

621.396.9

Н40



*Л. М. Невдяев, А. А. Смирнов*

# ПЕРСОНАЛЬНАЯ СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ

ОРБКОММ НЕО  
LEO MEC GEO

IRIDIUM Globalstar ICO

Odyssey ГОНЕЦ

Euroso

Archimedes СИГНАЛ

EGGO

Ростелесат

УДК 621.396.94  
629.738

АВТОРЫ:

Л.М. НЕВДЯЕВ, А.А. СМИРНОВ

## Персональная спутниковая связь

Книга посвящена системам персональной спутниковой связи и является продолжением серии публикаций по спутниковой тематике издательства "ЭКО-ТРЕНДЗ". Рассмотрены низкоскоростные радиотелефонные системы персональной связи Iridium, Globalstar, ICO, Odyssey, "Сигнал", ЕССО, "Ростелесат", Ellipse, Archimedes, "Полярная звезда". Проанализированы проекты высокоскоростных систем передачи Celestri, Spaceway, Skybridge, Teledesic, SEKOMS, предоставляющих доступ в сеть Internet и к удаленным базам данных, высококачественную телефонию, мультимедийные услуги. Приведены описания действующих систем и проектов систем мобильной связи, передачи данных, автоматизированного сбора данных Inmarsat, Omnitrac, Euteltracs, Prodat, AMCS, MSAT, Optus, ACeS, "Гонец", Orbcomm, Starsys, Vitasat, Faisat, "Элекон-СТИР-М".

В книге проведена классификация систем спутниковой связи и передачи данных. Рассмотрены системотехнические характеристики космических и наземных комплексов, виды услуг и области применения.

Особое внимание уделено интеграции спутниковых радиотелефонных систем связи и наземных сотовых сетей. Даны показатели и характеристики орбитальных группировок систем, использующих GEO, MEO, LEO и эллиптические орбиты, сравнительные характеристики спутниковых систем радиотелефонной связи и передачи данных.

Книга представляет интерес для широкого круга читателей, руководителей и специалистов в области связи, менеджеров проектов, инвесторов.

ISBN 5-88405-008-9

Л.М. Невдяев, А.А. Смирнов,

# СОДЕРЖАНИЕ

## [ПРЕДИСЛОВИЕ](#)

## [ВВЕДЕНИЕ](#)

### **ЧАСТЬ 1**

## **[ГЛОБАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ](#)**

### **[1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ](#)**

#### [1.1. Глобализация и персонализация телекоммуникаций](#)

#### [1.2. Роль и место спсс в общей инфраструктуре ССС](#)

#### [1.3. Классификация систем персональной спутниковой связи](#)

### **[2. СИСТЕМЫ СВЯЗИ С КА НА НИЗКИХ ОРБИТАХ](#)**

#### [2.1. Система Iