входят данные о загрузке, сбоях и работе бортовых и наземных средств. Информация о нелокализованных сбоях накапливается отдельно.

### *Работа при тестовых проверках*

Действия операторов при тестовых проверках, ввода и вывода СР или наземных средств из системы связи определяются, как правило, плановым изменением режима одного из СР или наземных средств. Операторы группы тестовых проверок решают те же задачи, что и на аналогичных рабочих местах группы штатных ситуаций. Отличие — в более подробной информации о заданном СР или регионе и контроле за прохождением тестовой информации.

Тестовая информация формируется и передается как через ПКС ЦУСС, так и через контрольную абонентскую станцию ЦУСС при проверке абонентского канала СР, а также через другие наземные станции, где формируется по командам из ЦУСС, передаваемым через региональные центры.

Кроме указанных различий, при тестировании используются принудительно заданные маршруты между двумя узлами сети связи. ПКС

и АС должны по командам региональных центров РЦО, взаимодействующих с ЦУСС, переходить в режим генерации и приема тестов. Поэтому в течение короткого интервала (один виток) полное тестирование затруднительно. Кроме того, число сбоев в канале связи может существенно зависеть от близости загрузки к предельной при сочетании информации с разными приоритетами. Поэтому целесообразно дополнительно применять тестирование, особенно при вводе СР в сеть и при локализации сбоя, одновременно с передачей информации.

При выполнении тестовых проверок можно выделить следующие целевые задачи:

условий связи (дополнительно анализируется уровень сигнала на наземных станциях);

контроля наземной и бортовой аппаратуры связи;

анализа сбоев и загрузки в каналах связи;

корректировки маршрутов,

радиокоманд и командно-программной информации.

Каждая ЦЗ отличается заданием вида тестов, узлов сети, в которых они генерируются, маршрутов их прохождения, узлов включения режима «Шлейф» и мест обработки результатов тестирования. Если результат тестирования выясняется не в ЦУСС, то организуется сеанс связи, где в ЦУСС сообщается об окончании и результатах тестов.

Плановые работы частично отрабатываются на модели заранее. При этом используется модель расположения СР на момент проведения плановых работ, переданная из моделирующего комплекса НКУ. Работа с архивом отличается заранее подготовленными данными из центрального архива по конкретным СР.

### *Работа в нештатных ситуациях*

Нештатные ситуации могут быть обнаружены в рабочей группе штатных ситуаций:

при контроле сбоев (телесигнализация об аварии или перегрузках и более подробная информация, полученная по запросу НКУ);

при анализе условий связи – нарушение расчетной энергетики на границах зоны, несоблюдение ЭМС соседних СР;

при контроле аппаратуры связи;

при контроле загрузки каналов связи по индикаторам перегрузки, т. е. необслуженным заявкам на связь, счетчикам загрузки.

При обнаружении нештатной ситуации об этом сообщается в ГОГУ. Начальные действия по выяснению характера нештатной ситуации и ее парированию производятся операторами ЦУСС. В процессе работы производится перераспределение специалистов с выде-

лением дополнительных рабочих мест для операторов группы нештатных ситуаций. Неисправность, вызванная ПКС или АС, может быть устранена автоматически (подключение резерва, отключение неисправных линий связи, коррекция расписания связи ПКС с СР).

Рабочие ЦЗ, активизируемые при возникновении нештатных ситуаций, такие же, как и при тестовых проверках.

### *Центральные службы ЦУСС*

К ЦУСС относятся центральные службы, работающие по программе, формируемой дирекцией системы с участием ГОГУ.

Служба эксплуатации решает текущие задачи эксплуатации БА (выполнение графика тестовых проверок, оценка технического состояния), ПМО (анализ замечаний к программному обеспечению и их устранение), НА (анализ состояния средств, график регламентных и ремонтных работ из РЦО).

Служба эксплуатации контролирует и участвует в обобщении замечаний к БА, НА и ПМО по данным архива ЦУСС, текущих сведений от операторов ЦУСС и ГОГУ, а также дополнительных данных ТМИ БА и данных РЦО, формируемых по запросам службы эксплуатации. Эта служба обобщает материалы сопряжения с другими сетями связи по данным РЦО и сообщениям сетей связи, анализирует использование резерва.

Служба развития прорабатывает технико-экономические варианты развития СГ, НА и ПМО. Служба развития ведет контроль и планирование работ по расширению взаимодействия с другими сетями связи, согласует интерфейсы, анализирует необходимость использования дополнительных спутников и наземных средств.

Служба планирования услуг и ресурсов с архивом по каждому виду услуг анализирует динамику объема услуг (ТЛФ, передача цифровой информации, местоопределение абонентов и др.). Данные по объему услуг и результатам коммерческой деятельности из РЦО обобщаются в коммерческой службе ЦУСС и заносятся в коммерческий архив ЦУСС.

Кроме того, к ЦУСС относятся информационно-справочная служба, служба учета и распределения номеров, служба контроля допуска абонентов к сети и защиты пользовательской информации, служба взаимодействия с пользователями.

Центральная служба учета и распределения номеров проводит классификацию номеров пользователей от их координат, категории, связи с другими сетями, объемом услуг и др.

Служба контроля допуска абонентов к сети и защиты пользовательской информации занимается, в частности, предоставлением пользователям программно-аппаратных средств защиты информации.

## *Служебная сеть*

Все координирующие станции объединены в выделенном служебном канале связи в служебную сеть. Обмен в сети производится между УВМ КС в режиме пакетной коммутации. Структура сети не является постоянной во времени из-за движения спутников относительно КС. На начальном этапе, при неполной спутниковой группировке, связь между КС будет иметь прерывистый характер и на некоторых интервалах времени сеть может состоять из несвязанных между собой фрагментов. В таком режиме служебная информация будет доходить до адресата с задержкой, величина которой зависит от полноты группировки. Это означает, что служебная сеть связи должна строиться на принципах децентрализованного управления, т. е. КС должна обеспечивать функционирование в сети (или фрагменте сети):

автономно, без оперативного обмена с другими КС и компонентами НКУ;

во взаимодействии с ограниченным числом соседних КС;  
в полносвязной сети.

*Каналы связи.* Для служебной сети в каждом бортовом ретрансляторе в стволе КС–КС постоянно выделен один канал — основной служебный канал (или иначе — основной канал управления). Кроме этого, предусмотрены дополнительные служебные каналы, по крайней мере, по одному каналу на одну КС, видимую с данного КА. При возникновении критических ситуаций, требующих увеличения потоков служебной информации, по запросу КС или объектов комплекса управления под служебную сеть могут быть выделены дополнительные каналы бортового ретранслятора. Выделение каналов производится из числа незанятых к моменту появления запроса и только при наличии соответствующего приоритета у источника запроса. Разрыв соединения между абонентскими станциями для предоставления высвобождаемого канала под служебную сеть допускается только в исключительных, специально оговариваемых случаях.

На каждой КС все служебные каналы через коммутатор подключаются к управляющему вычислительному комплексу (УВК). Таким образом, УВК всех КС, видимых с данного КА, объединяются в единую вычислительную сеть.

## *Общие сведения об АТМ*

Технология АТМ базируется на асинхронных методах доступа, коммутации и доставки данных с использованием унифицированного формата обмена для трафика различного вида. Основная единица обмена – ячейка (рис. 6.5), которая представляет собой 53-байтный

блок цифровых данных, в котором 5 байт занимает служебный заголовок и 48 байт – передаваемая информация.

GFC	VPI	VCI	PT	CLP	HEC	Данные
4 бит	8 бит	16 бит	3 бит	1 бит	8 бит	48 байт

Рис. 6.5. Формат ячейки ATM

Поля заголовка в пределах конкретной ATM-сети имеют следующие значения:

GFC – управления потоком, имеет локальное значение и используется на стыке абонентского оборудования и ATM-сети;

VPI – номер виртуального пути, имеет глобальное значение и используется для группирования виртуальных соединений с целью обеспечения необходимого уровня качества услуг и упрощения процедур управления ими;

VCI – номер виртуального канала, имеет локальное значение и может меняться в коммутаторах при прохождении по виртуальному соединению;

PT – тип нагрузки, определяет тип переносимых ячейкой данных, зависящий от вида и качества запрошенной услуги;

CLP – приоритет потери ячейки, определяет приоритет сброса ячеек при перегрузках сети;

HEC – контроль заголовка, используется для контроля ошибок в заголовке и в процедурах синхронизации сети для определения границ ячеек.

### *Состояние работ по стандартизации в области ATM*

Технология ATM была предложена в конце 80-х годов и начала стандартизоваться под эгидой МККГТ (ныне международный союз электросвязи (МСЭ-Т)). Были приняты основополагающие документы по архитектуре сетей ATM, разработана эталонная модель и предложены основные термины и понятия. Однако процесс стандартизации развивался медленно и достигнутые результаты не позволяли организовывать и развивать производство соответствующего оборудования на основе единых и непротиворечивых требований и стандартов. Поэтому в 1992 году ряд компаний образовал некоммерческую организацию – консорциум ATM Forum, основной целью которой было ускорение работ по стандартизации в области ATM. За четыре года работы консорциума были разработаны ключевые спецификации, учитывающие весь предыдущий опыт развития сетевых технологий, положившие начало бурно развивающейся ныне промышленности оборудования и программного обеспечения ATM.

Соответствующая эталонная модель показана на рис. 6.6.

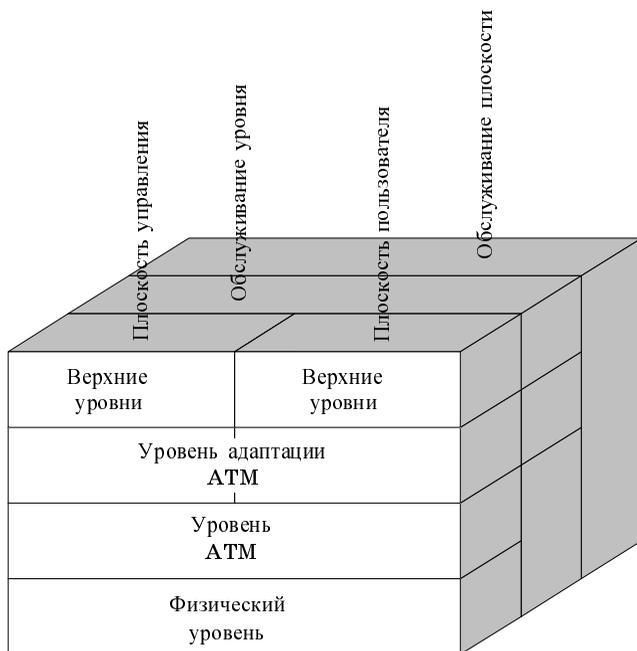


Рис. 6.6. Эталонная модель ШЦСИС

На рис. 6.6 приведенные обозначения имеют следующие значения: *плоскость пользователя* обеспечивает передачу пользовательской информации и включает физический уровень, уровень АТМ и несколько уровней адаптации в зависимости от затребованных услуг;

*плоскость управления* обеспечивает функции установления, сброса и управления соединениями. Физический уровень и уровень АТМ разделяются с плоскостью пользователя, дополнительно включает уровень адаптации и более высокие уровни протоколов сигнализации;

*плоскость обслуживания* обеспечивает функции управления и возможность обмена информацией для плоскостей пользователя и управления, разделяется на две секции: *обслуживание уровня* и *обслуживание плоскости*. Секция обслуживания уровня обеспечивает функции управления, специфичные для уровней, а секция обслуживания плоскости – функции управления и координации для системы в целом.

Данная эталонная модель полностью поддерживается также и консорциумом ATM Forum.

*Физический уровень.* Физический уровень ответственен за передачу АТМ ячеек через конкретную физическую среду. Он обеспечивает

преобразование данных в соответствующий физический формат для данной среды и загрузку/выгрузку ячеек в/из кадров передачи.

Собственно физический уровень включает два подуровня: подуровень преобразований и подуровень, зависящий от физической среды. Подуровень, зависящий от среды, обеспечивает битовую синхронизацию и линейное кодирование данных в соответствии со стандартами конкретной физической среды. Подуровень преобразований выполняет, по крайней мере, две функции: определение границ АТМ ячеек и контроль/коррекцию ошибок в заголовке ячейки, используя механизм защитного кодирования. Другие функции данного уровня зависят от используемой среды и связаны с поддержкой конкретной структуры кадров передачи и механизмов упаковки/распаковки ячеек в кадры.

В документе UNI-3.1 консорциумом АТМ Forum специфицированы следующие физические интерфейсы для данного уровня:

для трактов E1 и DS1;

для трактов E3 и DS3;

для тракта 622,08 Мбит/с;

для тракта 100 Мбит/с, базирующийся на стандарте FDDI;

для тракта 155 Мбит/с, базирующийся на стандарте SONET (STS-3с формат кадра);

для тракта 155 Мбит/с, представляющий собой синхронный интерфейс, ориентированный на использование в ВОЛС;

для тракта 155 Мбит/с, ориентированный на использование с экранированными витыми парами (STP) типов 1 и 2 и неэкранированной витой пары (UTP) типа 3;

для тракта 6,132 Мбит/с (не имеет связи со стандартом DS-2).

Интерфейсы DS-3, SONET STS-3с и 6,132 Мбит/с применяются в общих UNI-интерфейсах, интерфейсы FDDI и синхронный 155 Мбит/с для ВОЛС применяются в частных UNI-интерфейсах и синхронный 155 Мбит/с для STP применяется в локальных сетях АТМ.

*Уровень АТМ.* АТМ уровень обеспечивает коммутацию и маршрутизацию ячеек, формирование заголовка ячейки и контроль его корректности при приеме. Однако АТМ-уровень не отвечает за надежную доставку ячеек и не поддерживает механизмов подтверждения или управления потоком ячеек, что является функцией уровня адаптации. Функции уровня АТМ, в соответствии с подходом консорциума АТМ Forum, разбиты на две категории: функции коммутации и функции управления.

Функции коммутации для UNI-интерфейса включают:

мультиплексирование соединений;

согласование потока ячеек с синхронным потоком на интерфейсе;

определение типа ячеек;

определение типа полезной нагрузки;  
 обслуживание приоритета потерь;  
 формирование трафика.

Требования к уровню ATM изложены в спецификации UNI-3.1.

*Уровень адаптации ATM.* Уровень адаптации ATM стандартизован в Рекомендациях I.363 МСЭ-Т. В данной рекомендации определены следующие уровни адаптации (AAL- ATM Adaptation Level):

AAL0 – доступ к потоку ячеек ATM;

AAL1 – сервис, предоставляющий каналы с постоянной битовой скоростью для передачи видеотрафика и эмуляции коммутируемых каналов (например, для телефонии);

AAL2 – для видеотрафика с переменной битовой скоростью;

AAL3/4 – для служб передачи данных как ориентированных, так и не ориентированных на соединения;

AAL5 – для служб передачи данных, ориентированных на соединения.

Консорциумом ATM Forum поддерживается только три уровня адаптации: AAL1, AAL3/4 и AAL5.

### Эталонная схема сети

На рис. 6.7 показаны эталонные схемы, поддерживаемые МСЭ-Т (рис. 6.7, а) и ATM Forum (рис. 6.7, б).

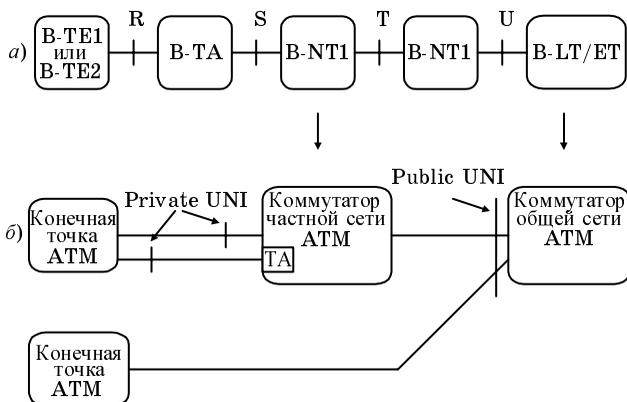


Рис. 6.7. Эталонная схема сети ATM

На данном рисунке представлены следующие обозначения:

B-TE, B-TA, B-NT и B-LT/ET – эталонные функциональные блоки схемы МСЭ-Т;

R, SB, TB и UB – эталонные стыки схемы МСЭ-Т;

Private UNI и Public UNI (User-Network Interface) – интерфейс пользователь-сеть для частных (корпоративных, Private) и общих (Public) сетей ATM.

Как видно из рис. 6.7, эталонная схема консорциума ATM Forum существенно проще и логически соответствует реальной конфигурации сетевого оборудования.

### Сетевая архитектура НОКС

Сетевая архитектура НОКС, интенсивно развиваемая в русле усилий Международного союза электросвязи и консорциума ATM Forum базируется на технологии ATM (рис. 6.8). В данной архитектуре КС (ШС) играют роль сетевых узлов и выполняют функции коммутаторов ATM и устройств доступа к сети ATM НОКС. Конфигурация сети ATM НОКС определяется взаимной видимостью КА и КС и периодически изменяется вследствие относительного движения последних, что предъявляет дополнительные требования к реализации технологии ATM:

непрерывно меняющаяся конфигурация сети в силу движения КА относительно КС требует доработки протоколов сигнализации и управления в части реализации функций прогнозирования и осуществления перемаршрутизации соединений в соответствии с движением КА;

в той же части требуется доработка протоколов контроля и управления сетью.

Собственно сеть ATM НОКС представляет собой частную (private) сеть ATM (см. рис. 6.8). Такой подход обеспечивает большую гиб-

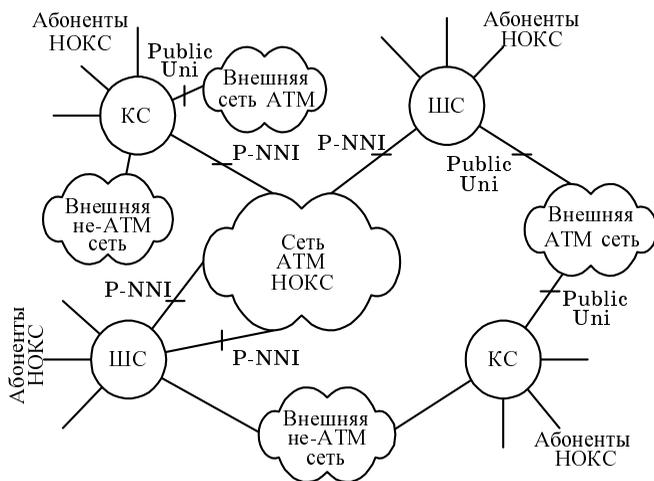


Рис. 6.8. Общая схема сети ATM НОКС

кость в выборе параметров сети, так как частная сеть АТМ по сравнению с сетью АТМ общего пользования имеет меньшее число обязательных функций. Для иллюстрации в табл. 6.1 показан сравнительный перечень атрибутов услуг для общих и частных сетей АТМ, приведенный в спецификации UNI-3.1 консорциума АТМ Forum.

Таблица 6.1

Услуги сети АТМ

Носители свойств услуги АТМ	Частная UNI	Общая UNI
Support for point-to-point VPC's		
Support for point-to-point VCC's	•	•
Support for point-to-multipoint VPC's		
Support for point-to-multipoint VCC's, SVC	•	•
Support for point-to-multipoint VCC's, VPC		
Support of Permanent Virtual Connection	•	•
Support of Switched Virtual Connection	•	•
Support of Specified QoS Classes		•
Support of Unspecified QoS Class		
Multiply Bandwidth Granularities for ATM Connections		•
Peak Rate Traffic Enforcement via UPC		•
Sustainable Cell Rate Traffic Enforcement via UPC		
Traffic Shaping		
ATM Layer Fault Management		•
Interim Local Management Interface	•	•

*Примечание.* Точкой отмечены обязательно реализуемые атрибуты.

Как видно из рис. 6.8, каждая КС (ШС) должна обеспечивать соответствие следующим группам стандартов:

спецификации UNI-3.1 на стыке с внешними сетями АТМ общего пользования (Private UNI);

спецификации P-NNI-1.0 на стыке с другими КС (Private NNI);

соответствующим стандартам и рекомендациям на стыке с внешними не АТМ-сетями (телефонными и передачи данных);

соответствующим стандартам на электрические и логические интерфейсы стыковки с оборудованием других сетей;

соответствующим спецификациям консорциума АТМ Forum, рекомендациям МСЭ-Т и стандартам других организаций в части передачи трафика различного вида через сеть АТМ.

Обобщенная структура сетевых средств координирующей станции показана на рис. 6.9. На данном рисунке обозначены:

коммутатор АТМ – серийное изделие, соответствующее стандартам, рекомендациям и спецификациям, разрабатываемым МСЭ-Т и консорциумом АТМ Forum;

ИМ – интерфейсные модули преимущественно серийного изготовления, обеспечивающие сопряжение существующих средств с коммутатором АТМ;

АКД-КС – аппаратура канала передачи данных КА–КС, являющаяся окончанием абонентского канала видимых КА и выполняющая функции сопряжения между АК и магистральной сетью АТМ НОКС;

УВК – управляющий вычислительный комплекс, являющийся ядром системы управления КС.

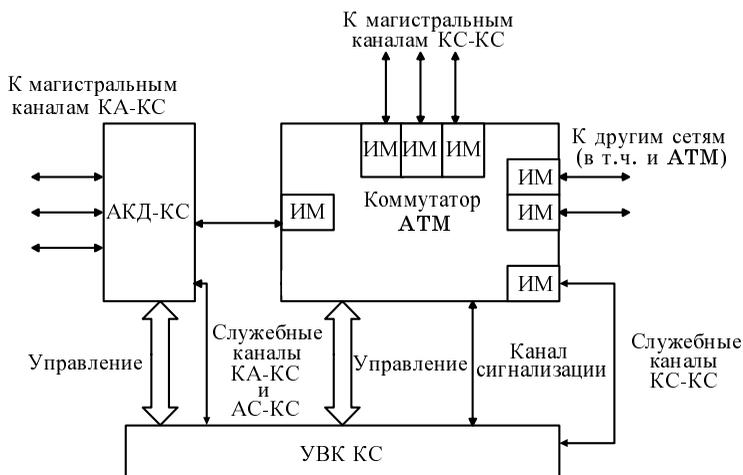


Рис. 6.9. Структура сетевого узла КС

*Управляющий вычислительный комплекс.* Как видно из рис. 6.9, управление сетевым комплексом КС обеспечивается УВК. УВК в этой части выполняет следующие функции:

обмен служебной информацией (сигнализация и управление) с АС, другими КС и на стыке с наземными сетями;

контроль и управление функционированием коммуникационного оборудования;

совместно с коммутатором АТМ контроль и управление абонентскими и магистральными соединениями,

совместно с АКД-КС контроль и управление функционированием магистрального канала КА–КС, контроль и управление функционированием АК через служебные каналы: КА–КС и АС-КС.

*Коммутатор АТМ.* Коммутатор АТМ является серийным изделием и должен соответствовать международным стандартам, рекомендациям и спецификациям, развиваемым Международным союзом электросвязи и консорциумом АТМ Forum. Он обеспечивает эффективную передачу трафиков различного вида, предоставляет возможность использования унифицированного набора интерфейсных модулей, процедур и протоколов сигнализации и передачи данных. Применение серийного оборудования, соответствующего международным стандартам АТМ, позволяет создать унифицированную транспортную среду, обеспечивающую стыковку с сетями общего пользования и необходимую динамику развития и модернизации в соответствии с развитием технологии АТМ. При этом такая среда обеспечивает логическую независимость от специфики абонентского канала и на стыках с наземными сетями общего пользования.

*АКД-КС.* АКД-КС располагается на входе/выходе магистрального канала КА–КС видимых КА и выполняет следующие функции:

мультиплексирования/демультиплексирования абонентских информационных, абонентских служебных каналов и каналов КА–КС;

согласования протоколов и процедур сигнализации между абонентским каналом и магистральной сетью АТМ НОКС в соответствии с требованиями спецификации UNI-3.1;

реализации протоколов и процедур управления абонентскими соединениями на стыке с магистральной сетью АТМ НОКС в соответствии с требованиями спецификации UNI-3.1;

доступа абонентов к магистральной сети АТМ НОКС.

АКД-КС должно быть разработано в соответствии с требованиями космического сегмента НОКС, а с другой стороны, должно соответствовать требованиям, предъявляемым к устройствам доступа магистральной АТМ-сети НОКС. Следовательно, АКД-КС в рамках коммуникационного оборудования НОКС является одним из наиболее специфических устройств и поэтому требует тщательной проработки на последующих этапах проектирования.

## 7. СОПРЯЖЕНИЕ СИСТЕМЫ РОСТЕЛЕСАТ С ДРУГИМИ СЕТЯМИ

Система РОСТЕЛЕСАТ сопрягается с другими сетями и системами связи через шлюзовые (и координирующие) станции. Использование стека протоколов АТМ в качестве базовых позволяет обеспечить соединение практически со всеми существующими в настоящее время сетями без разработки дополнительного оборудования и программного обеспечения (рис. 7.1).

Рассмотрим в качестве примера вариант установки координирующей станции РОСТЕЛЕСАТ в центре космической связи (ЦКС) ОКБ МЭИ «Медвежьи озера».

*ЦКС «Медвежьи озера».* Центр космической связи «Медвежьи озера» расположен примерно в 20 км от Москвы. На территории ЦКС расположены центральные станции крупнейших в России систем спутниковых систем связи (рис. 7.2).

1. Государственное предприятие «Космическая связь».

2. Система спутниковой связи Сбербанк РФ.

3. Система спутниковой связи «Сирена-3».

4. Система спутниковой связи МИД РФ, поддерживаемая АО «Коминком».

Государственное предприятие «Космическая связь» обеспечивает, во-первых, телевизионное вещание на Россию и за границу; во-вторых, организацию в основном магистральных высокоскоростных спутниковых каналов связи.

Системы спутниковой связи «Сберком» и «Сирена-3» построены на базе системы CL-400 американской фирмы AT&T Tridom. Системы имеют конфигурацию «звезда» – передача любой информации производится через центральные станции – и предназначены в основном для передачи данных между центром и периферийными объектами систем. Стек внутренних протоколов систем базируется на протоколах OSI: TP-4, CLNP. Это позволяет организовать на базе системы различные пользовательские сети. В частности, в настоящее время функционируют выделенные сети X.25 и TCP/IP, охватывающие почти 80 крупнейших городов России.

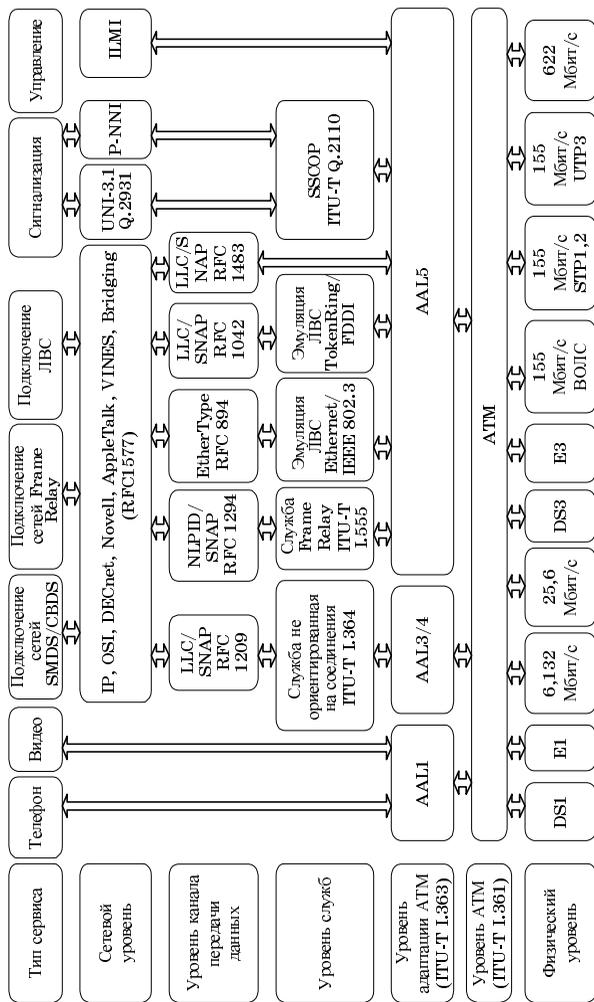


Рис. 7.1. Сопряжение системы РОСТЕЛЕСАТ с другими сетями

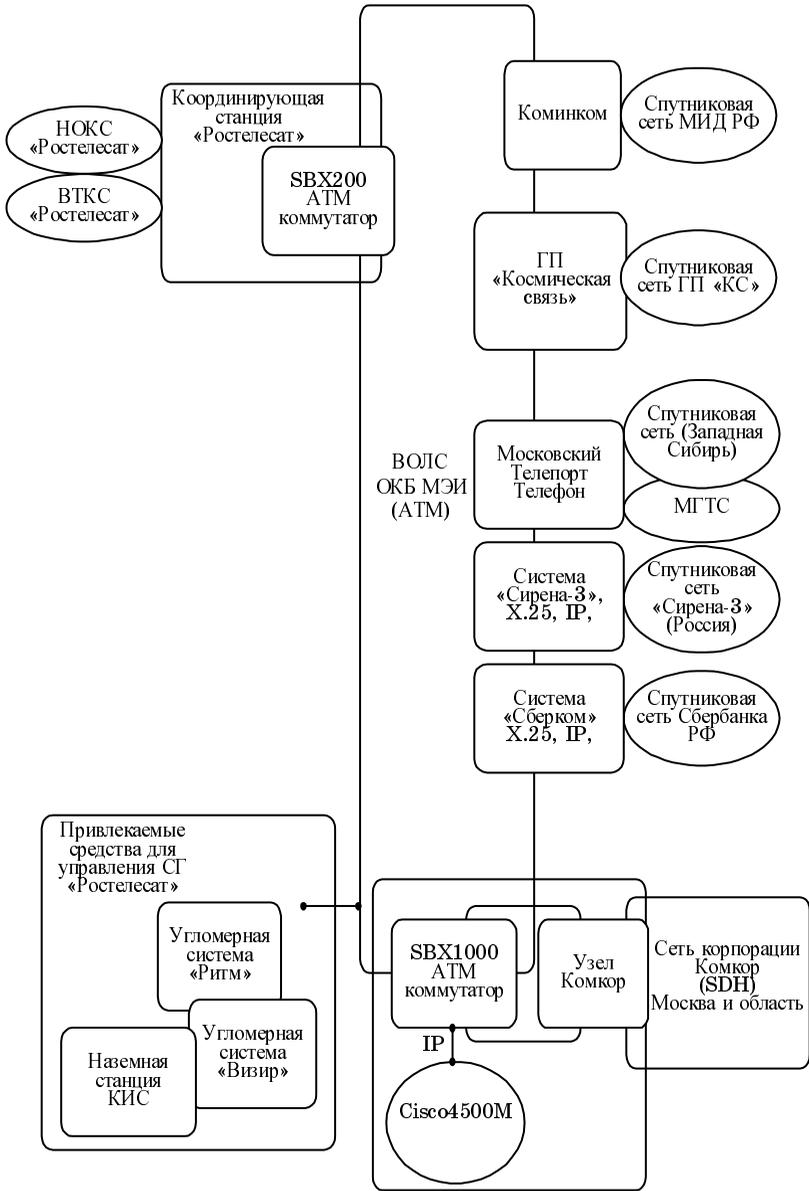


Рис. 7.2. Центр космической связи

## 8. КООРДИНИРУЮЩАЯ СТАНЦИЯ СИСТЕМЫ РОСТЕЛЕСАТ

При проектировании системы связи необходимо реализовать ее связность на всей обслуживаемой территории и возможность автоматического оперативного управления. Это функции координирующих станций системы. Координирующая станция должна обеспечивает связь с бортовыми системами КА, другими КС, АС, центрами управления (ЦУСС, ЦУП) и оперативное управление всей системой связи на обслуживаемой ею территории. Задачи, стоящие перед КС, накладывают определенные требования на состав и сложность входящей в нее аппаратуры. Поэтому целесообразно в процессе реализации системы предусмотреть в составе системы, наряду с КС, и шлюзовые станции. ШС служит для сопряжения системы связи с АС и является более простой и дешевой, по сравнению с КС, с точки зрения входящих в нее блоков и модулей.

Координирующая станция является основным звеном автоматизированного оперативного управления системой связи и одновременно выполняет функции наземного ретранслятора для обеспечения связности системы на обслуживаемой территории.

Координирующая станция в системе выполняет следующие функции.

По функционированию системы связи:

обеспечивает ретрансляцию сигналов абонентов, находящихся в зонах обслуживания различных ИСЗ, т. е. обеспечивает межспутниковую связь;

принимает и обрабатывает запросы от абонентских станций и координирующих станций на предоставление каналов;

рассчитывает оптимальные маршруты передачи информации при установлении соединения;

осуществляет коммутацию каналов связи;

обеспечивает сопряжение с другими сетями связи;

обеспечивает пользователям передачу сообщений в режиме «электронной почты».

По управлению сетью связи:

обеспечивает контроль за доступом абонентов к сети и защиту от несанкционированного доступа;

осуществляет контроль качества каналов связи;  
обеспечивает наблюдение за помеховой обстановкой в каналах связи, передачу информации о помеховой обстановке в центр управления;

обеспечивает взаимодействие со смежными КС по служебным каналам связи.

По управлению орбитальной группировкой и космическими аппаратами в составе наземного комплекса управления:

измерение навигационных параметров и передачу их в баллистический центр НКУ для обработки;

ретрансляцию сигналов телесигнализации, поступающих с КА, в центр управления;

формирование сигналов телесигнализации о состоянии КА и собственном состоянии и передачу их в центр управления системой;

ретрансляцию в центр управления телеметрической информации, поступающей с КА по запросу центра управления;

ретрансляцию команд и командно-программной информации из центра управления на КА орбитальной группировки.

Основные технические требования, предъявляемые к КС системы связи, приведены в табл. 8.1.

*Таблица 8.1*

Характеристики координирующей станции

Технические характеристики	Значение
Число одновременно обслуживаемых КА	до 4
Угол места	7°
Диапазон рабочих углов по азимуту	0°–360°
Рабочий диапазон частот: на прием на передачу	7450–7520 МГц 8315–8385 МГц
Усиление антенны, не менее	37 дБ
Шумовая температура приемного канала не хуже	48 К
Вид модуляции	ФМ–2
Скорость передачи информации	64 кбит/с
Вид кодирования	1/2

Структурная схема пункта контроля и связи (ПКС) представлена на рис.8.1.

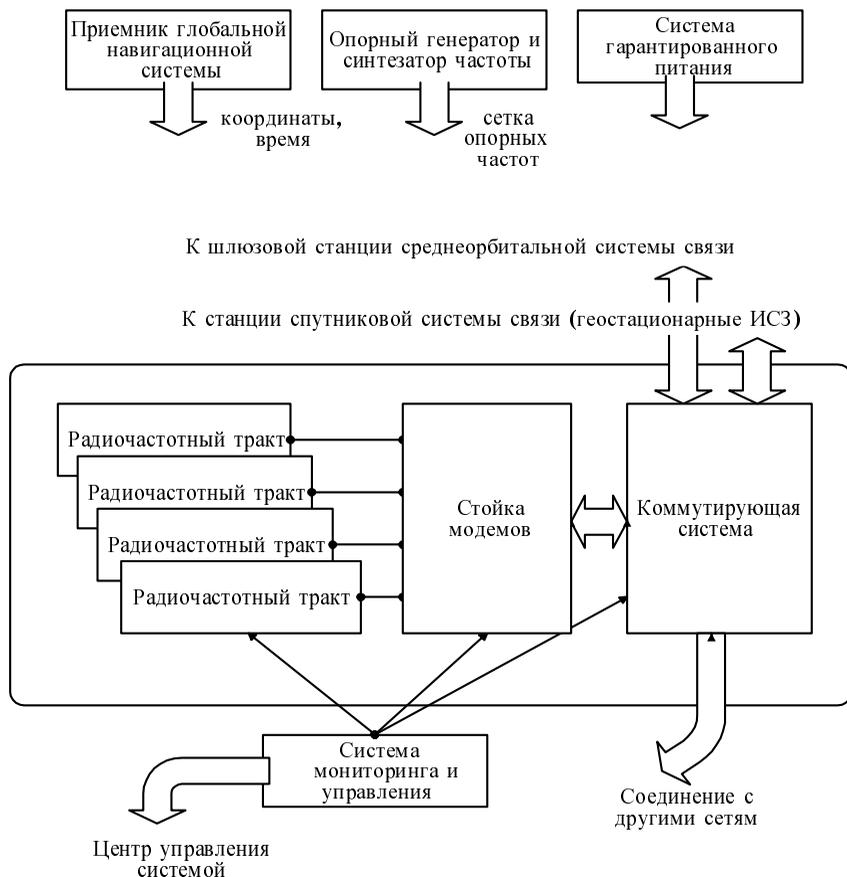


Рис. 8.1. Структурная схема координирующей станции

В состав ПКС входят:

четыре (один – резервный) идентичных радиочастотных приемопередающих канала (РЧК), обеспечивающих независимо прием и передачу информации по четырем направлениям;

блок (стойка) модемов;

рубидиевый стандарт частоты с относительной долговременной нестабильностью не хуже  $1(10-12)$ ;

коммутирующая система;

управляющий вычислительный комплекс;

приемник глобальной навигационной системы;

устройство гарантированного питания (УГП).

В общем случае в станции должно быть четыре РЧК. Их назначение: два РЧК – для одновременной работы по двум ИСЗ;

один РЧКК – для обеспечения перехода без перерыва связи на работу по очередному ИСЗ;

один РЧК – резервный, для обеспечения возможности поочередных регламентных работ.

Антенный пост (АП) состоит из параболической приемо-передающей антенны, опорно-поворотного устройства азимутально-угломестного типа с редукторами и исполнительными двигателями постоянного тока и датчиками углов, малошумящего усилителя и конвертора, усилителя мощности передатчика, системы наведения антенны.

Система наведения обеспечивает наведение антенны посредством УВК. Управление антенной в процессе сеанса связи с ИСЗ – выход в исходную точку, обход зенитной области, выбор траектории выхода в новую исходную точку с учетом ограничения углов поворота антенны осуществляет контроллер РЧК. Целеуказания для наведения антенны на ИСЗ и массив доплеровских поправок вычисляются УВК станции на основании расчетного вектора положения ИСЗ и передаются в контроллер РЧК. Массив доплеровских поправок используется в дальнейшем для управления цифровыми синтезаторами частот в приемном и передающем каналах, а целеуказания транслируются в контроллер РЧК. Расчет вектора положения ИСЗ производится на основании альманаха, рассылаемого из центра управления.

Принятый сигнал разводится на линейку демодуляторов-декодеров. Синтезатор частоты, обеспечивающий сетку опорных частот для демодулятора, синхронизируется от стандарта частоты и под управлением контроллера обрабатывает доплеровский сдвиг частоты.

В ПКС предлагается использовать серийный коммутатор АТМ фирмы STRATOCOM. Использование серийного коммутатора позволит резко сократить сроки разработки ПКС и системы в целом. Коммутирующая система связана с внешними сетями и системами связи района, где размещена шлюзовая станция.

Все устройства станции синхронизируются от одного источника опорной частоты – стандарта частоты (СЧ). Использование СЧ на ПКС позволяет организовать точные измерения доплеровского сдвига частоты для последующего определения в БЦ текущего вектора состояния КА. Измерения проводятся на каждой ПКС. При таком подходе снижается нагрузка на привлекаемые высокоточные средства КВТИ и соответственно снижаются затраты на эксплуатацию системы.

Сигналы измерения дальности, телеметрии и формирования команд через компьютер коммутации входят в общий поток информационных пакетов.

*Измерение доплеровского смещения частоты.* Измерение доплеровского сдвига частоты производится в канале КС–КС при приеме собственного ретранслированного сигнала и сигналов соседних КС, работающих через тот же ИСЗ. Для измерения доплеровского сдвига на выходе каждого демодулятора имеется сигнал с промежуточной частотой, снимаемый с выхода управляемого генератора системы ФАП демодулятора. Этот сигнал подается на измеритель частоты, с выхода которого значение частоты в цифровом виде подается на контроллер канала и затем в управляющую ЭВМ. В управляющую ЭВМ поступают значения доплеровского сдвига частоты сигналов КС, ретранслированных через видимые ИСЗ.

Одной из основных особенностей низкоорбитальных спутниковых систем является наличие значительного доплеровского смещения частоты в радиоканалах из-за быстрого перемещения ИСЗ относительно наземной станции. Как в координирующей, так и в абонентской станциях необходимо производить предустановку доплеровского сдвига частоты с целью уменьшения величины защитного интервала между отдельными частотными каналами; сужения полос захвата и удержания систем ФАП в демодуляторах, уменьшения времени захвата сигнала и повышения помехоустойчивости приема.

Установка доплеровского сдвига частоты производится в передающих каналах абонентских и координирующих станций таким образом, чтобы частота сигнала станции в текущий момент времени на входе бортового ретранслятора имела минимальное отклонение от номинального значения частоты канала, в котором работает станция. Таким образом, частота излучаемого станцией сигнала должна отличаться от номинального на величину доплеровского смещения, рассчитанного или измеренного на текущий момент времени.

Определение величины доплеровского смещения частоты для передающего и приемного каналов на координирующей станции производится расчетным путем по эфемеридной информации, передаваемой всем абонентам системы из ЦУП. При вычислениях используются координаты антенных постов КС, которые с высокой точностью (до десятых долей метра) определяются при развертывании КС. Расчеты показывают следующее:

1) максимальное значение доплеровского сдвига в течение сеанса связи с ИСЗ составляет:

для передающего канала – не более 100 кГц,

для приемного – не более 75 кГц;

скорость изменения доплеровского сдвига частоты составляет:  
в передающем канале – менее 550 Гц/с,  
в приемном – менее 330 Гц/с.

Определим погрешности установки частоты. Для этого оценим составляющие суммарной погрешности.

*Нестабильность частоты генератора.* При использовании стандарта частоты с относительной нестабильностью не хуже  $10^{-12}$  вносимая им ошибка установки частоты не превышает  $10^{-13}$  Гц и может не учитываться в дальнейших расчетах.

*Неточное знание параметров движения КА.* Координаты КА во время его штатной эксплуатации известны в худшем случае с погрешностью  $\pm 1$  км, при этом максимальная ошибка в расчете величины доплеровского смещения  $\Delta F_{д1} \approx 100$  Гц.

*Ошибка из-за дискретизации доплеровской поправки.* Опорные частоты на координирующей станции формируются цифровым методом. Поправка на доплеровский сдвиг вводится в синтезатор частоты дискретно, с периодом  $\tau$ . Минимальный шаг синтезатора по частоте  $\delta F$ . Можно оценить требуемые  $\tau$  и  $\delta F$ , полагая, что величина ошибки дискретизации  $\Delta F_{д2}$  не должна превышать величины ошибки из-за неточного знания параметров движения КА (т. е.  $\Delta F_{д2} \leq \Delta F_{д1} \approx 100$  Гц). В этом случае  $\tau \leq 0,3$  с,  $\delta F \leq 100$  Гц.

*Фазовые шумы из-за дискретизации доплеровской поправки.* Требования к шагу перестройки генератора, компенсирующего доплеровское смещение частоты, с точки зрения допустимых фазовых шумов могут быть оценены из выражения  $\Delta F_{д3} \leq B_{ш}$ , где  $\Delta F_{д3}$  – шумовая полоса кольца ФАПЧ демодулятора;  $B_{ш}$  – допустимое рассогласование по фазе кольца ФАПЧ демодулятора.

Принимая допустимое рассогласование по фазе  $\Delta\varphi = 6^\circ$ , получаем  $\Delta F_{д3} \leq 13$  Гц.

Поскольку требования по фазовым шумам дают меньшее значение допустимого шага дискретизации, шаг дискретизации установки частоты при компенсации доплеровского сдвига принимается равным 10 Гц.

Координирующая (так же как и шлюзовая) станция строится по блочно-модульному принципу. В состав входят следующие функциональные блоки и модули:

блок радиочастотного канала, обеспечивающий независимо прием и передачу информации;

рубидиевый стандарт частоты;

оборудование для контроля за работой в абонентских каналах, оснащенное аппаратурой сопряжения с управляющей ЭВМ;

коммутатор сигналов;

блок сопряжения с магистральными каналами;  
управляющий вычислительный комплекс (УВК);  
устройство гарантированного питания.

Количество и комплектация блоков варьируются в зависимости от типа станции и ее местоположения.

## 9. РАДИОЧАСТОТНЫЙ КАНАЛ

### 9.1. Основные технические характеристики

Радиочастотный канал (рис. 9.1) предназначен для: приема сигналов с низкоорбитального ИСЗ в магистральном канале;

предварительной фильтрации, усиления и переноса принятого сигнала на промежуточную частоту;

передачи принятого сигнала на стойку демодуляторов для дальнейшей обработки;

приема цифрового потока, подготовленного для передачи на спутник, и формирования передаваемого высокочастотного сигнала;

усиления и излучения передаваемого сигнала.

В состав РЧК входят:

антенна с опорно-поворотным устройством;

фидерный тракт с диплексором и развязывающими фильтрами;

малошумящий усилитель (МШУ);

синтезатор частот;

преобразователь (переносчик) приемного канала;

формирователь передающего канала;

усилитель мощности передающего канала;

управляющая ЭВМ.

Тракт радиочастотного канала должен обеспечивать:

дуплексный режим работы;

требуемую величину чувствительности;

устойчивость трактов усиления;

сетку рабочих частот, реализующих полную электромагнитную совместимость и устойчивость работы приемно-передающего тракта;

программную компенсацию доплеровских смещений принимаемых сигналов и упреждающую компенсацию передаваемых смещений в передаваемых сигналах;

необходимый уровень мощности передающего устройства.

*Основные технические характеристики РЧК*

Условия эксплуатации антенного поста соответствуют группе 1.14УХЛ ГОСТ В.20.39.304-76.



антенная система с опорно-поворотным устройством;  
МШУ;

выходной усилитель мощности.

В качестве антенной системы используется зеркально-параболическая антенная система, в состав которой входят:

параболический отражатель;

облучатель с поляризатором и частотно-разделительным фильтром;

комплект соединительных волноводов;

опорно-поворотное устройство с электроприводом.

*Антенная система.* Используется разработанная и освоенная производством антенная система с параболическим зеркалом с вынесенным фокусом с диаметром излучающей апертуры 1,6 м (либо 3,5 м). Фокусное расстояние антенны 0,93 м; фокальное отношение 0,25; угол отклонения оси облучателя от фокальной оси  $53^\circ$ . Основные технические требования к антенной системе приведены в табл. 9.1.

Облучатель обеспечивает требуемую форму диаграммы направленности в обоих частотных диапазонах, формирование эллиптически-поляризованного поля и селекцию частотных диапазонов. Для выравнивания ширины диаграммы направленности в двух плоскостях в раскрыве рупорно-волноводного облучателя устанавливается экран с импедансными канавками. Для уменьшения эффекта затенения рефлектором облучателя и его несущими конструкциями рефлектор выполнен в виде несимметричной вырезки из параболоида вращения, в результате чего поток СВЧ-энергии, отраженный от рефлектора, не рассеивается элементами конструкции.

Облучатель соединяется с выходным каскадом передатчика и входным каскадом маломощного усилителя через диплексер, предназначенный для развязки приемного и передающего каналов. Требуемая развязка достигается включением в канал приема режекторного фильтра на частоту передачи. В передающий канал также включается режекторный фильтр с целью уменьшения потерь сигнала на частоте приема в цепях передающего канала, в этом случае достаточна режекция порядка 25 дБ.

Конструктивно облучатель устанавливается в фокальной области рефлектора с помощью несущих штанг, вдоль которых проложены волноводы передающего и приемного трактов.

Маломощный усилитель, выходной каскад передатчика и диплексер размещаются на обратной стороне зеркала. По условиям размещения в зеркальной системе к облучателю стыкуется волноводный поворот на  $130^\circ$  в Е-плоскости, соединенный с диплексером отрезком прямоугольного волновода длиной 1 м.

Таблица 9.1

## Технические характеристики антенной системы

Характеристики	Значение	Примечание
Диапазон рабочих частот – передача	8,315–8,385 ГГц	Определяется
Диапазон рабочих частот – прием	7,450–7,520 ГГц	–"–
Режим функционирования	одновременная работа на прием и передачу	–"–
Мощность передающего устройства	200 Вт	–"–
Коэффициент усиления на передачу не хуже	37 дБ	–"–
Эффективная поверхность при работе на прием не хуже	0,8 м	–"–
Поляризация поля на прием	круговая левовинтовая	Уточняется
Поляризация поля на прием	круговая правовинтовая	–"–
Коэффициент эллиптичности не хуже	–2,2 дБ	–"–
Максимальная скорость сопровождения по углу места и азимуту	4°	–"–
Диапазон рабочих углов наведения по углу места по азимуту	±200° 0°–90°	–"–

Малощумящий усилитель соединен непосредственно с 3-секционным фильтром диплексера, а выходной каскад передатчика соединен с диплексером отрезком волновода длиной 1 м. Суммарные тепловые потери в приемном канале от облучателя до МШУ составляют 0,6 дБ (потери трехкаскадного фильтра, отрезка волновода и волноводного уголка), потери в передающем канале от облучателя до выходного каскада передатчика составляют 0,5 дБ (один каскад фильтра 0,2 дБ, плюс отрезок волновода длиной 2 м 0,2 дБ, плюс волноводный уголок). Все элементы облучателя и фидерного тракта герметизированы и заполнены сухим воздухом. Масса облучателя около 1 кг, волноводного тракта 3 кг, диплексера 0,5 кг.

Волноводные вращающиеся переходы, обеспечивающие передачу СВЧ-энергии при любой ориентации рефлектора в пространстве в пределах верхней полусферы, выполняются на базе круглого волновода с волной  $H_{01}$ .

*Опорно-поворотное устройство.* Опорно-поворотное устройство (ОПУ) с установленными на нем двигателями электропривода по азимуту и углу места обеспечивает монтаж высокочастотных узлов антенны и ориентацию оси главного лепестка диаграммы направленности. Предлагается использовать малогабаритное опорно-поворотное устройство с синхронным приводом и цифровым программным управлением. В состав ОПУ входит редуктор с двумя отдельными входными и выходными осями, обеспечивающий поворот зеркала антенны по азимуту в пределах  $0-200^\circ$  и по углу места в пределах  $0-90^\circ$ . Входные оси редуктора жестко связаны с шаговыми двигателями типа 2ДШ78-016-1, обладающими большой электромагнитной редукцией ( $N_z = 50-90$ ) и механической синхронизацией от запускающих электрических импульсов. Поворот входной оси передается на выходную ось с помощью самотормозящейся червячной передачи с передаточным числом  $N_{\text{мех}} = 60-90$ .

В качестве датчиков положения и обратной связи используются цифровые датчики для грубого отсчета  $\pm 1^\circ$  типа МП-9. Для точной установки используются свойства синхронного шагового привода, единичному шагу которого ставится в соответствие перемещение выходного вала на величину  $\pm 1$ . Цифровые датчики обратной связи обеспечивают удобную стыковку с контроллером РЧК и тем самым дают возможность цифрового синхронного управления положением антенны при сопровождении космического аппарата. Контроллер РЧК связан с УВМ ПКС по последовательному интерфейсу RS485 по двум витым парам. Метки времени и расчетные целеуказания (ЦУ) поступают в контроллер РЧК от УВМ. На основании расчетных ЦУ и данных от датчиков угловых координат контроллер обеспечивает выход антенны в начальную точку слежения за ИСЗ и дальнейшее наведение антенны на ИСЗ с необходимой точностью. В процессе работы контроллер РЧК выдает в УВМ информацию о состоянии антенного поста.

*Малошумящий усилитель.* Основное назначение МШУ (обеспечение требуемой энергетики радиоприемной линии при размещении антенной системы на значительном удалении от приемной аппаратуры станции). Собственная шумовая температура МШУ не должна превышать  $80-100$  К, тогда эквивалентная шумовая температура приемного тракта с учетом потерь в диплексере и входном волноводе составит не более  $200$  К. Из отечественных разработок может быть использован

МШУ 6МС, имеющий  $T_{ш} = 80$  К при  $K_d = 20$  дБ, из зарубежных – МШУ АFS3-3700420-08-10P-4 фирмы Miteq.

*Выходной усилитель мощности.* Выходной усилитель мощности, входящий в состав антенного поста, должен обеспечивать 80 Вт. Этот уровень мощности может быть реализован усилителями на ЛВВ или клистроне. Отечественная фирма «Исток» разрабатывает клистронные усилители, технические характеристики которых наиболее полно удовлетворяют требованиям как по электрическим характеристикам, так и по условиям эксплуатации.

Конструктивно выходной усилитель мощности размещается непосредственно с задней стороны отражающего зеркала антенны.

Точное знание положения антенн ПКС необходимо для:

определения значения доплеровской поправки;

определения значения времени распространения сигнала для обеспечения работы в режиме многостанционного доступа с временным разделением;

расчета параметров движения КА в баллистическом центре.

Координаты антенны определяются при монтаже станции и контролируются во время регламентных работ. Для этих целей используется приемник глобальной навигационной системы, работающий в дифференциальном режиме.

### 9.3. Синтезаторы опорных частот

Синтезатор рабочих частот обеспечивает формирование сетки когерентных сигналов, необходимых для частотных преобразований в трактах аппаратуры (табл. 9.2). Необходимая стабильность рабочих частот обеспечивается их когерентной привязкой в синтезаторе рабочих частот к стандарту частоты, имеющему долговременную относительную нестабильность частоты не хуже  $10^{-12}$ .

В качестве опорного генератора используется рубидиевый стандарт частоты Ч1-82, характеристики которого приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Технические характеристики стандарта частоты

Характеристика	Значение
Частота выходного сигнала	5 МГц
Отклонение частоты от номинального значения при выпуске не более	$\pm 2 \times 10^{-11}$
Среднее относительное изменение частоты за сутки	$< 2 \times 10^{-13}$

Характеристика	Значение
Относительная погрешность восстановления частоты от включения к включению не более	$2 \times 10^{-12}$
СПМ фазовых шумов в одной боковой полосе при отстройке от несущей на 1 кГц	-140 дБ/Гц
Подавление гармонической составляющей 10мгц в спектре выходного сигнала	40 дБ
Питание от источника постоянного тока	27В
Потребляемая мощность в режиме прогрева в рабочем режиме при температуре +25 °С	80 Вт 18–20 Вт

Современная элементная база в виде БИС цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС) позволяет синтезировать сетку спектрально чистых сигналов с частотой от тысячных долей герц до нескольких десятков и даже сотен мегагерц при шаге сетки до тысячных долей герц, обеспечивая при этом высокую скорость переключения с одной частоты на другую.

Основой ЦВС являются системы пассивного цифрового синтеза частот с потоками многоуровневых импульсов. В таких системах аналоговые колебания заданной частоты формируются из потока импульсов, модулированных по амплитуде.

Для формирования синусоиды с частотой  $f$  достаточно иметь не менее двух ее значений за период  $T = 1/f$ . На практике используют не менее 3–4 значений. В общем случае ЦВС состоит из специализированного цифрового устройства, предназначенного для соответствующего преобразования эталонного импульсного сигнала с тактовой частотой  $f_T$ , цифроаналогового преобразователя (ЦАП) и фильтра нижних частот (ФНЧ). Легкость управления частотой, фазой и амплитудой выходного сигнала ЦВС от ЭВМ, возможность синтеза когерентных сигналов с мало отличающимися частотами выгодно отличают ЦВС от синтезаторов, основанных на других методах синтеза (в том числе, использующих системы фазовой автоподстройки частоты с делителями частоты с переменным коэффициентом деления).

Основными преимуществами ЦВС являются:

- простота реализации малого шага сетки синтезируемых частот;
- высокая скорость переключения с одной частоты на другую, при этом время перестройки обусловлено длительностью перестройки

цифровой части ЦВС (несколько периодов тактовой частоты) и временем запаздывания в ФНЧ;

отсутствие в выходном колебании разрывов по фазе при переключении частот вследствие того, что смена кода частоты приводит лишь к изменению скорости нарастания фазы сигнала;

высокие кратковременная и долговременная стабильности выходной частоты, определяемые в основном характеристиками источника сигнала тактовой частоты;

высокая стабильность амплитуды выходного сигнала, зависящая от стабильности источника опорного напряжения, питающего ЦАП.

В ЦВС формирование синусоиды заданной частоты осуществляется следующим образом. В соответствии с кодом заданной частоты  $K_f$  с частотой дискретизации, определяемой тактовой частотой  $f_T$ , через интервалы времени  $T_d = 1/f_T$  в устройстве, называемом накопителем кодов фазы, вычисляется текущая фаза синусоидального колебания заданной частоты. Далее с помощью блока памяти, в котором хранятся данные о значениях синусоидальной функции при различных фазах, выбирается число, пропорциональное значению синусоиды при такой фазе.

В ЦАП выбранное число преобразуется в напряжение, в результате сигнал на выходе ЦАП имеет ступенчатую форму. Для подавления высших гармонических составляющих при необходимости после ЦАП включается ФНЧ.

Синтезируемая частота  $f_c$ , диапазон частот  $B$  и шаг сетки  $R_f$  ЦВС определяются по формулам:

$$f_c = \frac{K_f}{M} f_T,$$

$$B = f_{c\max} - f_{c\min} = (0,25 \dots 0,35) f_T,$$

$$R_f = \frac{f_T}{M},$$

где  $K_f = 1, 2, \dots, M/3$ ,  $M$  – емкость накопителя кода фазы.

Уровень фазовых шумов вблизи несущей выходного сигнала ЦВС определяется спектральной плотностью фазовых шумов генератора тактовой частоты, быстродействием используемых интегральных микросхем и характеристиками переходных процессов в ЦАП.

Уровень гармоник и побочных дискретных составляющих в спектре выходного сигнала ЦВС зависит от свойств ФНЧ за пределами полосы пропускания, а также обусловлен нелинейностью ЦАП и характером возникающих в нем процессов при переходе от одной выборки к другой.

В целом выпускаемые за рубежом различными фирмами большие

интегральные схемы (БИС) ЦВС обладают достаточно хорошими параметрами, позволяющими удовлетворить требованиям синтеза частот при высокой скорости переключения, малом шаге сетки и высокой спектральной чистоте формируемого сигнала. Оценим возможность реализации синтезаторов частоты на основе БИС ЦВС, выпускаемых фирмой Analog Devices и доступных для приобретения в настоящее время.

В РЧК синтезатор выполняет функции задающего генератора гетеродинов с программным управлением частотой в соответствии с прогнозируемым изменением доплеровских смещений.

В основу этого синтезатора может быть положен набор микросхем AD9955KS (накопитель фазы) и AD9721BN (ЦАП), специально разработанный фирмой Analog Devices для построения ЦВС. Этот набор обладает характеристиками, приведенными в табл. 9.3.

*Таблица 9.3*

**Технические характеристики синтезаторов РЧК**

Характеристика	Значение
Число разрядов фазового накопителя	32 дв.разр.
Число разрядов ЦАП	10
Тактовая частота $f_r$ , МГц не более	80
Выходная частота	$f_r/3$
Дискретность установки частоты	$f_r/2$
Уровень дискретных составляющих, дБ не более	-60
Уровень случайных составляющих, дБ не более	-90
Напряжение питания, В	+5±5%
Стоимость БИС AD9955KS, при партии 6 шт., дол.	51
Стоимость БИС AD9721BN, при партии 6 шт., дол.	70,4
Время установки частоты не более	14 периодов тактовой частоты
Интерфейс связи с машиной	последовательно-параллельный
Диапазон рабочих температур	0 ... +700 °С
Корпус БИС AD9955KS	80 выводов
Корпус БИС AD9721BN	28 выводов

При выбранной тактовой частоте, равной 75 МГц, шаг сетки синтезируемых частот составит 0,02 Гц, что существенно меньше заданного шага, поэтому частью младших разрядов можно не управлять.

В настоящее время существует неограниченный выбор высокочастотных синтезаторов частоты, выпускаемых зарубежными фирмами. Например, синтезаторы частоты фирмы Miteq в диапазоне частот от 1 до 15 ГГц, обладающие низкими фазовыми шумами и малым шагом перестройки.

#### 9.4. Преобразователь приемного канала

Преобразователь приемного канала служит для усиления и переноса принимаемого сигнала на промежуточную частоту (140 МГц) для дальнейшей обработки (демодуляции и декодирования) в модеме. Структурная схема приемного (и передающего) канала показана на рис. 9.2.

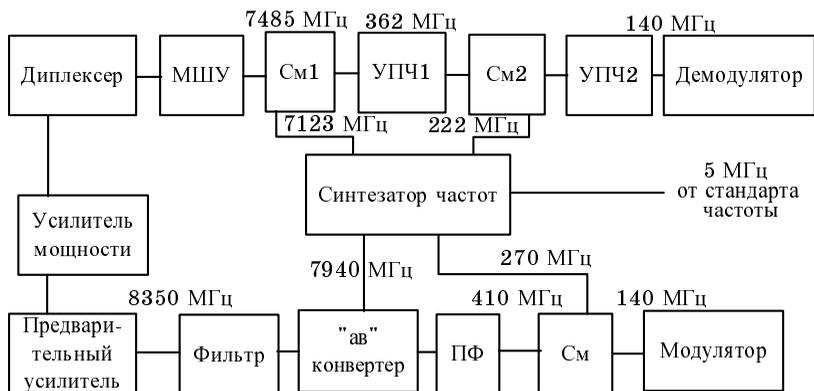


Рис. 9.2. Структурная схема приемного и передающего трактов

В приемном тракте сигнал, принятый на частоте 7850 МГц, подвергается двойному преобразованию с помощью частот, генерируемых синтезатором частот, и дальнейшему усилению. На выходе первого смесителя выделяется частота  $f_{пч1} = f_{вх} - f_{г1}$  ( $7485 - 7123 = 362$  МГц), а на выходе второго смесителя выделяется частота  $f_{пч2} = f_{пч1} - f_{г2}$  ( $362 - 222 = 140$  МГц).

Для успешной работы модема номинальное отношение сигнал/шум должно быть не менее 10 дБ. Мощность шума определяется следующим образом:

$$P_{ш.вх} = \kappa T_{эКВ} B,$$

где  $T_{\text{экв}} = 200 \text{ К}$ ;  $\kappa = 1,38 \cdot 10^{23} \text{ Дж/К}$ ;  $B = 32 \text{ МГц}$ ;  $P_{\text{с.вх}} = P_{\text{ш.вх}} + 10 \text{ дБ} = 130,6 \text{ дБ}$ .

В качестве элементной базы в преобразователе приемного канала могут быть использованы, например, смесители М2-0208 фирмы Marki Microwave (СМ1) и IАМ 81018 фирмы Hewlett Packard (СМ2). Технические характеристики этих элементов приведены в табл. 9.4.

Таблица 9.4

Технические характеристики ПАВГ

Характеристика	Значение
Номинальная частота выходного сигнала	400–500
Относительная спектральная плотность мощности фазовых флюктуаций в полосе 1 Гц при отстройке от несущей, дБГц не более на 100 Гц на 10 Гц	-80 -140
Среднеквадратичная случайная вариация частоты выходного сигнала за 1 с не более	$10^{-9}$
Среднее изменение частоты выходного сигнала в диапазоне температур от -60 °С до +60 °С не более	$10^{-7}$
Выходная мощность сигнала, мВт	5

*Формирование сигналов гетеродинов.* Формирование сигналов гетеродинов может быть осуществлено различными способами:

с использованием генераторов на поверхностных акустических волнах с последующим умножением;

с использованием современных отечественных и зарубежных синтетических частоты.

Минимальный уровень фазовых шумов в сигналах рабочих частот может быть достигнут применением в качестве гетеродинов, например, генераторов на поверхностных акустических волнах (ПАВГ), подстраиваемых по сигналу стандарта частоты с помощью систем фазовой автоподстройки. Выбор ПАВГ по сравнению с традиционным управляемым кварцевым генератором (УКГ), принципиально реализуемом в диапазоне частот 10–30 МГц, обусловлен реализуемостью ПАВГ в диапазоне частот 200–650 МГц с хорошей чистотой спектральной линии, что позволяет значительно снизить коэффициенты умножения частоты в трактах формирования гетеродинов (особенно первого) и получить высокое качество спектра (минимум фазовых шумов), стабильность частоты. Одновременно достигается и об-

щее упрощение структуры, связанное с отказом длинных трактов умножения частоты (с собственными шумами) и сложных структур прямого синтеза, фильтрации сигналов необходимых частот.

Основные характеристики генераторов ПАВГ (отечественного производства) приведены в табл. 9.5.

*Таблица 9.5*

**Технические характеристики смесителей**

Характеристики	Значение
<b>М-0208</b>	
Входные мощности, дВм гетеродина сигнала	5 20
Уровень подавления, дБ частоты сигнала на выходе частоты гетеродина на входе	25 30
Прямые потери, дБ	6
<b>IAМ 81018</b>	
Частотный диапазон, ГГц	до 5
Коэффициент преобразования, дБ на частоте 70 МГц на частоте 1,0 ГГц	8 3
Входные мощности, дВм гетеродина сигнала	5 20
Уровень подавления, дБ частоты сигнала на выходе частоты гетеродина на выходе частоты гетеродина на входе	25 15 33

Система ФАПЧ ПАВГ выполняется по схеме, включающей в себя делители частоты, смеситель, синхронный и фазовый детекторы, схему поиска по частоте, индикатор захвата, фильтр нижних частот ФАПЧ.

Узлы ФАПЧ реализуются на цифровых микросхемах счетных делителей частоты серии 193 или 6500, серий 530, 533, 564 и аналоговых микросхемах типа 140УД20, 572ПА1, 174ПС1.

Добиться дальнейшего снижения коэффициента умножения можно за счет применения элементной базы фирмы Hewlett Packard

(Avantec Products). Например, перестраиваемых генераторов типа МТО-8060 (диапазон рабочих частот 600/900 МГц, выходная мощность 10 дБм) и МТО-8650 (диапазон рабочих частот 6500/8600 МГц, выходная мощность 10 дБм).

В качестве варианта можно предложить использование генераторов управляемых напряжением (ГУН), разработанных фирмой Magnum Microwave Corporation. Эти элементы работают в частотном диапазоне до 12 ГГц, имеют выходную мощность 10 мВт, сохраняют работоспособность в температурном диапазоне  $-55 \dots +85$  °С. Возможно применение ГУН, разработанных и другими фирмами, однако применение этих элементов требует последующего умножения. Формирование опорных сигналов для гетеродинов с цифровой установкой частоты и блоков гетеродинов с дискретной компенсацией доплеровского смещения частоты осуществляется путем последовательного умножения частоты входного сигнала на микросхемах типа 175УВ4.

### 9.5. Формирователь передающего канала

Формирователь передающего канала включает в свой состав:  
 возбудитель;  
 усилитель мощности.

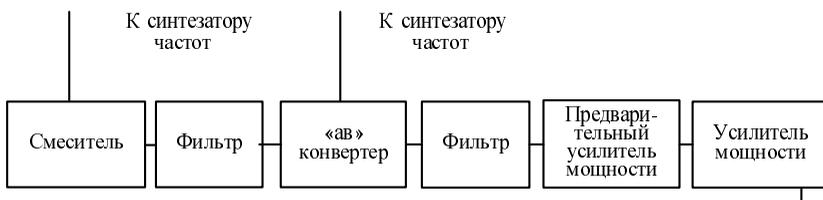


Рис. 9.3. Структурная схема возбудителя

*Возбудитель.* Возбудитель в составе передающего устройства осуществляет формирование излучаемого радиосигнала (рис. 9.3).

Поступающий из модулятора ФМ-сигнал с частотой несущей 140 МГц переносится на частоту 350 МГц в соответствии с принятой в системе сеткой частот. В качестве переносчика можно применить балансные перемножители типа 174ПС4. Последующее преобразование осуществляет конвертер. Этот преобразователь «вверх» включает в себя параметрический диод, согласующие устройства, X-циркулятор.

Несмотря на относительную сложность схемно-технической реализации (X-циркулятор, устройства согласования параметров параметрического диода одновременно с резонансными трактами сигнала, на-

качки, верхней боковой), конвертер имеет ряд неоспоримых преимуществ, в частности, коэффициент передачи преобразователя может быть существенно больше единицы и в пределе определяется соотношением

$$K = (f_n + f_c)f_c,$$

где  $f_n$  – частота накачки,  $f_c$  – частота преобразуемого сигнала.

Поскольку мощности источников «накачки» и сигнала перекачиваются в мощность «верхней боковой», спектр выходного (преобразованного) сигнала не содержит паразитных составляющих.

*Усилитель мощности.* Уровень сформированного сигнала возбуждения (среднее значение), как правило, не превышает 1–2 мВт. Тракт усиления мощности должен обеспечивать усиление не менее 40 дБ. С учетом возможных потерь во вращающихся сочленениях и диплексере результирующий коэффициент линейного усиления следует увеличить на 2–3 дБ.

Тракт усиления состоит из предварительного усилителя, уровень выходной мощности которого составляет 1–2 Вт, и выходного усилителя мощности с  $P_{\text{вых}} = 80$  Вт, который входит в состав антенного поста.

Основные технические характеристики серийно выпускаемых усилителей мощности, наиболее полно удовлетворяющие требованиям как по электрическим характеристикам, так и по условиям эксплуатации, приведены в табл. 9.6.

Таблица 9.6

Технические характеристики усилителей мощности

Тип прибора	Фирма, страна	$F$ , ГГц	$P_{\text{вых}}$ , Вт	$K_{\text{ус}}$ , дБ	$K_{\text{ш}}$ , дБ
M7984-5	ГНПП «Исток», РФ	7,9–8,4	5	37	
APN/084-4040	СТТ Inc., США	7,9–8,4	10	40	7,5
RF 1733	Locus Inc., США	7,9–8,4	10	55	
8PA37	ITS Electronics Inc., Канада	7,7–8,4	5	37	
CGB 778505- 81	Fujitsu, Япония	7,7–8,4	0,45	45	
MDI 60180-05	Avantek, США	6,0–8,0	0,8	8	
ANP - 0717	Vessex Electronics Ltd, Великобритания	7,9–8,3	0,2	35	

В качестве предварительного усилителя могут быть использованы усилители, разрабатываемые отечественными фирмами «Исток»

и «Радис». Эти усилители выполнены на полевых транзисторах, работают в требуемом частотном диапазоне и имеют на выходе мощность не менее 1,5–2 Вт.

Предварительный усилитель включает в себя несколько каскадов, собранных на полевых транзисторах 3П331, 3П604, 3П603, А-796, разработанных НИИ «Пульсар». На входе и выходе усилителя включены развязывающие ферритовые вентили. При подаче на вход сигнала мощностью 1–2 мВт на выходе обеспечивается выходной сигнал с уровнем мощности порядка 1–1,5 Вт.

Для дальнейшего усиления сигнала требуется применение схем со сложением мощностей. Из отечественных усилителей возможно применение усилителей, разработанных фирмой «Исток», которые используют современную зарубежную элементную базу. Выходная мощность порядка 20 Вт (мощность насыщения) обеспечивается путем сложения мощности выходных транзисторов. Деление мощности, фазирование сигналов и сложение мощностей осуществляется с помощью мостов Ланге. Габаритные размеры выходного усилителя 240×200×24 мм. Все каскады усилителей выполнены в виде гибридных микрополосковых модулей на подложках из поликора. Микрополосковые линии имеют золотое покрытие, что повышает надежность усилителей при длительной эксплуатации.

## 10. СТОЙКА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ РОСТЕЛЕСАТ

Модуль (стойка) обработки сигналов обеспечивает:

прием на промежуточной частоте сигналов в магистральном канале от ИСЗ;

демодуляцию и декодирование сигналов;

преобразование принятых пакетов в соответствии с протоколами, принятыми в коммутирующей системе, и выдачу их через стандартный интерфейс на КС;

компенсацию доплеровского сдвига частоты при приеме сигналов с ИСЗ;

прием через стандартный интерфейс от КС и подготовку (преобразование) пакетов, поступающих от коммутирующей системы, для передачи их на ИСЗ;

модуляцию и выдачу сигналов на промежуточной частоте в РЧК, с коррекцией доплеровского смещения частоты в канале.

В состав канала входят:

модем;

синтезатор опорных частот;

конвертеры протоколов;

контроллер (управляющая ЭВМ).

*Модем.* Модем представляет собой комбинированный прибор. Его основные функции:

демодуляция и декодирование радиосигналов, поступающих от радиоприемного тракта;

кодирование данных, модуляция несущей и формирование спектра радиосигнала для радиопередающего тракта.

В состав модема входят:

демодулятор;

устройство тактовой синхронизации;

декодер помехоустойчивого кода;

кодер;

модулятор.

Технические характеристики модема:

частота несущей 140 МГц;

доплеровское отклонение частоты не более 150 кГц;  
уровень входного сигнала 75 мВ+10% ;  
уровень выходного сигнала 1 мВт;  
входное и выходное сопротивления 50 Ом;  
вид модуляции ФМ-2;  
скорость передачи информации 32 Мбит/с;  
кодированная скорость 1/2;  
время вхождения в синхронизм не более 35 мкс;  
вероятность ошибки при декодировании не более  $10^{-8}$ .

*Демодулятор.* При выборе схемы восстановления несущей предпочтение отдается схеме, которая при заданной шумовой ошибке слежения обеспечивает меньшее время вхождения в синхронизм. Таким свойством обладает схема Костаса. В этой схеме несущая восстанавливается в результате выполнения над выходными сигналами согласованных фильтров математической процедуры

$$S_{\text{ош}} = S_i \text{sign} S_q (S_q \text{sign} S_i,$$

где  $S_i$  и  $S_q$  – выходные сигналы согласованных синфазного и квадратурного каналов.

Схема может быть реализована как в аналоговом, так и в цифровом варианте.

*Аналоговый вариант.* Сигналы с приемных ФНЧ через устройство принятия решения поступают на одни из входов перемножителей. Устройство принятия решения состоит из компаратора и Д-триггера. Сигнал с выхода компаратора записывается в Д-триггер тактовым импульсом в момент, когда напряжение сигнала достигает максимума. На вторые входы перемножителей сигналы поступают через линию задержки, которая компенсирует при необходимости задержку в устройстве принятия решения. Перемножители выполняют первую часть алгоритма Костаса – умножают принятый сигнал на его знак в другом канале. Вторую часть алгоритма выполняет сумматор. Сигнал на его выходе является разностью сигналов перемножителей из-за противофазного подключения дополнительных усилителей.

Сформированный управляющий сигнал проходит через пропорционально-интегрирующий фильтр и далее подается на управляющий генератор кольца. Обнаружение вхождения в синхронизм осуществляется по совпадению событий – наличию сигнала на выходах приемных ФНЧ и отсутствию биений в кольце ФАПЧ. В качестве элементной базы для этого варианта исполнения схемы Костаса могут быть использованы перемножители серий 174, 526; компараторы серий 521, 597; операционные усилители серий 544, 153; триггеры серий 100, 500, 1500.

*Цифровой вариант.* Сигналы с выходов приемных ФНЧ поступают на АЦП. Считывание информации производится тактовым импульсом в момент максимума выходного напряжения фильтров. Сигнал на старшем разряде АЦП является решением о принятом символе.

Алгоритм Костаса можно записать в виде

$$S_{\text{ош}} = \text{sign}S_i \text{sign}S_q (IS_i I - IS_q I).$$

В результате сигнал ошибки представляется как разность модулей выходных фильтров, к которой в качестве знака придается результат суммирования по модулю 2 решения о принятых символах. Разность модулей сигналов фильтров вычисляется сумматором в совокупности с инвертором. Выходное число сумматора и знак преобразуются цифро-аналоговым преобразователем в управляющее напряжение (рис. 10.1). Для получения сигнала о вхождении демодулятора в синхронизм используется тот же алгоритм, что и в аналоговом варианте.

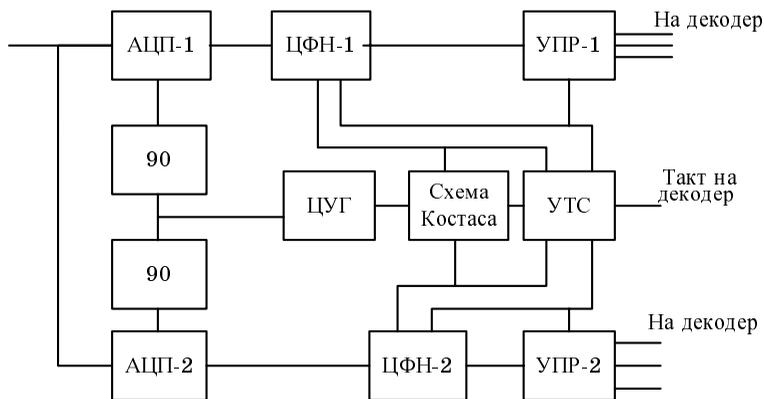


Рис. 10.1. Структурная схема демодулятора

В качестве элементной базы цифрового варианта могут быть использованы АЦП серии 1107, ЦАП серии 1108, другие микросхемы серий 533, 1533, 555, 1555.

Демодулятор строится с применением цифровых методов обработки. Входные АЦП выполняют функции фазовых детекторов. Выходные сигналы АЦП обрабатываются фильтрами Найквиста. Устройства принятия решения формируют из выходных сигналов фильтра «мягкие» решения, обеспечивающие работу сверточного декодера.

Опорное кольцо ФАПЧ образуется цифровым управляемым генератором и схемой Костаса, которая формирует из выходных сигналов фильтров сигнал фазового рассогласования для управления ге-

нератором. В состав схемы Костаса входит цифровой интегрирующий фильтр, обеспечивающий шумовую полосу кольца ФАПЧ.

Работа цифровых фильтров и устройств принятия решения обеспечивается устройством тактовой синхронизации (УТС). УТС построен на основе кольца ФАПЧ, использующего цифровой управляемый генератор и интегрирующий фильтр.

*Модулятор.* Модулятор может быть выполнен по классической схеме формирования сигнала ФМ-2 со сдвигом в основном на элементах цифровой техники. В его состав входит цифровой генератор, управляемый от контроллера. Эти генераторы могут быть выполнены на базе микросхем цифровых вычислительных синтезаторов, которые обладают малым шагом перестройки и высоким быстродействием.

*Синтезатор опорных частот.* В модеме используется синтезатор в диапазоне частот 2,6–3,6 МГц с шагом 10 или 12,5 кГц.

Основу синтезатора составляет БИС АД7008АР20 фирмы Analog Devices, обладающая характеристиками, приведенными в табл. 10.1.

Таблица 10.1

#### Характеристики БИС синтезатора

Характеристики	Значение
Число разрядов фазового накопителя, дв. разр.	32
Число разрядов ЦАП	10
Тактовая частота $f_T$ , МГц не более	20
Выходная частота	$f_T/3$
Дискретность установки частоты	$f_T/2$
Уровень дискретных составляющих, дБ не более	-55
Фазовые шумы в полосе $\pm 50$ кГц, дБ не более	-70
Напряжение питания, В	$+5 \pm 5\%$
Средний ток потребления, мА	80
Стоимость при партии 25–9 шт., дол.	25
Диапазон рабочих температур	-40 ... +85°C
Корпус	PLCC, 44 вывода

При выбранной тактовой частоте, равной 15 МГц, шаг установки частоты будет лучше  $4 \times 10^{-3}$  Гц.

## 11. ВЛИЯНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУППИРОВКИ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ ИСЗ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАБЛЮДАЕМОСТИ ИСЗ

Известно, что для синтеза группы начальных условий для расчета движения КА необходимо использовать алгоритм, учитывающий возмущающее влияние несферичности Земли и влияние Луны и Солнца. Разнесение ИСЗ в плоскости орбиты по такому параметру, как аргумент широты порождает неустойчивую орбитальную группировку. Здесь рассмотрен вариант деградации ОГ при выходе из строя одного ИСЗ. Анализ проведен на примере ОГ, имеющей структуру из 8 плоскостей по 6 КА в каждой.

Устойчивость орбитальной группировки спутников связи является ключевой характеристикой системы в целом, которая определяет стратегию планирования рабочих циклов и принятие решений о восполнении ОГ. Известно, что основными факторами, возмущающими движение ИСЗ, являются несферичность гравитационного потенциала Земли, влияние Луны и Солнца. Для многоспутниковых низкоорбитальных систем таких, как Iridium, Globalstar, Сигнал и других, устойчивость ОГ связана с характеристиками покрытия поверхности Земли зонами радиовидимости космических аппаратов и статистикой наблюдаемости КА из различных наземных точек. Одновременно устойчивость ОГ определяется такими факторами, как расстановка ИСЗ в рабочих орбитальных позициях (обеспечивающая стабильное долговременное относительное расположение ИСЗ) и избыточность (обеспечивающая сохранение рабочих характеристик наблюдаемости ИСЗ в зонах ответственности систем).

Рассмотрим влияние расстановки КА в рабочих позициях внутри ОГ. Известно, что негеосинхронные ОГ строятся по принципу образования орбитальных плоскостей. При этом структура ОГ задается количеством орбитальных плоскостей и количеством КА в плоскости. Касаясь построения ОГ в соответствии с указанным принципом следует отметить, что формирование плоскости за счет разнесения КА на орбите по параметру аргумент широты хотя и образует пространственную геометричес-

кую орбитальную плоскость, но не обеспечивает стабильность получаемой конфигурации.

Орбитальная структура низколетящих КА типа Globalstar, получаемая в соответствии с описанным принципом формирования, заметно деградирует в случае отсутствия коррекции на интервале времени около 100 витков. Сказанное можно показать на примере ОГ Globalstar с помощью рис. 11.1–11.4, соответственно отображающих распределение КА в начальный момент времени (рис. 11.1) в конечный момент времени (рис. 11.2) и пространственную статистику наблюдаемости не менее одного КА, накопленную на интервале времени моделирования 11600 мин (рис. 11.3 и 11.4).

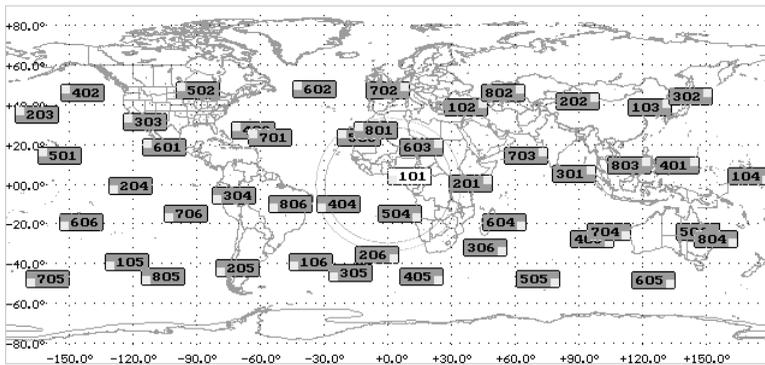


Рис. 11.1. Исходное распределение ИСЗ ОГ на момент начала моделирования

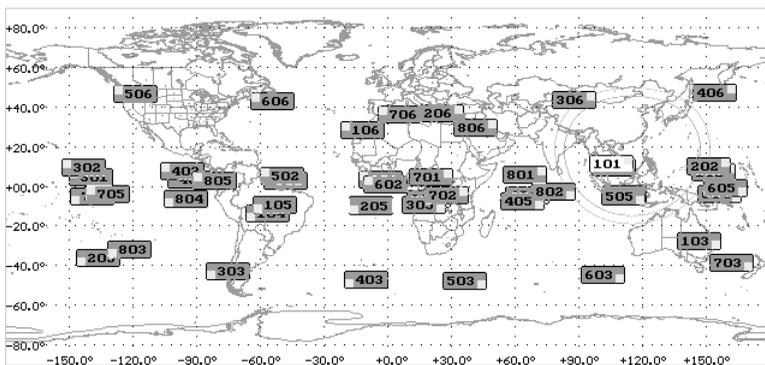


Рис. 11.2. Распределение ИСЗ ОГ на момент окончания моделирования через 11600 мин

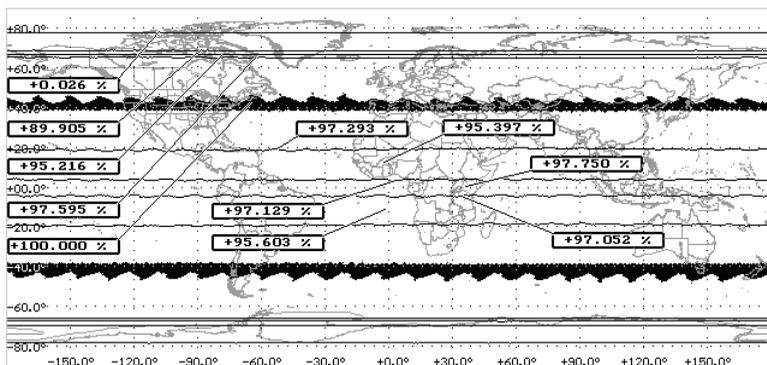


Рис. 11.3. Двумерное пространственное распределение наблюдаемости не менее одного ИСЗ ОГ под углом больше  $10^\circ$

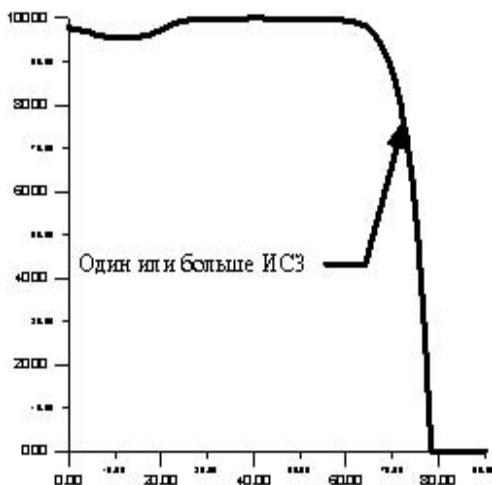


Рис. 11.4. Профиль наблюдаемости не менее одного ИСЗ ОГ в течение интервала времени 11600 мин с учетом деградации ОГ

Чтобы исключить или сильно уменьшить влияние деградации ОГ, необходимо формировать распределение ИСЗ в начальный момент времени с учетом таких возмущающих факторов, как нецентральность гравитационного поля Земли, влияние Луны и Солнца. В табл. 11.1 приведена группа устойчивых начальных условий, описывающая исходное расположение ИСЗ в ОГ и обеспечивающая сохранение пространственного распределения ИСЗ в течение всего интервала времени 11600 мин без деградации ОГ. Параметры, приведенные в табл.11.1, даны в неподвижной абсолютной системе координат, привязанной к звездам.

## Начальные условия исходного расположения ИСЗ

X, км	Y, км	Z, км	$V_x$ , км/с	$V_y$ , км/с	$V_z$ , км/с
6792.2295	3650.9740	18.1943	-2.11422458	3.90492610	5.68356421
5320.4680	-1849.1502	-5297.5726	4.45542417	4.88742427	2.81903684
-1518.4933	-5503.6266	-5280.8217	6.49110846	.97629921	2.82965215
-6866.3342	-3701.4617	-9.1659	2.08882856	-3.86092684	-5.61856806
-5443.2245	1750.7457	5271.5381	-4.37766295	-4.88275998	-2.84417323
1368.7576	5455.1143	5306.5388	-6.53768392	-1.03866455	2.80432019
1734.1411	7485.6905	652.3993	-4.44855778	.54298157	5.65094569
5007.9366	3177.6691	-4954.3679	-.79066194	6.33587718	3.31399106
3236.7185	-4351.4158	-5567.4443	3.61366492	5.72109510	-2.31598595
-1758.5013	-7573.1418	-633.8545	4.39446745	-5.4717503	-5.58823259
-5020.9588	-3326.8373	4927.6588	.83444644	-6.26694368	-3.32657057
-3308.3548	4201.7030	5591.6451	-3.58990188	-5.79092412	2.27873967
-4437.9034	6176.7829	1277.9228	-3.11705615	-3.37744037	5.55732251
726.7681	6192.6609	-4559.0252	-5.13692023	3.34484698	3.77321181
5171.7832	-51.1961	5795.2496	-1.98826510	6.64063498	-1.77799257
4478.6776	-6262.5320	-1251.3382	3.09139542	3.32289386	-5.49939758
-632.5793	-6300.4715	4532.1742	5.10697054	-3.26569529	-3.77296355
-5108.6914	-112.2963	5816.8006	2.05627373	-6.65752115	1.72985965

$X, \text{ км}$	$Y, \text{ км}$	$Z, \text{ км}$	$V_x, \text{ км/с}$	$V_y, \text{ км/с}$	$V_z, \text{ км/с}$
-7444.9386	712.9027	1888.2959	.90731493	-4.686266572	5.40416960
-4509.6068	4725.6717	-4115.8943	-5.59502340	-1.73005979	4.19196052
2997.4842	3966.4606	-5962.1827	-6.41787959	2.93108009	-1.22116644
7538.6304	-751.5047	-1855.4956	-.87236344	4.62918546	-5.35313091
4647.0202	-4732.5124	4089.1516	5.51217308	1.75503982	-4.17896191
-2826.1200	-4035.8178	5979.6963	6.46563018	-2.88311450	1.16356420
-5299.0905	-5031.0528	2477.3309	4.48931941	-2.19964735	5.19351760
-6797.9475	-421.9088	-3629.6764	-2.09176995	-5.16695215	4.56594112
-1413.5836	4625.5999	-6066.7178	-6.51124909	-2.91719550	-65113990
5400.9153	5070.0608	-2440.3493	-4.41669640	2.19392699	-5.15101100
6894.9968	512.6495	3603.0893	2.02062775	5.11646462	-4.54058107
1589.7481	-4543.4318	6078.6421	6.49312506	2.98227286	.58587097
335.1948	-7086.2943	3039.1665	4.72280080	2.31201953	4.92789044
-4243.6975	-5645.9261	-3105.3727	2.59586917	-4.61532612	4.89130927
-4529.4923	1521.6153	-6107.8512	-2.12449840	-6.84612348	-07360782
-286.1883	7192.8395	-3000.1083	-4.67086988	-2.25486372	-4.89509151
4246.0560	5774.6720	3078.8890	-2.59977839	4.52873583	-4.85426676
4591.6144	-1328.0786	6112.5915	2.05614481	6.86281747	.00284233
5408.4945	-4197.9300	3568.2629	1.19238385	5.40567980	4.61026146

X, км	Y, км	Z, км	$V_x$ , км/с	$V_y$ , км/с	$V_z$ , км/с
1550.3846	-7113.6707	-2548.2578	4.97667070	-7.4837130	5.16467336
-3887.1275	-2818.0517	-6085.0807	3.72574373	-6.10805662	5.0566455
-5452.1527	4315.4699	-3529.1565	-1.20463003	-5.32699471	-4.58788778
-1638.4813	7202.4228	2521.8144	-4.91198837	.69337605	5.11691958
3783.1292	3001.5699	6081.1448	-3.77863248	6.05327026	-5.7943426
6427.0250	1367.6876	4059.4078	-3.61404416	4.55875776	4.24401805
6541.8264	-3582.0162	-1963.8634	3.43710808	3.35232926	5.38310350
18.2648	-4903.4524	-5998.4083	6.98783643	-1.22585483	1.08087899
-6548.3789	-1313.5836	-4022.0936	3.54540375	-4.51790427	-4.23235313
-6663.3004	3580.7957	1937.4764	-3.35693975	-3.33492659	-5.32590028
-229.5494	4952.2606	5984.5626	-6.96747425	1.14404518	-1.15489933

Деградация ОГ из-за неточности создания исходного состояния орбитальной структуры и связанного с ней естественного ухода относительного расположения ИСЗ друг относительно друга может быть скомпенсирована действием алгоритма управления движением ИСЗ в период его активного существования.

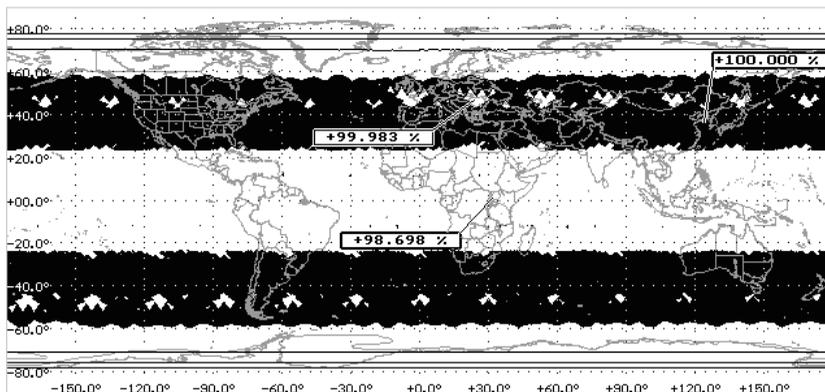


Рис. 11.5. Пространственное распределение наблюдаемости не менее 1 ИСЗ ОГ под углом места больше  $10^\circ$  при одном неисправном КА

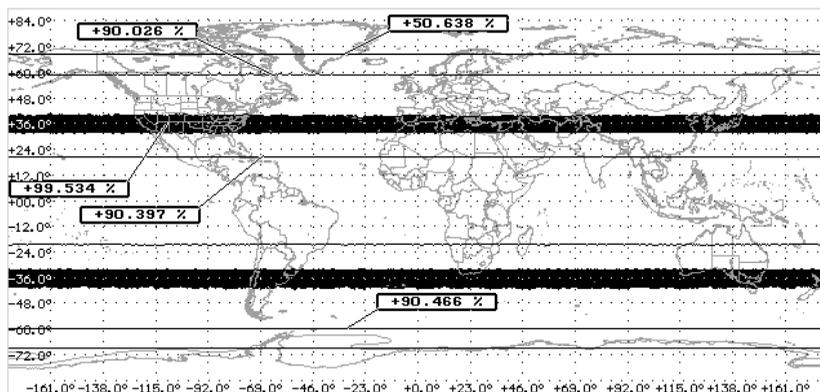


Рис. 11.6. Пространственное распределение наблюдаемости не менее 2 ИСЗ ОГ под углом места больше  $10^\circ$  при одном неисправном КА

Проанализируем случай деградации, обусловленный выходом из строя одного КА в орбитальной группировке Globalstr. На рис. 11.5 показаны результаты расчета вероятности наблюдаемости не менее одного ИСЗ под углом места больше  $10^\circ$ . при вышедшем из строя одном ИСЗ. На рис. 11.6 показано аналогичное распределение для условия

видимости не менее двух ИСЗ. Расчет произведен для интервала времени 11600 мин.

Из приведенных выше расчетных распределений видно, что снижение вероятности обнаружения не менее одного ИСЗ при выходе из строя одного КА в ОГ составляет в рабочей области системы связи величину около 1,5%, а для условия обнаружения не менее чем 2 ИСЗ – почти 20% (максимум 100% не достигается, ограничиваясь уровнем 98,5%) (рис. 11.7).

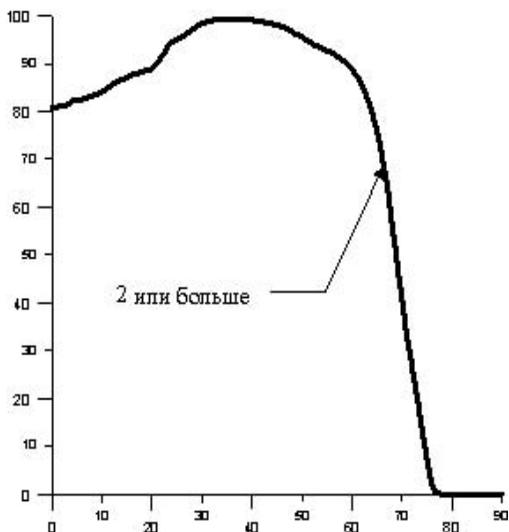


Рис. 11.7. Вероятность обнаружения не менее одного спутника

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: формирование начальных условий для плоскостей ОГ путем варьирования аргумента широты в группе кеплеровских параметров не обеспечивает создания устойчивой ОГ;

учет возмущающих факторов при синтезе группы начальных условий, задающих стартовое распределение ИСЗ в ОГ и используемых для прогноза их движения, позволяет уменьшить деградацию ОГ и связанное с ней разрушение покрытия до пределов обусловленных неточностью установки ИСЗ в рабочих позициях;

выход одного ИСЗ в ОГ Globalstar приводит к заметной деградации формируемого ей покрытия как однократного, так и двукратного, что приведет к эпизодическому пропаданию связи в сети (так как возможны ситуации, когда над БС не будет находиться ни одного ИСЗ).

Таким образом, необходимо либо восполнить ОГ, либо корректировать расположение ИСЗ в ней, чтобы демпфировать ущерб ОГ.

## 12. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ В НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КРУГОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Загруженность частотного спектра приводит к значительным трудностям при создании глобальных систем связи. В значительной мере это объясняется большим количеством уже действующих систем, использующих геостационарную орбиту и ограничивающих использование частотного спектра другими системами. Использование низкоорбитальных ИСЗ для построения систем связи открывает новые ресурсы, обусловленные естественным пространственным разнесением радиолиний геостационарной и низкоорбитальной системы.

Естественное пространственное разнесение радиолиний этих систем обусловлено тем, что наземные станции низкоорбитальной системы используют весь диапазон углов места и азимута при работе с ИСЗ, в то время как в геостационарной системе эти углы почти постоянны.

Наиболее остро вопросы обеспечения электромагнитной совместимости стоят для фидерных радиолиний, так как они оборудованы наземными станциями стационарного базирования, которые обеспечивают высокие скорости и качество передачи информации за счет применения антенных систем с узкими антенными лучами. Поэтому для таких радиолиний даже слабые мешающие сигналы могут значительно ухудшать отношение сигнал/шум. Регламентом радиосвязи предусмотрено, что в случае создания помех фидерным линиям систем связи через геостационарные ИСЗ необходимо прекратить мешающее излучение или снизить его уровень до безопасного предела. Оценим эффективность применения алгоритмов выключения излучения стволов связи низкоорбитальной системы для обеспечения ее электромагнитной совместимости. Существует две основные ситуации возникновения помех: первая обусловлена помехами, создаваемыми со стороны низкоорбитальных ИСЗ фидерной радиолинии геостационарной системе в направлении снизу-вверх; вторая обусловлена возникновением помех, создаваемых базовой станцией низкоорбитальной системы связи (поддерживающей ее фидерные линии), бортовому ретранслятору геостационарной системы.

Проведем анализ данных ситуаций на примере системы, использующей орбитальную группировку низколетящих ИСЗ, состоящую

из 48 космических аппаратов, распределенных в 8 орбитальных плоскостях по 6 КА в каждой. Фазировка КА в соседних орбитальных плоскостях предполагает нарастающий от плоскости к плоскости фазовый сдвиг на  $6^\circ$  соответствующих КА по аргументу широты. Рабочими углами места для ИСЗ будем считать диапазон от  $10$  до  $90^\circ$ .

Покрытие поверхности Земли зонами радиовидимости для такой системы характеризуется распределением вероятности наблюдаемости разного количества ИСЗ на различных широтах. На рис. 12.1 темным фоном показана область 100% -ной реализации однократного покрытия поверхности Земли зонами радиовидимости спутников системы, а изолиниями отмечены границы областей, где вероятность реализации однократного покрытия меньше 100%; выноски дают числовое значение вероятности для указанных точек. Характер покрытия различной кратности характеризуется графиками рис. 12.2.

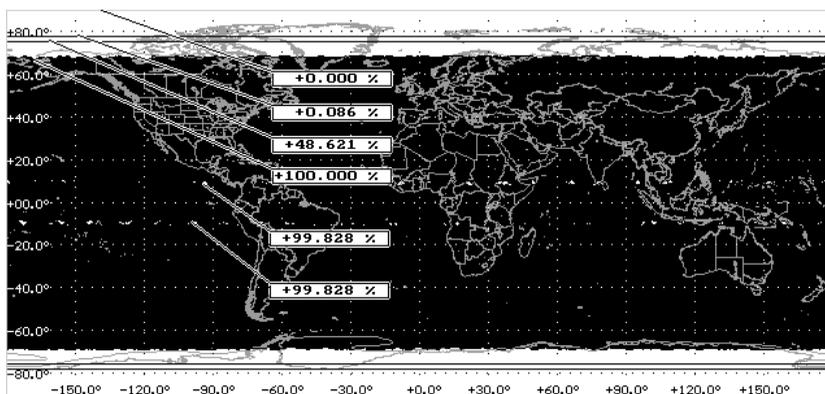


Рис. 12.1. Вероятность реализации однократного покрытия

Из рис. 12.1 и рис. 12.2 следует, что описанная ОГ при полном развертывании в состоянии обеспечить почти полное сплошное однократное покрытие поверхности Земли в диапазоне широт  $68,1^\circ$  с. ш. –  $68,1^\circ$  ю. ш.

Предположим, что в точке на поверхности Земли с координатами  $30^\circ$  с. ш. и  $30^\circ$  в. д. расположена наземная станция, работающая через геостационарный ИСЗ с точкой стояния  $60^\circ$  в. д. Необходимо учесть, что в настоящее время бортовые спутниковые ретрансляционные комплексы ИСЗ используют много лучей для обслуживания подспутниковой зоны. При этом применяются как многоканальные системы с отдельными антеннами, так и многолучевые антенны. Их использование предусматривается в таких проектах низкоорбитальных систем, как Globalstar, Iridium. Для примера рассмотрим 19-

лучевую антенну с шириной луча  $30^\circ$ , размещенную на борту низко летающих ИСЗ, составляющих описанную выше ОГ. Проекция лучей на поверхность Земли показаны для одного ИСЗ на рис. 12.3 слева. На рис. 12.3 справа показана область на поверхности Земли, формируемая такими ИСЗ, которые находятся в поле видимости ориенти-

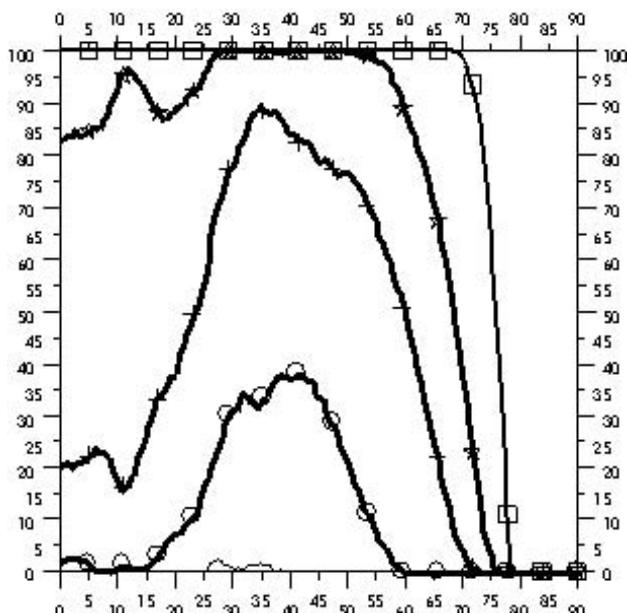


Рис. 12. 2. Кратность покрытия

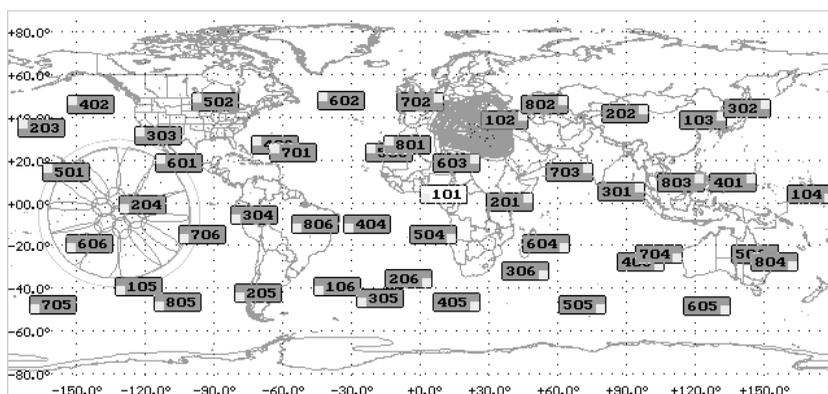


Рис. 12.3. Проекция лучей одного ИСЗ

рованной на геостационарный ИСЗ наземной антенны, а бортовой луч низколетящего ИСЗ работает в направлении этой наземной антенны. Вероятность такого события составляет примерно 2,4 %.

Ряд систем связи через низколетящие ИСЗ использует наземные базовые станции для решения задач коммутации каналов и управления системой. При этом ИСЗ, находящиеся вне контакта с базовыми станциями, находятся в дежурном режиме и не создают электромагнитных помех другим системам. Оценим вероятность возникновения помех для наземной станции, работающей через геостационарный ИСЗ, если ИСЗ низкоорбитальной системы управляются базовыми станциями, находящимися на территории России. Рассмотрим геостационарный ИСЗ с точкой стояния  $60^\circ$  в. д. со стороны базовой станции низкоорбитальной системы, расположенной в районе Москвы. Если лучи базовой станции отключаются в моменты, когда они главным лепестком облучают геостационарный ИСЗ, то предположим, что сопровождаемые ими ИСЗ низкоорбитальной системы в эти моменты времени недоступны.

На рис. 12.4 показана область двукратного покрытия, вычисленная с учетом действия такого алгоритма. Ширина луча БС в этом случае была взята равной  $15^\circ$ . Для рассмотренного случая на однократном покрытии действие отключения лучей БС не отражалось.

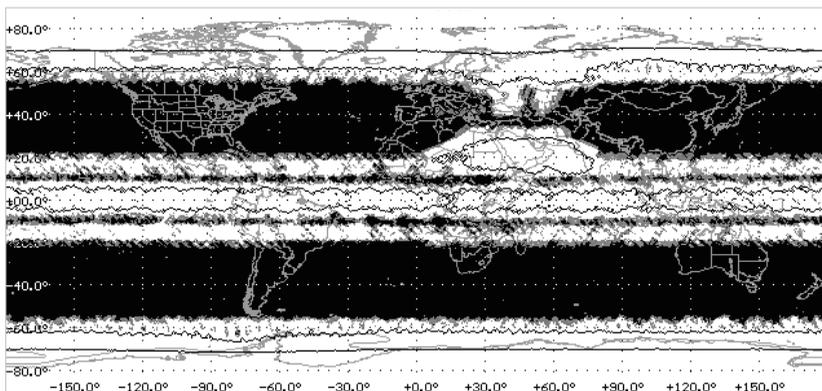


Рис. 12.4. Область двукратного покрытия

В случае когда анализируются значительно более узкие лучи базовой станции, вероятность возникновения помех сильно уменьшается и необходимо применение специальных методов для обнаружения подобных ситуаций.

Таким образом, применение даже простейшего алгоритма управления, использующего выключение лучей бортового ретранслятора

и лучей базовой станции низкоорбитальной системы связи, способно эффективно решать задачи по обеспечению электромагнитной совместимости систем.

## 13. ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

### 13.1. Основные космические системы связи

Основные космические системы связи систематизированы по техническим характеристикам и сведены в табл. 13.1. В этой таблице ССС разделены по странам и регионам мира и даны характеристики главным образом глобальных систем. Исключение составляют системы ELIPSO, ICO, «Марафон», которые являются региональными. В табл. 13.1 не отражены такие российские ССС, как «Банкир», «Ямал», «Молния», «Садко», «Гонец» и ряд других, причем технические характеристики систем «Садко» и «Гонец» будут достаточно подробно проанализированы далее.

В табл. 13.2 обобщены параметры орбитальных группировок некоторых космических систем связи.

### 13.2. Характеристики основных региональных систем

В настоящее время наряду с глобальными системами персональной спутниковой связи начинают все более активно развиваться и региональные системы. Уже начата опытная эксплуатация региональной системы ACeS, предназначенной для обслуживания Азиатско-тихоокеанского региона.

Кроме того, спутник Thuraya-1 на борту ракеты Sea Launch Zenit (3SL) был успешно запущен с экватора (старт с водной платформы в Тихом океане) 21 октября 2000 года. Это самый мощный на тот момент коммерческий геостационарный спутник, покрывающий территорию 99 стран Европы, Северной и Центральной Африки, Ближнего Востока, Средней Азии, Индийского субконтинента, а также южные регионы России. На покрываемой территории, простирающейся по долготе от  $-20^{\circ}$  з. д. до  $100^{\circ}$  в. д. и по широте от  $20^{\circ}$  ю. ш. до  $60^{\circ}$  с. ш., проживает около 40% мирового населения. Система стала работать благодаря многократно усиленному сигналу со спутника на терминал и сверхвысокой чувствительности самого космического устройства. Размер установленной на спутнике Thuraya-1 эллипсной антенны – 16 м в поперечнике. Необходимое для этой антенны электропитание спутник получает от двух 35-метровых солнечных бата-

Таблица 13.1

## Спутниковые системы связи

Название системы	Разработчик	Этапы деятельности	Назначение*	ОГ	Высота, км Наклонение, ° Структура, $N \times k$	Антенна
США и Канада						
OmniTRACS	QUALCOMM	Функционирует	1, 2, 5	1. Два ИСЗ GSTAR (США) 2. Два ИСЗ EUTELSAT (Европа) 3. Два ИСЗ JCSAT (Япония)	36000 0 –	–
GLOBALSTAR	Loral Qualcomm Satellite Services	1998 – начало развертывания (24 ИСЗ); 1999 – функционирует полностью	1, 2, 3	48 ИСЗ на НКО	1410 52 8×6	МЛА 16 лучей
IRIDIUM	MOTOROLA	1998 – начало развертывания; 1999 – функционирует полностью	1, 2, 3	66 ИСЗ НВБЛО на НКО, 11 ИСЗ резерв	780 86,6 6×11	3 МЛА по 16 лучей

Название системы	Разработчик	Этапы деятельности	Назначение*	ОГ	Высота, км Наклонение, ° Структура, $N \times k$	Антенна
CELSTAR SYSTEM	CELSAT USA	1991 – начало разработки; функционирует	3, 5	3 ИСЗ на ГСО	36000 – –	параболическая диаметр 20 м
ARIES	Constellation Communications Inc	1996 – начало разработки; функционирует	3	48 ИСЗ на НКО	1018 – 4×12	МЛА 7 лучей
LEOSAT	LEOSAT	Функционирует	3	24 ИСЗ на НКО	–	–
ORBCOMM	Orbital Sciences CORP. (OSC), ORBCOMM	1994 – лицензия на разработку; функционирует	3	26 ИСЗ на НКО	750 45 –	7 антенн
ELLIPSO	Mobile Communications Holdings Inc.	1998 – начало развертывания; функционирует	3	10 ИСЗ на СЭО 6 ИСЗ на СКО	7846–520 116.5 8040 0 –	МЛА 61 луч
AMSC	AMSC, AMRC, Производитель ИСЗ компания HUGHES	1999 – начало развертывания; функционирует	1, 3	2 ИСЗ на ГСО	36000 0 –	МЛА 6 лучей

Продолжение табл. 13.1

Название системы	Разработчик	Этапы деятельности	Назначение*	ОГ	Высота, км Наклонение, ° Структура, N×k	Антенна
INMARSAT-A, B, C, M, D		Функционируют с 1982 года	1, 3		— — —	—
Европа						
ICO	ICO Global Communication Ltd., Англия	1999 – начало функционационирования	3	12 ИСЗ на СКО	10355 45 2×6	МЛА163 луча
LOCSTAR	CNES (Франция)	1988 – начало разработки; 1991 – работы остановлены	5	2 ИСЗ на ГСО	— — —	—
EUTELTRACS		Функционирует с 1991 года	2		36000 — —	—
LEOCOM	ITALSPAZIO (Италия)	—	1, 3	40 ИСЗ на НКО	1360 — —	—

Название системы	Разработчик	Этапы деятельности	Назначения*	ОГ	Высота, км Наклонение, ° Структура, N×k	Антенна
<b>Южная Америка и Азия</b>						
ЕСО-8	TELEBRAS (Бразилия)	1999 – начало развертывания; функционалирует	1, 2, 3	8 ИСЗ на НКО	1930 0 –	24 луча
GIPSE	UK Government, UK EPSRC	–	3, 5	НКО, 32 ИСЗ на СКО, СЭО, ГЕО	10350 45 8×4	МЛА
AMSS	HUGHES, ST и STV (Сингапур)	–		4-ИСЗ	– – –	Узкие лучи
<b>Россия</b>						
СИГНАЛ	КОСС	Функционирует	1, 2, 3	48 ИСЗ на НКО	1500 74 4×12	МЛА
РОСТЕЛЕСАТ	КОМПОМАШ	1996 – начало разработки	1, 2, 3	96 ИСЗ на НКО	– – 12×8	–

Окончание табл. 13.1

Название системы	Разработчик	Этапы деятельности	Назначение*	ОГ	Высота, км Наклонение, ° Структура, $N \times k$	Антенна
МАРАФОН	АО Информкосмос	Функционирует	3, 5	5 ИСЗ Аркос на ГСО 4 ИСЗ Маяк НА ВЭО	36000 – – 650–1500 – –	–
КУРЬЕР	НПО ЭЛАС, GmbHN (Германия)	Функционирует	3	72 ИСЗ на НКО	800 76 8×9	МЛА 37 лучей

\* 1 – навигация; 2 – позиционирование; 3 – ШПС; 4 – ФСС; 5 – ШПС; МЛА – многолучевая антенна;  $N$  – количество орбитальных плоскостей;  $k$  – количество аппаратов в плоскости

Параметры систем

Название ОГ	Тип орбит	Тип трассы подспутниковых точек	Фазировка плоскостей	Структура ОГ $N \times k$	Наклонение	Большая полуось, км	Эксцентриситет
Иридиум	Несинхронная	Неизомаршрутная	Есть	6×11	86°24'	7157,14	0,00064
Гонец	"–"	"–"	Нет	9×5	89°	7771,0	0,00064
Globalstar	"–"	"–"	Есть	8×6	52°	7761,0	0,00064
Сигнал	"–"	"–"	Нет	4×12	74°	7871,0	0,00064
Теледесик	"–"	"–"	"–"	21×44	98°8'24" – 98°10'48"	7066–7076	0,00064
ГЛОНАСС	"–"	"–"	Есть	3×8	64°48'	25491,0	0,00064
Инмарсат-Р	Синхронная	"–"	"–"	2×6	45°	16726,0	0,00064
Тундра	"–"	Изомаршрутная	"–"	1×3	63°26'	42125,0	0,25
Молния	"–"	"–"	"–"	2×2	62°47'	26580,0	0,71

рей. Их мощности хватает и на поддержание деятельности суперпроцессора IBM, находящегося на борту аппарата. По своей производительности «начинка» процессора равна трем тысячам одновременно работающих процессоров «Пентиум-3». Она выполняет роль контроллера и коммутатора на борту, способного осуществлять до 12–14 тысяч единовременных соединений. Это значительно сокращает время задержек в разговоре, так как сигнал идет напрямую между спутником и наземными терминалами. Более того, благодаря огромной зоне покрытия спутника стало возможным использование лишь одного крупного наземного шлюза при звонке на местный телефон. Срок службы геостационарного спутника Thuraya-1 выше, чем у низкоорбитальных аппаратов Iridium более чем вдвое и достигает 12–15 лет.

Клиенты Thuraya имеют выход в сеть GSM – их спутниковые трубки поддерживают как собственный, так и GSM-стандарт. Оставаясь абонентом сети GSM, можно вне зоны покрытия ее оператора переходить на роуминг сети Thuraya. При этом в тех точках, где сотовая связь отсутствует, ваш GSM-номер будет доступен для всех звонков. Один из недостатков спутниковой связи – невозможность разговора в помещении – будет компенсирован специальной системой, подающей особый сигнал о том, что кто-то пытается к вам дозвониться. Телефон также снабжен системой GPS (определения глобального местоположения), позволяющей владельцу с погрешностью до 100 метров определять свои координаты в любой точке полушария.

В России также планируется создание региональной системы «Зеркало-КР». Одним из важных преимуществ проекта региональной системы «Зеркало-КР» по сравнению с проектами систем глобальной спутниковой связи – существенно меньшая сложность и стоимость разработки.

Принципиально новым для мировой практики стало появление новых технологий, которые сделали возможным создание и развертывание в космосе многолучевых антенн с рефлектором больших размеров (диаметром 12 м и более). Сравнительные характеристики трех типов региональных систем приведены в табл. 13.3.

Стоимость создания региональных систем в 2–5 раз меньше, чем глобальных, т. е. является привлекательным фактором для инвесторов. Немаловажным является также тот факт, что для развертывания региональной сети на начальной стадии требуется минимальный состав оборудования как на Земле, так и в космосе – всего один КА и комплект наземного оборудования для контроля и управления работой системы. Архитектура и принципы построения различных систем во многом совпадают. Региональная система включает три основных сегмента: космический, пользовательский и наземный сегмент управления. Орбитальная группировка состоит из 1–2 КА на

Таблица 13.3

## Сравнительные характеристики систем Thuraya, ACeS и «Зеркало-КР»

Характеристика	Региональная система		
	Thuraya	ACeS	"Зеркало-КР"
Страна-владелец ресурса	ОАЭ	Индонезия	Россия и страны СНГ
Тип спутника	ГСО	ГСО	ГСО
Планируемое число абонентов в системе	1 750 000	2 000 000	350 000
Стартовая масса КА, кг	5250	4400	2600
Срок активного существования КА (лет)	12–15	12	12
Число лучей на КА	250–300	140	30–40
Энергопотребление КА, Вт	13000	4000	5700–6300*
Средства вывода на орбиту	Ariane 5, Sea Launch	РН «Протон»	РН «Протон»
Тариф, дол./мин	Нет данных	1,0	0,4–0,6
Стоимость проекта, млн дол.	1000	900	360

\* Для разных вариантов реализации полезной нагрузки

геостационарной орбите. Управление работой системы осуществляется с помощью центральной земной станции, называемой также первичной станцией сопряжения (PGW – Primary Gateway). В наземный сегмент могут входить также независимые региональные станции сопряжения, которые могут устанавливаться независимо в разных странах. Их использование позволит сделать тарифную политику более гибкой за счет сокращения объема международного трафика.

Особенности построения региональных систем рассмотрим на примере системы Thuraya, наиболее интересной для стран европейского континента.

Идея создания региональной системы связи для арабских и европейских стран возникла в 1997 году. Для проведения работ в январе 1997 года была учреждена компания Thuraya Satellite Communication Company (ОАЭ) со штаб-квартирой в г. Абу-Даби. Начальный капитал составлял 25 млн дол., к августу 1997 года он увеличился до 500 млн дол. (взносы 17 компаний-акционеров), в декабре 1997 года недостающие средства в 600 млн дол. США были предоставлены банковскими структурами.

Первичная станция PGW расположена в г. Шариян (ОАЭ). В ее состав входят несколько специализированных земных станций с вынесенными антенными постами. Центр управления и контроля работоспособности спутника обеспечивает обработку телеметрической информации, поступающей с КА по фидерным линиям в С-диапазоне, и контролирует правильность функционирования всех его подсистем. Для оценки характеристик распространения сигналов в L-диапазоне на линии «вверх» в состав первичной станции сопряжения введена земная станция-радиомаяк UBS (Uplink Beacon Station).

Пропускная способность на КА в L-диапазоне составляет 13750 симплексных каналов, несколько больше, чем в системе аналогичного назначения ACeS (11000 каналов).

Абонентские и фидерные линии работают в тех же диапазонах частот, что и в системах Inmarsat и ACeS. В L-диапазоне (ширина полосы 24 МГц) организуется работа абонентских станций, а в С-диапазоне планируется обеспечить связь с помощью фидерных линий (табл. 13.4).

Таблица 13.4

Диапазоны частот системы Thuraya, МГц

Направление связи	Тип линии связи	
	Абонентская (L-диапазон)	Фидерная (С-диапазон)
Земля – Космос	1626,5–1660,5	6425–6725
Космос – Земля	1525–1559	3400–3625

По сравнению с другими ССС аналогичного назначения, в том числе и ACeS, компанией Hughes для системы Thuraya разработана уникальная антенная система (диаметр 12,25 м), обеспечивающая формирование 250–300 «узких» лучей. Такая возможность реализована за счет использования на борту цифровой диаграммообразующей схемы, позволяющей изменять конфигурацию лучей в зоне покрытия или создавать новые лучи. С помощью такой схемы может быть обеспечено гибкое перераспределение мощности между разными лучами, что позволяет сосредоточить до 20% общей излучаемой мощ-

ности в одном луче. Высокая спектральная эффективность системы достигается за счет 30-кратного повторного использования рабочих частот.

Бортовой ретранслятор Thuraya позволяет организовать прямую связь между мобильными абонентами, работающими через разные лучи. Это очень важно, так как позволяет избежать «двойного скачка», возникающего в случае, когда групповой поток вначале сбрасывается вниз, перекоммутируется на наземных станциях сопряжения и затем возвращается на борт КА. Что же касается организации связи мобильных абонентов с абонентами сетей общего пользования, то она осуществляется в режиме bent-pipe, т. е. вся обработка информации осуществляется на Земле.

Высокая энергетическая эффективность ретранслятора Thuraya (запас в абонентской линии достигает 10 дБ) реализована за счет использования не только «узких» лучей, но высокоэффективной системы электропитания с солнечными батареями, обеспечивающими выходную мощность, равную 13 кВт. Основные характеристики КА Thuraya приведены в табл. 13.5.

Таблица 13.5

Основные характеристики КА Thuraya

Параметр*	Значение
Стартовая масса КА, кг	5250
Масса на орбите, кг	3200 (BOL)
Размеры антенны, м	12,25
Число «узких» лучей в L-диапазоне	250–300
Размах панели солнечных батарей, м	34
Мощность системы электропитания, кВт	13 (BOL), 11 (EOL)
Емкость аккумуляторной батареи, Ач	250

\* Основные технические характеристики КА, такие как масса, излучаемая мощность и напряжение солнечных батарей имеют максимальные значения в начальный момент работы на орбите и по мере увеличения срока службы эксплуатации деградируют. Их значения обычно характеризуют двумя параметрами; в начале: эксплуатации на орбите (BOL) или в конце гарантированного ресурса работы (EOL).

Персональная связь в системе Thuraya организуется по уже хорошо апробированной схеме. В тех районах, где существуют сотовые зоны покрытия, связь организуется через наземные сети, а за их пределами – в

спутниковом режиме. Важным отличием от низкоорбитальных систем Iridium и Globalstar, которые вынуждены обеспечивать сопряжение с большим числом разнотипных стандартов, используемых в разных регионах мира (GSM, AMPS, TDMA, CDMA, PDC), является то, что региональная связь обеспечивается только в двух режимах – GSM/Thuraya.

В системе Thuraya реализован весь спектр стандартных GSM-услуг, включая передачу речи, данных и факсимильных сообщений со скоростью от 2,4 до 9,6 кбит/с. Организовано также предоставление услуг по определению местоположения – одному из наиболее интенсивно развиваемых направлений связи в последние годы.

Речевой терминал является двухрежимным и совместим с GSM. Качество речи соответствует средней экспертной оценке 3,4 по шкале MOS. Во всех режимах связи применяются стандартные алгоритмы шифрования, используемые в GSM.

Базовым абонентским устройством в Thuraya является портативный терминал типа «телефонная трубка», который обеспечивает работу в двух режимах: непосредственно через спутник или наземную сеть GSM. В качестве антенны в терминале используется четырехзаходная спираль.

Электропитание портативного терминала осуществляется от ионно-литиевых батарей емкостью 650/1200 мАч. Время разговора в режиме спутниковой связи 2,4 ч (батарея 650 мАч) или 4 ч в случае использования батареи 1200 мАч. Время ожидания приема в режиме спутниковой связи равно 34,1 ч (650 мАч) и 63 ч (1200 мАч).

Портативные терминалы для системы Thuraya разработаны двумя изготовителями: Acsom и Hughes Network Systems. Их технические характеристики приведены в табл. 13.6.

*Таблица 13.6*

Основные характеристики терминалов Thuraya

Параметр	Значение
Метод доступа к КА	FDMA/TDMA
Скорость передачи в радиоканале, кбит/с	46,8
Число интервалов в кадре	8
Тип модуляции	$\pi/4$ QPSK.
Полоса пропускания канала, кГц	27,7
Скорость передачи данных, кбит/с	2,4, 4,8 и 9,6
Стоимость терминала типа «телефонная трубка», дол.	1500

Двухмодовый портативный терминал GSM/Thuraya интегрирован в наземные и спутниковые службы связи, что позволит расширить границы местных телекоммуникационных компаний-операторов и обеспечит роуминг в широкой зоне обслуживания без перерывов связи или сбоев. Но своему внешнему виду и дизайну терминалы практически не отличаются от обычных сотовых GSM-телефонов.

Мобильный терминал состоит из портативного терминала и набора дополнительных средств, обеспечивающих его работу в движении. Максимальная излучаемая мощность передатчика – 2 Вт, т. е. соизмерима с той, которая реализована в мобильных терминалах GSM. Полуфиксированный терминал (типа таксофона) также создается на базе портативного терминала и дополнительно содержит набор средств для его развертывания.

В последние годы в России установилась практика, когда отечественные операторы ССС все чаще прибегают к услугам зарубежных систем фиксированной спутниковой связи. Это обусловлено недостатком пропускной способности на отечественных КА. Что же касается персональной связи, то из-за отсутствия конкурентоспособных отечественных систем это единственная возможность предоставлять подобного рода услуги. Непременное условие допуска зарубежных систем на отечественный рынок – создание на российской территории станций сопряжения и обеспечение их взаимодействия с существующими сетями общего пользования. И хотя отдельные части территории России и стран СНГ попадают в основную зону покрытия систем AceS и Thuraya, вопрос об их использовании на российском рынке остается пока открытым. Прежде всего, такие системы не в полной мере учитывают особенности телекоммуникационной инфраструктуры России и не позволяют обслужить одновременно всю территорию страны от Калининграда до Камчатки. Для этого необходимо использовать, как минимум, два КА («западный» и «восточный»). Кроме того, и это особенно важно, нашей стране нужна система, которая управлялась бы с российской территории и обслуживала бы как коммерческих, так и государственных пользователей.

Следует отметить, что создание региональных систем мобильной связи наиболее эффективно лишь на низких и средних широтах, где геостационарный КА виден с земных станций под сравнительно большими углами места. В России углы радиовидимости геостационарного КА существенно ниже, чем, например, в Индонезии или Объединенных Арабских Эмиратах, и, следовательно, энергетические запасы будут ниже. Кроме того, система с КА на геостационарной орбите принципиально не сможет обслужить мобильных абонентов, находящихся на территории России, которая лежит выше 70–75° с. ш.

На этих широтах наиболее эффективно использование систем с КА на низких и средних орбитах.

Предложенные тарифы в региональных системах несколько ниже, чем в глобальных система персональной спутниковой связи – 1 дол. в минуту. Такой тариф уже действует в Азиатско-Тихоокеанском регионе, который обслуживается региональной системой ACeS. В системах Thuraya используются пользовательские терминалы по цене 600–800 дол. с ценой минуты разговора от 50 центов до одного доллара.

Звонок с мобильного на мобильный Thuraya обходится в 60 центов за минуту, звонок в США и Канаду – лишь 78 центов, в Западную Европу – 90 центов; в этом плане компания не зависит от тарифов национального оператора. Что же касается эксплуатационных затрат, то они, как известно, в региональных системах значительно ниже, чем в глобальных сетях персональной связи.

Таким образом, региональные ССС становятся важным классом ССС, использующих спутники ГЕО. Новые технологии многолучевых антенн и высокий уровень интеграции с наземными мобильными сетями делает эти системы весьма перспективными на рынке персональной спутниковой связи.

### 13.3. Система подвижной спутниковой связи «Садко»

Система предназначена для организации каналов спутниковой подвижной связи в регионах, где создание проводных или сотовых сетей не является экономически выгодным.

Спутниковая система связи «Садко» основывается на использовании телефонных аппаратов, аналоговичных сотовым трубкам.

Российская система (рис. 14.1) не похожа на Iridium или GlobalStar. В ней используются не десятки низколетящих спутников, а один или несколько, находящихся на геостационарной орбите. Это ее несколько роднит с системой Inmarsat, но в отличие от нее «Садко» обеспечивает подвижную связь, ког-

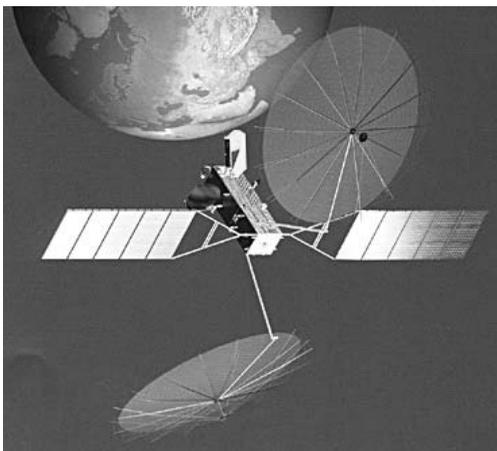


Рис. 14.1. Система связи «Садко»

да во время разговора можно двигаться с любой скоростью. Большое расстояние от Земли компенсируется тем, что «у наших спутников большие уши» – с помощью антенн диаметром более 12 метров удастся хорошо «слышать» сигнал от телефона, который по размерам не отличается от сотовой трубки. Единственное отличие – увеличенная складывающаяся антенна. Аппарат может работать и в сотовых системах типа GSM, а при их отсутствии автоматически переключится на спутник. Кроме того, аппарат поможет сориентироваться на местности, определить местоположение по навигационным системам GPS или ГЛОНАСС.

Система создается в несколько этапов. На первом действует один спутник, который охватывает территорию России от Калининграда до Якутии. Если система покажет, что способна окупаться, то услуги будут распространены на всю территорию России и ряд соседних стран, а потом и на государства, далеко находящиеся от России.

При полной реализации система «Садко» включает два-три геостационарных КА, центральную и несколько региональных земных станций сопряжения.

Пользователями системы являются государственные организации, коммерческие организации, физические лица.

Услуги, предоставляемые системой, – телефонная / факсимильная связь, передача данных, доступ к сети Интернет. Передача данных ведется со скоростями 2,4; 4,8 и 9,6 кбит/с. Скорость доступа в Интернет – до 96 кбит/с.

«Садко» воплощает в себе самые передовые технологии ведущих российских и зарубежных фирм, являющихся лидерами спутниковой промышленности. Сочетание в конструкции КА отработанных элементов, используемых прежде всего в комплексе служебных систем, и новых разработок в составе полезной нагрузки обеспечивает одновременно высокую надежность и высокую эффективность работы космического аппарата.

Платформа 727М, созданная специально для этой системы, построена по негерметичной схеме, что существенно улучшило массогабаритные показатели и расчетный срок существования. Часть аппаратуры для служебного борта и полезная нагрузка для КА «Садко» закуплены за рубежом.

Полезная нагрузка КА включает ретранслятор *L*-диапазона, формирующий 40 лучей с помощью двух зонтичных антенн большой мощности. Эти лучи равномерно покрывают практически всю территорию России, за исключением Чукотки и Сахалина. Рабочий диапазон абонентской линии *L*-диапазона и на прием, и на передачу составляет 34 МГц. Поставщиком многолучевой передающей антенны яв-

ляется канадская компания SPAR, имеющая опыт в подобных разработках.

Основные характеристики КА «Садко» на базе платформы 727М следующие:

размещение спутника – геостационарная орбита;

масса на орбите 2650 кг;

мощность системы электропитания 8000 Вт;

погрешность ориентации на Землю  $\pm 0,1^\circ$ ;

погрешность позиционирования на орбите  $\pm 0,1^\circ$ ;

срок активного существования 12 лет;

средства выведения – ракета носитель «Протон-М» с РБ «Бриз-М».

Для обеспечения фидерной связи на КА также будет стоять один ретранслятор С-диапазона, формирующий один фиксированный луч. Рабочий диапазон абонентской линии С-диапазона на прием и передачу составит 300 МГц.

Основные характеристики полезной нагрузки:

масса 1170 кг;

энергопотребление 6300 Вт;

суммарная эффективная изотропно излучаемая мощность 73 дБ·Вт;

добротность 15 дБ/К.

Основные характеристики антенн (одинаковы как для приемной, так и для передающей антенны):

количество лучей в L-диапазоне 40;

ширина луча по уровню  $-3$  дБ не более  $1,3^\circ$ ;

уровень пересечения трех лучей  $-2,8$  дБ;

повторное использование частоты через два луча;

пропускная способность системы 3500–4000 каналов;

количество абонентов в системе 400000–500000.

Наземный комплекс управления включает в себя три телепорта, расположенные в Москве, Красноярске, Хабаровске. Сейчас этот комплекс используется для управления геостационарными КА «Экран-М», «Галс», «Экспресс» и «Экспресс-А». Комплекс будет дооснащен аппаратными и программными средствами для управления КА «Садко».

#### **13.4. Ведомственная подсистема низкоорбитальной спутниковой системы связи «Гонец-АСКУЭ» РАО «ЕЭС России»**

Подсистема предназначена для приема и передачи информации АСКУЭ от устройств сбора и передачи данных, установленных на энергообъектах в центры сбора информации (ЦСИ) региональных ПМЭС, МЭС и в ЦСИ ДЭС РАО «ЕЭС России», а также передачи запросной и командной информации.

В состав подсистемы входят (рис. 13.2):  
 центр управления (рис. 13.3), обеспечивающий выделение связного ресурса и планирование работ ведомственной подсистемы низкоорбитальной системы связи (ВПНСС) «Гонец-АСКУЭ»;  
 система спутниковой связи ДЭС (рис. 13.4);  
 семь региональных систем спутниковой связи (РССС) (рис. 13.5–13.11);  
 орбитальная группировка НССС «Гонец-Д1» (входит функционально).



Рис. 13.2. Состав центра управления ВПНСС «Гонец-АСКУЭ»

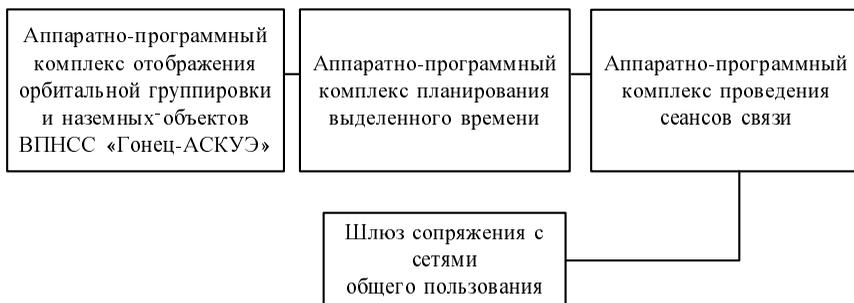


Рис. 13.3. Состав центра управления ВПНСС «Гонец-АСКУЭ»

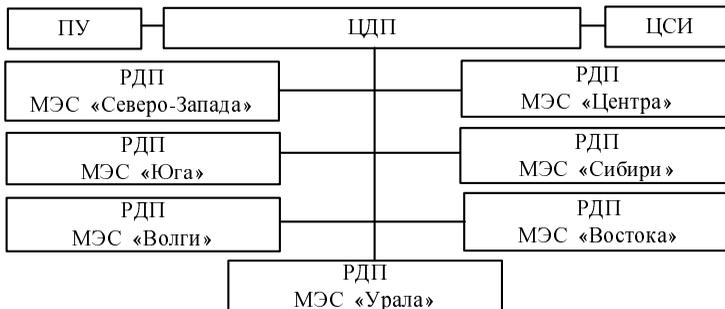


Рис. 13.4. Система спутниковой связи ДЭС



**Рис. 13.5. Региональная система спутниковой связи Центра**



**Рис. 13.6. Региональная система спутниковой связи Северо-Запада**



**Рис. 13.7. Региональная система спутниковой связи Юга**



**Рис. 13.8. Региональная система спутниковой связи Волги**



**Рис. 13.9. Региональная система спутниковой связи Сибири**



Рис. 13.10. Региональная система спутниковой связи Урала

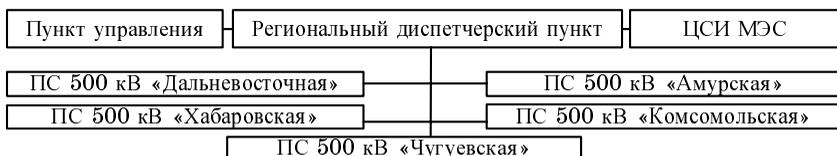


Рис. 13.11. Региональная система спутниковой связи Востока

Основными требованиями, предъявляемые к ВПНСС «Гонец-АС-КУЭ», являются следующие.

**1. Передача в ЦСИ от УСПД подстанций:**

всех 30- минутных отсчетов от каждого УСПД за предыдущие сутки не позднее 8 часов текущих суток;

всех 30-минутных отсчетов от каждого УСПД в течение последующих 30 минут (по мере развития НССС « Гонец»);

текущих 3-минутных отсчетов от каждого (по мере развития НССС « Гонец»).

**2. Передача запросной и командной информации, а также экстренных (приоритетных) запросов и сообщений (в объеме до 10% от общего трафика).**

**3. Передача информации с использованием однопакетных сообщений объемом до 6,5 Кбит и сообщений объемом до 500 Кбит, сегментированных на пакетах (по предварительной заявке).**

Состав региональной спутниковой системы связи (рис. 13.12) и функции отдельных составных частей приведены ниже.



Рис. 13.12. Состав РССС

**Функции ПУ:**

- организация связи;
- оптимальная маршрутизация сообщений;
- коррекция планов работы системы;
- распределение связного ресурса;
- хранение протоколов ведения сеансов связи;
- контроль состояния аппаратно-программных средств.

**Функции РДП:**

- получение информации АСКУЭ с энергообъектов;
- формирование единого суточного массива информации АСКУЭ и передача в ЦСИ;

**управление абонентской сетью;**

- формирование заявок в ЦДП об изменении алгоритма работы;
- автоматизированный двусторонний обмен информацией с КА;
- формирование сообщений и команд, подлежащих передаче.

**Функции абонентского терминала:**

- получение информации АСКУЭ от АРМ (УСПД);
- подготовка сообщений для передачи на КА;
- передача информации на КА;
- получение квитанции с КА о записи информации в бортовом ЗУ;
- хранение информации о принятых и переданных сообщениях в базе данных.

Состав абонентского оборудования приведен на рис. 13.13, а внешний вид – на рис. 13.14.

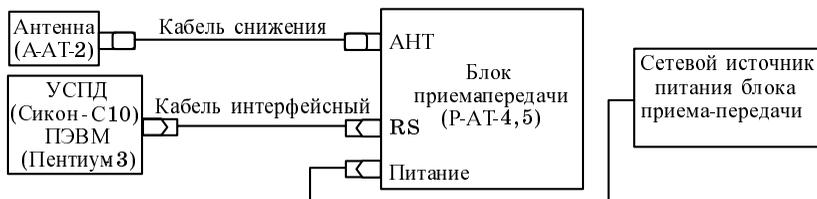


Рис. 13.13. Абонентское оборудование

Основные технические характеристики абонентского терминала следующие:

рабочая частота в диапазоне 259–265 мГц;

мощность передающего устройства 10 Вт (на нагрузке 50 Ом);

вид модуляции ОФТ-2;

техническая скорость передачи информации 2,7 кбит/с;

антенна с рабочим сектором углов  $\pm 60^\circ$  от зенита;

питание от сети переменного тока 90–265 В/47–440 Гц, от сети постоянного тока 11,0–14,5В;

ток потребления: при передаче – 3,5 А, при приеме – 0,5 А;

сопряжение с внешними вычислительными средствами и другими источниками информации по интерфейсу RS-232,

Основные технические характеристики блока приема-передачи:

рабочие частоты: 259–265 мГц;

чувствительность приемного устройства 0,3 мкВ;

мощность передающего устройства 10 Вт (на нагрузке 50 Ом);

вид модуляции ОФТ-2;

техническая скорость передачи информации 2,7 кбит/с;

ток потребления: 3,5 А – в режиме передачи, 0,5 А – в режиме приема;

вес 870 г.;

габариты: 170×134×46 мм.

Внешний вид антенн абонетского терминала показан на рис. 13.15.



Рис. 13.14. Внешний вид абонентского терминала

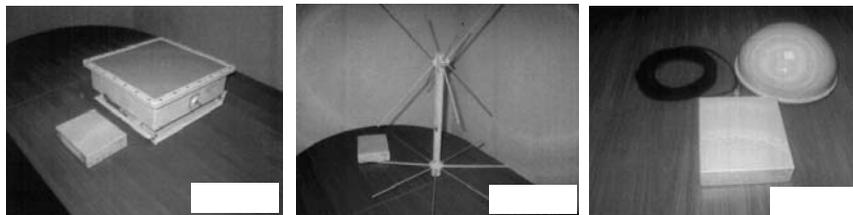


Рис. 13.15. Антенны

Технические характеристики антенн:

коэффициент усиления от 2 до 6 дБ;

поляризация круговая правая;

коэффициент эллиптичности в рабочем секторе углов не хуже 0,4;

коэффициент стоячей волны не хуже 2,0;

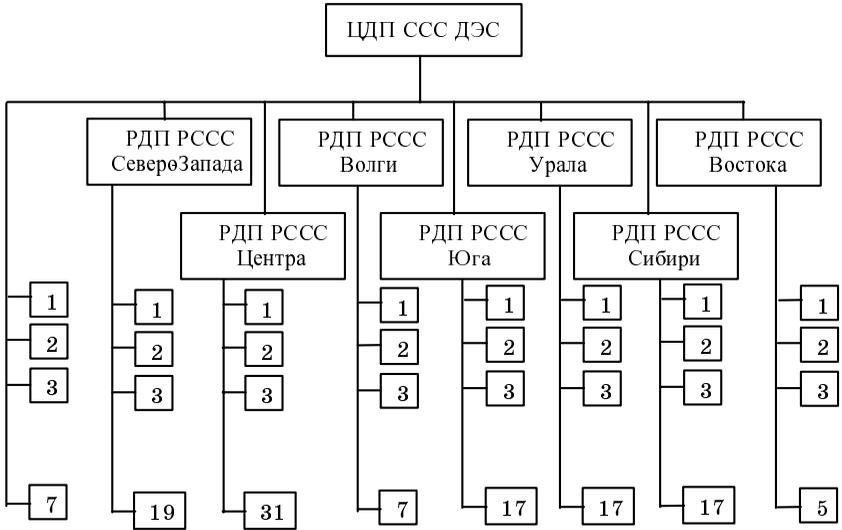


Рис. 13.16. Схема передачи информации АСКУЭ с энергообъектов в РПД РССС

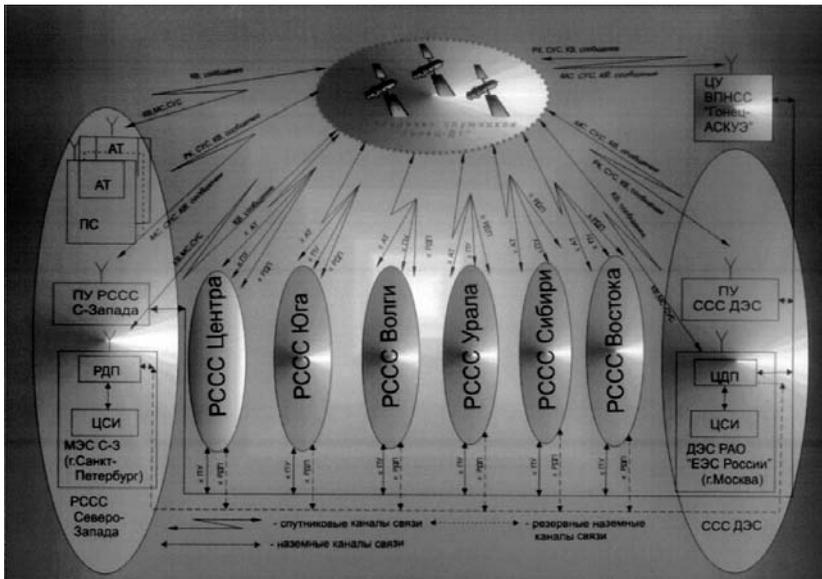


Рис. 13.17. Схема организации связи в ВПСС «Гонец-АСКУЭ»

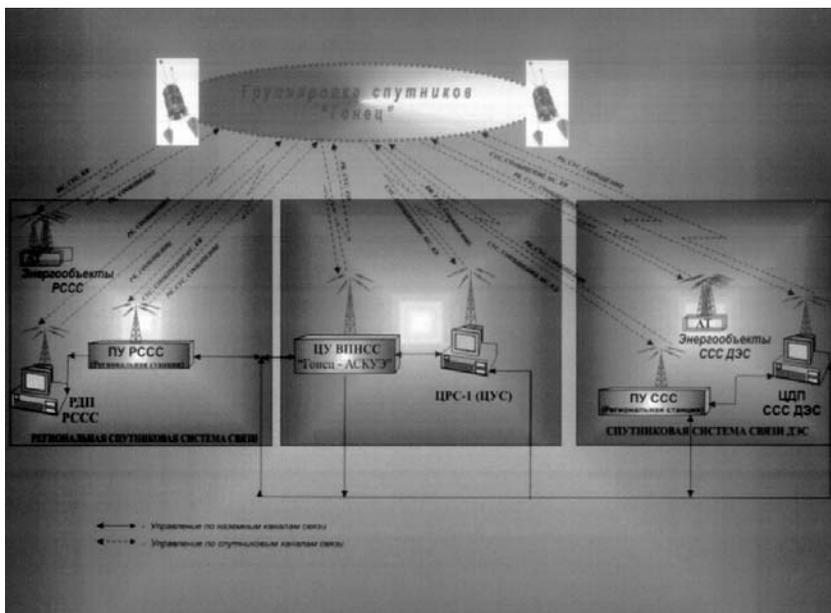


Рис. 13.18. Схема организации управления в ВПНСС «Гонец-АСКУЭ»

волновое сопротивление 50 Ом;  
рабочий сектор углов:  $\pm 60^\circ$  от зенита.

Схема передачи информации, организация связи и управления в ВПНСС «Гонец-АСКУЭ» иллюстрируются на рис. 13.16–13.18.

### 13.5. Спутник связи «ГОНЕЦ-Д1»

Спутник связи «Гонец-Д1» (рис. 13.19) предназначен для обеспечения автоматизированной телеграфной связью, в том числе для передачи любой информации (факс, телекс, текст, изображения) А-АТ-3 в цифровом виде.

Спутник предоставляет следующие услуги связи:

обмен сообщениями между наземными средствами потребителей;

автоматизированный сбор данных с датчиков контроля со-



Рис. 13.19. Внешний вид спутника «Гонец-Д1»

стояния любых объектов, в том числе необслуживаемых, сбор данных о местоположении объектов;

циркуляционную передачу сообщений группе наземных средств;  
передачу пейджинговых сообщений;  
передачу аварийных сообщений.

Основные технические характеристики спутника:

тип КА – низкоорбитальный, ориентированный на центр Земли;

орбита круговая;

высота 1500 км;

наклонение 82,5°;

принцип баллистического построения орбитальной группировки –

6 КА в двух плоскостях;

энерговооруженность 100 Вт;

диапазон частот 0,2/0,3; 0,3/0,4 ГГц;

ЭИИМ – 7 ДБВт;

G/T – –33 дБ/К;

количество каналов на одном КА – 1;

способ предоставления каналов – по маркерному сигналу;

скорость передачи информации одного канала 2,7 кбит/с;

пропускная способность 16,5 мбит/сутки;

масса 225 кг;

срок активного существования КА 1,5 года;

способ выведения – групповой по 3 КА в блоке;

средства выведения – ракета-носитель «Циклон».

Основные параметры спутниковой связи «Гонец-Д1» приведены на рис. 13.20 и в табл. 13.7–13.9.

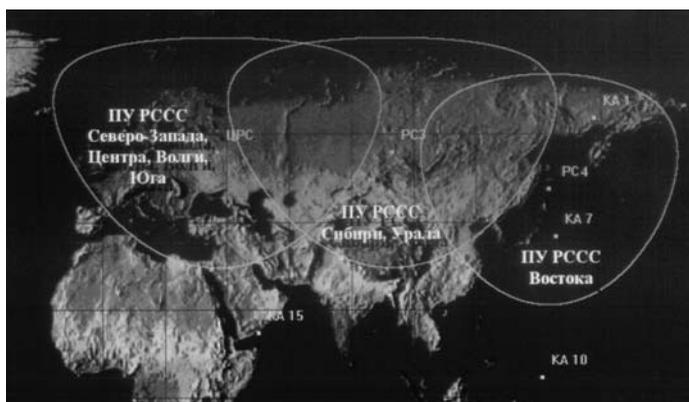


Рис. 13.20. Зона обслуживания пунктов управления региональных систем спутниковой связи

Таблица 13.7

Время ожидания сеансов связи в системе «Гонец-Д1»

Широта, градус	Угол места, градус	Время ожидания с вероятностью, мин			Среднее время ожидания, мин	Максимальное время ожидания, мин
		0.9	0.8	0.7		
		0.9	0.8	0.7		
50	10	80.0	45.0	27.0	20.1	122.9
	15	92.0	55.0	35.0	25.6	172.0
	30	168.0	98.0	57.0	52.8	280.4
60	10	37.0	22.0	12.0	10.5	60.6
	15	44.0	27.0	17.0	13.6	104.4
	30	72.0	53.0	38.0	34.9	240.4
70	10	28.0	16.5	9.0	7.3	58.5
	15	36.0	21.5	12.5	10.8	75.6
	30	50.0	32.0	21.0	17.7	192.3
80	10	26.0	12.5	7.5	5.8	31.0
	15	28.0	16.0	8.5	6.9	33.5
	30	42.0	28.0	18.5	13.1	62.9

Таблица 13.8

Время ожидания сеансов связи в системе «Гонец-Д1»

Широта, градус	Время ожидания, мин			
	$P_{1.0}$	$P_{0.9}$	$P_{0.8}$	$P_{0.7}$
35	62.74	18.96	13.76	6.46
40	63.24	17.89	12.61	5.95
50	31.42	14.10	8.10	4.16
60	31.57	7.36	2.83	2.18
70	26.00	3.35	0.0	0.97
80	11.74	0.72	0.0	0.29

## Динамика развития низкоорбитальной системы спутниковой связи

Характеристики	Первый этап 1996–2005 гг.	Второй этап 2004–2010 гг.	Развитие системы после 2010 гг.
Число КА в орбитальной группировке	6 (2 плоскости по 3 КА)	12 (4 плоскости по 3 КА)	24–48 (6 плоскости по 4–8 КА)
Положение КА в плоскости орбиты	Некорректируемое	Симметричное, корректируемое	Симметричное, корректируемое
Срок активного существования КА, лет	1,5	5	Более 5
Диапазон частот БРТК, ГГц	0,2–0,3	0,2–0,3 и 0,3–0,4	0,3–0,4
Скорость передачи информации (Кбит/с) линия «Земля–космос» линия «космос–Земля»	2,4 2,4	2,4–9,6 9,6–64	4,8–32 9,6–64
Число каналов на КА линия «Земля–космос» линия «космос–Земля»	1 1	13+1 1+1	16 3
Телефонный канал	Нет	Есть	Есть
Метод доступа в канал	По расписанию	По расписанию и по требованию	По требованию
Пропускная способность КА, Мбит/сут	16,6	270	400 600
Число потребителей, тыс	4	Более 100	Более 1000
Количество региональных систем	3–5	5–7	Более 7
Билинговые возможности	Нет	Есть	Есть
Максимальный объем одного сообщения, кбит	До 100	До 500	Без ограничений

## 14. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

### 14.1. Разработки новых систем

Глобальные системы спутниковой связи (Iridium, Globalstar и ICO), развернутые в 1998–2000 гг., позволяют на большом практическом материале всесторонне оценить технико-экономические параметры современных спутниковых технологий связи. Результаты испытаний и первых эксплуатационных этапов, хотя и не всегда положительные, подтверждают важное значение правильного выбора стратегических направлений перехода к новому поколению ССС.

Примером этому являются системы Ellips и Sky Bridge. Система Ellips – проект компании Ellipsat, дочернего предприятия Mobile Communications Holdings, среди инвесторов которого значатся такие влиятельные корпорации, как Harris и Westinghouse. Система насчитывает 16 спутников. Выбор орбитальной конфигурации представляет особый интерес. По убеждению специалистов Ellipsat, она обеспечивает самое эффективное решение из всех возможных. Предложено два основных типа орбит: Vorealis и Concordia. Две эллиптические Vorealis охватывают земной шар от северного до южного полюса, находясь под некоторым углом относительно меридианов и друг друга. Максимального удаления от земной поверхности они достигают над северным полюсом (7800 км). Таким образом, в северном полушарии начиная от 40-й параллели и далее одновременно наблюдается наибольшее число спутников. Кроме того, там же отмечается и самый длительный сеанс связи с одним аппаратом. Экваториальная область планеты находится в ведении семи ИСЗ на орбитах Concordia. В этом полушарии зоны обслуживания группировок перекрываются, создавая предельно высокую плотность соединений в районе 20–50-й параллелей.

Необычная конфигурация была выбрана исходя из географических и демографических особенностей Земли: большая часть населения сосредоточена в северном полушарии и вблизи экватора, а в южном почти вся суша занимает пространство севернее 50-й параллели. Сами по себе спутники представляют собой простейшие ретрансляторы, призванные обеспечить пользователю прозрачный обмен данными с ближайшей наземной станцией (GCS – Ground Control Station

в терминологии инженеров Ellipsat). Всю работу по коммутации, трансляции и маршрутизации вызовов выполняют именно они. Вообще Ellipse имеет едва ли не самую сложную наземную структуру среди аналогичных систем. Она состоит из пяти элементов. Кроме выше упомянутых GCS, здесь есть еще ESO (Ellipse Swithing Offices), RNCC (Regional Network Control Centers), TT&CC (Tracking, Telemetry and Command Centers) и один SCC (System Coordination Center). ESO имеет маршрутизаторы и коммутаторы, которые могут быть интегрированы в состав GCS или RNCC, а могут оставаться и обособленными элементами, обслуживая сразу несколько наземных станций контроля. Основная задача коммутирующих станций – организовать передачу данных между традиционными средствами коммуникаций и сетью Ellipse. Предполагалось передавать речь и данные со скоростью 4,8 кбит/с. Стоимость терминала планировалась где-то на отметке 700 дол., а временной тариф должен был составить 0,25–0,5 дол. за минуту.

Система Sky Bridge – мощная сеть для передачи данных – это объект внимания сразу нескольких конкурирующих финансовых группировок. В их числе и основатели проекта Sky Bridge: Alcatel, Loral Space&Communications, Mitsubishi, Sharp, Toshiba и многие другие не менее известные и влиятельные корпорации. На сей раз инициатором выступила европейская корпорация Alcatel. Первые сообщения о Sativod (так назывался Sky Bridge) просочились в прессу в начале 1996 г. В то время это предложение, по мнению специалистов, являлось выгодным компромиссом между невероятно сложным и нереальным Teledesic и геостационарным Hughes Spaceway. Тогда в набросках будущей системы упоминалось 60 спутников. Однако европейцы не были столь самонадеянны, чтобы взяться за финансирование самостоятельно и лишь задавались целью привлечь для своих проектов потенциальных инвесторов, которые не заставили себя долго ждать, и проект был реализован.

Была сделана первоначальная оценка стоимости – 3,5 млрд дол. Согласно уточненному плану, на орбиты высотой 1469 км должны быть выведены 80 действующих аппаратов плюс запасные. Они делятся на две равные группы по 40 спутников, размещенных в 20 плоскостях. Структура космического сегмента максимально упрощена – никакой маршрутизации и обработки вызовов, спутники выполняют роль простых ретрансляторов между пользовательскими терминалами и наземными коммутирующими станциями. Общая пропускная способность системы составляет 144 Гбит/с. Антенны аппаратов обладают 18-лучевой диаграммой направленности. Обслуживаемая земная поверхность поделена на 200 ячеек-зон диаметром 700 км. Каждая ячейка обслуживается фиксированным количеством

спутников и одной наземной станцией коммутации. Поскольку спутники движутся относительно поверхности Земли, пользователи одной зоны не могут работать длительное время с одними и теми же аппаратами. Предусмотрена процедура перевода активных соединений с заходящего спутника на восходящий. Она проста и осуществляется по принципу: кто первый услышал. Это означает, что пользовательский терминал начинает работу с тем ИСЗ, который первым смог организовать двухсторонний канал связи с наземной станцией коммутации. Кроме того, терминалы могут отслеживать два спутника, обеспечивая полностью непрерывное соединение.

Частоты, которые удалось лицензировать для этого проекта (10,7–14,5 ГГц), опасно соседствуют с диапазоном, отведенным для работы систем регионального спутникового телевидения (10,9–11,7 ГГц). Поэтому особое внимание создатели Sky Bridge уделили проблемам интерференции направленных лучей этой низкоорбитальной системы с излучением геостационарных спутников и беспроводных служб связи наземного базирования. Как только создаются условия интерференции для конкретного аппарата, обмен информацией с ним прекращается и нагрузка переводится на другой спутник. Поскольку геостационарные орбиты подразумевают фиксированное положение ИСЗ относительно земной поверхности, вполне возможно заранее определить так называемые нерабочие зоны (nonoperating zone), при входе в которые аппараты будут прекращать обслуживание наземных пользователей. Нерабочая зона существует индивидуально для каждой ячейки, так как узкая диаграмма направленности применяемых в системе антенн позволяет спутнику, лучи которого интерферируют с излучением геостационарного ИСЗ в сторону данной ячейки, нормально обслуживать пользователей в других направлениях. Мощность используемых радиопередатчиков достаточно мала, чтобы соответствовать международному стандарту ITU Radio Regulation S.21, написанному еще для геостационарных систем связи и устанавливающему диапазон энергий, в пределах которого радиообмен со спутником не будет создавать помех для имеющихся наземных служб.

Коммутационные станции обмениваются информацией с помощью быстродействующих АТМ-соединений, а также выполняют традиционные для них функции сопряжения с наземными сетями передачи данных. Управление системой возложено на один Satellite Control Center (SCC) и целую сеть TeleMeTry and Command (TT&C) центров, а вместе они образуют единый Control Ground Segment.

Терминалы делятся на домашние (residential) и профессиональные (professional). Домашние можно установить на крыше своего дома, наподобие спутниковой антенны, и таким образом организо-

вать связь с любой точкой мира на скорости 20 Мбит/с к терминалу и 2 Мбит/с к спутнику. Профессиональные терминалы значительно больше домашних, но должны обеспечивать максимальную пропускную способность в 100 Мбит/с для нисходящего и 10 Мбит/с для восходящих потоков данных. Задержка при прохождении данных будет составлять около 30 мс. Предусмотрены интерфейсы для подключения компьютера, локальной сети, телефона или офисной АТС. Стоимость домашнего терминала была заявлена на уровне 700 дол.

Геостационарные широкополосные системы (после неудачи Iridium) получили дополнительные импульсы своего развития. В Европе новые проекты на базе геостационарных спутников реализуются по программам Eutelsat, MEDSAT, EuroSkyWay и др., в США – Asrolink, Cyberstar, EchoStar, KaStar.

На основе новых геостационарных ССС будут развиваться широкополосные системы мультимедийной связи, корпоративные интранет сети, высокоскоростные сети массового доступа к Интернету.

Для широкополосной спутниковой связи планируется осваивать новые частотные полосы в диапазонах *Ka* и *Ku*, которые уже частично используются для фиксированных телефонных сетей на базе широкоэмиттерных спутниковых служб.

Технологии малых низколетящих спутников (Little LEO) будут испытываться в глобальной ССС Orbcomm, а также в ряде проектов региональных спутниковых сетей – E-Sat, Final Analysis, LEO One.

Новая технология внеземной связи на базе высокоподнятых платформ HAPS (High Altitude Platforms) получает в последнее время все более сильную поддержку у разработчиков и региональных администраций связи.

На состоявшейся в мае–июне 2000 г. в Стамбуле Всемирной конференции радиосвязи WRC-2000 впервые были приняты принципиальные решения об использовании платформ HAPS в рамках ИМТ-2000:

платформы HAPS могут использоваться в качестве базовых станций для наземных компонент ИМТ-2000 в полосах 1885–1980 МГц, 2010–2025 МГц и 2110 и 2170 МГц (в Регионах 1 и 3), а также в полосах 1885–1980 МГц и 2110–2160 МГц (в Регионе 2); использование приложений ИМТ-2000 на основе HAPS как базовых станций не должно противодействовать использованию этих полос любой другой станцией, для которой эти полосы были выделены, и в то же время данная радиорегуляция ИТУ не устанавливает никакого приоритета;

указанные полосы выделены для услуг фиксированной и мобильной связи на совместной первичной основе;

рекомендации ИТУ-R не касаются вопросов распределения адресов и координации между HAPS и другими существующими, в том числе

PCS, MMDS и фиксированных служб, работающих в настоящее время в некоторых странах в полосах 1885–2025 МГц и 2110–2200 МГц.

Платформы HAPS определяются новыми рекомендациями ITU как «станция, расположенная на объекте на высоте 20–50 км в определенной, фиксированной позиции относительно Земли» при полезной нагрузке 700–1200 кг. Платформы HAPS предназначены для минимальных сетевых инфраструктур. HAPS позволяют организовать предоставление услуг с большой зоной покрытия и высокой плотностью расположения абонентов (платформа сможет обслуживать до 10 млн абонентов в радиусе 400 км). В настоящее время готовится к запуску первая платформа HAPS – проект Skystation, в котором участвуют Alenia Spazio (бортовые узлы связи) и Thomson CSF (наземная электроника и терминалы).

Для подобных платформ Всемирный союз электросвязи выделил специальные диапазоны частот для организации магистральной и подвижной связи третьего поколения.

Для РФ использование таких платформ наиболее эффективно, но это дальняя перспектива.

Таким образом, в ближайшие годы произойдет быстрый переход к ССС новых поколений. Новое поколение ССС будет характеризоваться рядом важных отличительных свойств:

- применение широкополосных спутниковых технологий связи, обеспечивающих высокоскоростную передачу данных;

- освоение новых диапазонов радиочастот *Ka* и *Ku* для работы широкополосных спутников ГСО и НКО;

- значительное расширение спектра услуг связи для конечных пользователей: мобильная персональная связь, доступ к Интернету, передача видеoinформации, видеоконференцсвязь, мультимедийное широковещение, услуги определения местонахождения и т. п.;

- внедрение новых бортовых систем связи, спутниковых антенн, оптических систем межспутниковой связи, следящих антенн абонентских станций, портативных подвижных терминалов и т. п.;

- применение стандартных транспортных протоколов, адаптированных к особенностям физических спутниковых каналов: TCP/IP, ATM и т. п.

Проблемы освоения новых *Ku* и *Ka* диапазонов для спутниковой связи имеют сложный технологический характер для всех конфигураций ССС. Пример первой экспериментальной ССС ACTS (США, военные применения), начавшей действовать в 1993 г. в *Ka*-диапазоне на ГСО орбите, показал сложность борьбы с атмосферными эффектами (дождь, влажность, температурные колебания) и необходимость разработки специального компенсационного протокола передачи данных.

## Использование в ССС радиочастотных диапазонов

Диапазон, ГГц	Рабочие частоты, ГГц	Проблемы освоения диапазона	Типичные применения	Абонентские станции	Примеры ССС
<i>P</i> 0,230–1,000 L 1,530–2,700	Различные полосы	Перегруженность радиоспектра	Пейджинг. Определение местонахождения	Пейджеры	Orbcomm E-SAT
	Различные полосы	ЭМС с системами класса ISM	Телефония. Мобильная связь. Низкоскоростная передача данных. Пейджинг	Радиотелефоны. Портативные компьютеры. Мобильные АС	Iridium Globalstar ICO ACES Thuraya
<i>S</i> 2,700–3,500	Различные полосы		Те же, что и в <i>L</i> -диапазоне	Те же, что и в <i>L</i> -диапазоне	Globalstar
<i>C</i> 3,700–6,500	3,700–4,200 (вниз) 5,925–6,425 (вверх)	ЭМС с наземными линиями	Фиксированная связь. Передача видео. VSAT-применения	Фиксированные АС Антенны 1м и больше	Intelsat Skynet
<i>X</i> 7,500–8,500	7,250–7,745 (вниз) 7,900–8,395 (вверх)	ЭМС с наземными линиями	Нет данных	Нет данных	Нет данных

Окончание табл. 14.1

Диапазон, ГГц	Рабочие частоты, ГГц	Проблемы освоения диапазона	Типичные применения	Абонентские станции	Примеры ССС
<i>K<sub>u</sub></i> (Европа) 11,000–14,000	FSS: 10,700–11,700 (вниз) 14,000–4,800 (вверх) DBS: 11,700–12,500 17,300–18,100 Telesom: 12,500–12,750 14,000–14,800	Компенсация дождевых и температурных влияний	Фиксированная связь. Непосредственное ТВ. Передача данных. Мобильная связь. Широкополосная связь. Доступ к Интернету	Фиксированные АС. Антенны 0,3–0,6 м. Мобильные терминалы. Антенны 0,2 м	Direct TV EchoStar Asira
<i>K<sub>u</sub></i> (США) 11,000–18,000	FSS: 11,700–12,200 (вниз) 14,000–4,500 (вверх) DBS: 12,200–2,700 17,300–17,800				Spaceway Cyberstar Astrolink Teledesic Celestri
<i>K<sub>a</sub></i> 18,000–31,000	17,700–21,700 (вниз) 27,500–30,500 (вверх)	Высокая сложность и стоимость применения	Широкополосная связь. Высокоскоростная передача данных. Доступ к Интернету. Мультимедиа	Мобильные терминалы. Антенны 0,2 м	Teledesic Skybridge Cyberstar ACTS (военные применения)
<i>V</i> (SHF, EHF) 31,000–70,000	В стадии исследования	Большой объем необходимых НИР и ОКР	Военные применения	Мобильные АС	Milstar AFSATCOM USTS (США)

Примечание: FSS – фиксированная связь; DBS – непосредственное широкополосное телекоммуникации.

Компания Loral ввела в эксплуатацию одну из первых коммерческих систем Cyberstar в *Ka*-диапазоне. CCC Cyberstar разработана как конфигурация трех спутниковых ГСО (на первом этапе будет использован спутник TBD в *Ku*-диапазоне). Интересно отметить, что с переходом к высоким частотам (от *Ku* к *Ka*-диапазону) планируется повысить производительность передачи данных от 400 кбит/с до 30 Мбит/с, а стоимость мобильных терминалов сохранить при этом на уровне 800–900 дол. Табл. 14. 1 иллюстрирует общие характеристики проблемы освоения высокочастотных диапазонов.

В целом проблемы разработки новых технологий CCC могут формулироваться и решаться только на основе долгосрочных (5–10 лет) целевых научно-технических программ. Примеры таких программ на период 1999–2004 гг. дают программы исследований космоса и новых спутниковых технологий, принятые в рамках Европейского космического агентства (ESA). Программы ESA (ARTES, Galileo и EOEP) и Европейской Комиссии (программы ACTS и IST) дают широкую панораму разработок новых CCC.

Общий бюджет ESA на НИР/ОКР составляет на 1999–2000 гг. примерно 360 млн дол./год. Проект новой спутниковой навигационной системы Galileo оценен в 3 млрд евро на период 2000–2008 гг.

Создание CCC нового поколения сегодня невозможно без трех важнейших составляющих: долгосрочных целевых программ, высокого уровня финансирования на государственном уровне и глубокого международного сотрудничества.

## 14.2. Ключевые технологии перспективных CCC

Ниже представлены ключевые технологии по оценке Спутниковой Рабочей Группы SWG (Satellite Working Group), работавшей в 1998–99 гг. по заданию Европейской Комиссии. На основе Рекомендаций SWG Европейская Комиссия подготовила программный документ «The EU Action Plan: Satellite Communications in the Information Society». Группой SWG были сформулированы базовые требования к перспективным CCC по основным технологическим категориям: бортовые комплексы, наземный сегмент, межсетевое взаимодействие и протоколы спутниковой связи. Требования к бортовым ретрансляционным комплексам включают решение следующих задач:

разработка высокопроизводительных бортовых комплексов, позволяющих перейти от сегодняшних скоростей порядка 2 ГГбит/с скорости передачи данных на уровне 4–16 ГГбит/с;

внедрение и широкое применение усовершенствованных антенных систем, способных генерировать десятки или даже сотни лучей;

интенсивное использование бортовых цифровых компонент и систем передачи информации;

создание систем с высоким уровнем перестраиваемости, обеспечивающих гибкое управление радиоресурсами (мощностью сигналов, каналов передачи и т. п.);

использование в спутниковых системах технологий НКО и СВО, хотя для отдельных применений спутники ГСО остаются эффективной альтернативой; интеграция с наземными телекоммуникационными сетями и применение стандартов наземных сетей связи во всех случаях, где против этого нет существенных возражений.

По оценкам экспертов SWG ключевые технологии, необходимые для выполнения данных требований, наиболее продвинуты в разработках компаний США, что ориентирует европейские программы НИР/ОКР на достижение американских технологических позиций.

В табл. 14. 2 приводятся шесть ключевых технологий, определяющих уровень развития и эффективность бортовых комплексов.

Требования к наземным сегментам и терминалам:

дешевые терминалы на базе СВИС и развитых DSP с малым энергопотреблением;

мультирежимные терминалы для использования как для спутниковой, так и наземной связи;

программируемые радиоподсистемы для мобильных терминалов;

использование спутникового разнесения для фиксированных терминалов в режимах широкополосной связи (Skybridge, WEST);

использование технологии новых частотных полос (*Ka*, *V*);

широкое применение эффективных методов модуляции и кодирования;

максимальная стандартизация всех протоколов и интерфейсов на 2-м уровне и выше (кроме физического уровня, где параметры радиосигнала должны оставаться специфичными для спутниковой системы);

использование стандартных транспортных протоколов для пакетной передачи данных (IP и ATM).

Кроме требований вышеприведенных двух групп, в перспективных ССС все более важное значение приобретают требования межсетевого взаимодействия. Глобальные ССС особенно критичны к реализации этих требований и должны обеспечивать взаимодействие с другими телекоммуникационными системами на уровне всех наиболее распространенных и общепризнанных протоколов: SDH, ATM, TCP/IP, GSM/MAP, UMTS, IMT-2000.

К важным телекоммуникационным стандартам общего назначения (для спутникового и наземного сегментов) следует также отнести и протоколы сетевого управления: TMN, TINA, CORBA и др. Необходимо отметить, что тенденция интеграции сетевых технологий

## Ключевые технологии для бортовых комплексов

Технологии	Назначение	Уровень реализации в США	Оценка европейского уровня
Многолучевые антенны	Концентрация мощности сигнала, повторное использование частот, максимизация системной емкости	Коммерчески доступная технология(например, производятся Raytheon для L-диапаона)	Разработаны прототипы и частично испытаны. Обычные многолучевые антенны разработаны Palsat
Бортовые коммутаторы	Переключение радиоканалов на борту КА	Испытаны в системе Indium. Планируются для внедрения в большинстве новых ССС	Ограниченные по возможностям прототипы разработаны Alenia Spazio (в рамках контрактов ESA). Планируется внедрение в системах Euroskyway и MMS WEST для широкополосных мультимедийных услуг. Простые варианты реализованы на борту Hot Bird 4 (Eutelsat) и системе WorldSpace DAB (Alcatel)
Высокомощные платформы	Обеспечение радиопередачи большой мощности с целью уменьшения габаритов абонентских терминалов	Начато производство 16-киловаттных платформ	Коммерческие платформы до 10 кВт; разрабатываются 15-киловатные платформы (MMS, Aerospatiale)

Окончание табл. 14.2

Технологии	Назначение	Уровень реализации в США	Оценка европейского уровня
<p>Большие антенны</p>	<p>Обеспечение в GEO системах узконаправленных лучей для приема на частотах мобильных терминалов</p>	<p>Коммерчески доступные технологии (например, Nam's разработана технология больших антенн для проекта MSAT)</p>	<p>В рамках исследовательских проектов ESA и CNES проводятся разработки экспериментальных систем (объем финансирования 40 млн дол.)</p>
<p>Межспутниковые линии связи</p>	<p>Взаимосоединения между спутниками одной группировки</p>	<p>Разработаны и тестированы в рамках проектов SOI (SDI). Еще нет коммерческих реализаций на базе оптических технологий</p>	<p>Первое поколение оптических спутниковых линий ISL (InterSatellites Links) разработано в рамках проекта MMS ESA и будет испытываться в 2000 г. Второе поколение ISL, отвечающее требованиям CCC, находится в ранней стадии НИР/ОКР</p>

в стандарте спутниковых и наземных сегментов становится все более важной при развитии ССС. При этом «наземные» протоколы и стандарты будут играть все более определяющую роль в развитии широкополосных спутниковых технологий и мультимедийных услуг.

### 14.3. Перспективные направления НИОКР

В США, Западной Европе и Японии на развитие спутниковой связи выделяются значительные финансовые ресурсы по трем главным направлениям (в табл. 14.3 приведены затраты на 1996 г. в млн дол.):

военные (оборонные) программы;

программы НИОКР гражданского применения;

международные исследовательские организации и совместные многонациональные проекты.

В США в 90-х годах проводились масштабные исследования по линии оборонных агентств (DOD, DARPA). Например, в спутниковую систему военного применения MILSTAR, спутниковые подсистемы СОИ (SDI) и экспериментальную систему ACTS (Advance Communication Technology Satellite) было вложено более 20 млрд дол. Благодаря крупным инвестициям и ряду стратегических инициатив США достигнуты лидирующие позиции по многим ключевым технологиям. Хотя результаты большинства НИОКР закрыты для публичного распространения, эксперты выделяют следующие области, где приоритеты США общепризнанны. Отметим следующие важные для перспективных ССС технологические области:

антенны с большой апертурой;

управляемые антенны;

высокомощные платформы КА;

бортовые коммутаторы и узлы связи;

оптические технологии связи;

аппаратура передачи в диапазоне 30–120 ГГц.

Особого внимания заслуживает опыт разработки и тестирования системы ACTS, работающей в *Ka*-диапазоне. Спутник ACTS был запущен в сентябре 1993 г. В 1994–98 гг. были проведены многочисленные эксперименты по надежности связи с использованием мощных VSAT станций (мощность передатчика 12 Вт; размер антенны 1,2–2,4 м; рабочие частоты 29,236 ГГц и 29,291 ГГц (линия вверх) и 19,44 ГГц (линия вниз); модуляция SMSK – Serial Minimum Shift Keying; адаптивная компенсация замираний); скорость передачи данных 1,792 Мбит/с.

Важные статистические результаты получены по оценке эффектов замирания сигнала от дождевых явлений, мокрых антенн, тепловых колебаний. Для компенсации дождевых и тепловых искаже-

## Сравнительные оценки затрат на НИОКР в области спутниковой связи

Страна	Общие затраты на спутниковую связь, млн дол.	Затраты на НИР/ОКР, млн дол.	Примечание
США: NASA Министерство обороны	174 1300	23,6 700	1300 (без запусков спутников) 700 (спутниковый и наземный сегменты)
<i>Всего США:</i>	1474	723	
Европа: ESA	260	75	С учетом обменного курса на 1995 г.
Франция	25	22	Гражданские применения (без делового взноса в бюджет ESA)
	151	15	Военные применения (без долевого взноса в бюджет)
ФРГ	13	13	–
Великобритания	5	5	Гражданские применения
	100	10	Военные применения (грубые оценки)
Италия	26,6	10	–
<i>Всего Европа (страны ЕС)</i>	580,6	170	–
Канада	61	61	–
Япония	187	187	–

ний сигнала разработан специальный протокол ACTS Fade Compensation Protocol<sup>4</sup>. Протокол обеспечивает высокий уровень компенсации на тракте «спутниковая антенна – VSAT» за счет снижения скорости потока данных и применения избыточных корректирующих кодов. Исходный поток 110 Мбит/с в зависимости от уровня искажений адаптируется к требуемой степени избыточности кода (эффективная скорость передачи становится 55 Мбит/с или 27,5 или 13,75 Мбит/с). Дождевые и термальные эффекты исследовались в течение непрерывных 10-месячных экспериментов в 7 географических пунктах США, Колумбии и Эквадора, выбранных по критериям высоких тропических и субтропических дождевых характеристик.

В США глобальные ССС в *Ka*-диапазоне проектируются многими компаниями в качестве перспективных систем спутниковой связи нового поколения (табл. 14.4).

Лидирующая роль США в развитии перспективных спутниковых технологий объясняется многими факторами, среди которых важнейшее значение имеет объем финансирования космических проектов из национального государственного бюджета.

В табл. 14.5 приведены относительные характеристики объемов финансирования в промышленно развитых странах.

Таблица 14.5

Доли внутреннего валового продукта,  
выделяемые на космические программы

США	Франция	Италия	Япония	Канада	ФРГ	Великобритания	Европейский союз (ЕСА)
0,187	0,157	0,048	0,048	0,042	0,041	0,028	0,034

В Европе на основе международных научно-исследовательских программ предпринимаются большие организационно-финансовые усилия по преодолению отставания от США и созданию самостоятельной индустрии спутниковой связи.

Европейское космическое агентство, европейский космический научно-технический центр, координационные органы Европейской Комиссии в 90-х годах выполнили большой объем НИОКР, направленных на создание суперсовременных ССС к 2010 г. Одна из недавних общеевропейских инициатив GAMMA (Global Access to Multipoint Multimedia Architectures) – проект создания сети Глобального доступа к мультиузловой мультимедийной архитектуре – предусматривает выполнение комплекса исследований:

разработку глобальной сети доступа пользователей к мультимедийным услугам по принципу «спутниковой высокоскоростной опорной сети» (High-rate satellite backbone);

## Перспективные ССС Ka-диапазона (получившие в США лицензии FCC)

Компания	Система	Орбита	Охват	Количество спутников	Спутниковая пропускная способность, ГГц/с	Межспутниковая связь	Бортовой коммутатор	Инвестиции, млрд дол.
Lockheed Martin	Astrolink	GEO	Глобальный	9	7,7	Да	FPC	4
Loral	Cyber-star	GEO	Ограниченный, глобальный	3	4,9	Да	BBS	1,05
Hughes	Galaxy/Space-way	GEO	Глобальный	20	4,4	Да	BBS	5,1
GE Americom	GE*Star	GEO	Ограниченный, глобальный	9	4,7	Нет	BBS	4,0
Morning Star	Morning Star	GEO	— —	4	0,5	Нет	Нет	0,82
Teledesic	Teledesic	LEO	Глобальный	286	13,3	Да	FPS	9

проведение экспериментов с сетью высокоскоростных спутниковых транспондеров (72 МГц), обеспечивающих передачу трафика ATM со скоростью 34–155 Мбит/с (технологии IDR и G.832 PDH);

организацию высокоскоростной логической кольцевой сети, объединяющей мультимедийные серверы, доступные пользователям по асимметричным спутниковым каналам;

предоставление массовых информационно-справочных услуг пользователям Европы, Японии, Южной и Северной Америки по технологии гибкого выделения полосы канала «по требованию».

Примерами европейских проектов являются разработки новых спутниковых технологий связи:

мультимедийные терминалы (абонентские станции) для работы в диапазонах *Ku/Ka*;

малогабаритные экономичные терминалы мобильной спутниковой связи;

высокопроизводительные бортовые ретрансляторы, обеспечивающие обработку мультимедийных потоков данных;

малогабаритные бортовые оптические терминалы для межспутниковых линий связи в геостационарных системах;

специализированные спутники связи для мультимедийных применений на конкретных потребительских рынках.

Наиболее передовые европейские НИОКР выполняются в рамках международной программы ASTE (Advanced Systems and Telecommunications Equipment). В рабочей программе ASTE на 2000 г. предусмотрено выполнение около 60 исследовательских проектов с общим объемом годового финансирования из бюджета ESA объемом 62 млн евро.

Следует отметить, что в области мобильной спутниковой связи ESA, кроме собственных НИОКР перспективного характера (межспутниковая оптическая связь и др.), финансирует проекты спутникового сегмента S-UMTS, выполняемые в координации с проектами ACTS/IST Европейской Комиссии.

### Библиографический список

1. Камнев В. Е., Черкасов В. В., Чечин Г. В. Спутниковые сети связи. М.: Альпина Паблишер, 2004, 536 с.
2. Никитин Г. И. Спутниковые системы связи. / СПбГУАП. СПб., 2000. 79 с.
3. Регламент радиосвязи. М.: Радио и связь, 1985. 509 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. НИЗКООРБИТАЛЬНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ РОСТЕЛЕСАТ. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ .	10
1.1. Назначение системы РОСТЕЛЕСАТ .....	10
1.2. Состав НОКС РОСТЕЛЕСА .....	12
1.3. Область действия, покрытие, высота орбиты .....	13
1.4. Пользователи системы .....	13
2. ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ СПУТНИКОВОЙ ГРУППИРОВКИ РОСТЕЛЕСАТ .....	19
2.1. Общие принципы .....	19
2.2. Концепция управления .....	21
2.3. Автономное управление КА в составе СГ .....	23
2.4. Оперативное управление и контроль из НКУ .....	25
3. НАЗЕМНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ .....	29
3.1. Состав и размещение средств НКУ .....	29
3.2. Назначение и состав ЦУП .....	30
3.3. Главная оперативная группа управления .....	32
3.4. Командно-программный и траекторно-телеметрический комплекс .....	32
4. БОРТОВОЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ .....	34
4.1. Общие принципы построения .....	34
4.2. Взаимодействие составных частей БКУ .....	35
5. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ РОСТЕЛЕСАТ ...	38
5.1. Принципы разработки архитектуры .....	38
5.2. Архитектура системы РОСТЕЛЕСАТ, стандарты .....	40
5.3. Воздействия на систему, организация иммунных систем	46
5.4. Взаимодействия аппаратных комплексов при организации управления .....	50
5.5. Принципы организации прикладного программного обеспечения .....	52
5.6. Каналы управления системой, принципы организации ..	53
5.7. Обеспечение конфиденциальности .....	54
5.8. Структура системы связи РОСТЕЛЕСАТ .....	58
6. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ СВЯЗИ РОСТЕЛЕСАТ .	60
6.1. Распределение обработки между КА и КС .....	60
6.2. Структура информации в магистральных линиях связи .	63
6.3. Центр управления системой связи .....	68
6.4. Задачи рабочих групп и служб ЦУСС .....	72
7. СОПРЯЖЕНИЕ СИСТЕМЫ РОСТЕЛЕСАТ С ДРУГИМИ СЕТЯМИ .....	86
8. КООРДИНИРУЮЩАЯ СТАНЦИЯ СИСТЕМЫ РОСТЕЛЕСАТ .....	89
9. РАДИОЧАСТОТНЫЙ КАНАЛ .....	96

9.1. Основные технические характеристики .....	96
9.2. Антенный пост и наведение антенны .....	97
9.3. Синтезаторы опорных частот .....	101
9.4. Преобразователь приемного канала .....	105
9.5. Формирователь передающего канала .....	108
10. СТОЙКА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ РОСТЕЛЕСАТ ...	111
11. ВЛИЯНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУППИРОВКИ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ ИСЗ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАБЛЮДАЕМОСТИ ИСЗ .....	115
12. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ В НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КРУГОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ .....	123
13. ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ .....	128
13.1. Основные космические системы связи .....	128
13.2. Характеристики основных региональных систем .....	128
13.3. Система подвижной спутниковой связи «Садко» .....	141
13.4. Ведомственная подсистема низкоорбитальной спутниковой системы связи «Гонец-АСКУЭ» РАО «ЕЭС России» .....	143
13.5. Спутник связи «ГОНЕЦ-Д1» .....	151
14. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ .....	155
14.1. Разработки новых систем .....	155
14.2. Ключевые технологии перспективных ССС .....	162
14.3. Перспективные направления НИОКР .....	166
Библиографический список .....	170

Учебное издание

**Михайлов Виктор Федорович**  
**Мошкин Владимир Николаевич**  
**Брагин Иван Вениаминович**

**КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
СВЯЗИ**

Учебное пособие

Редактор *А. В. Подчепалева*  
Верстальщик *И. С. Чернышев*

---

Сдано в набор 21.03.06. Подписано к печати 23.08.06. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,4. Усл. кр.-отт. 10,5. Уч. -изд. л. 10,9.  
Тираж 100 экз. Заказ №

---

Редакционно-издательский отдел  
Отдел электронных публикаций и библиографии библиотеки  
Отдел оперативной полиграфии  
ГУАП  
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 67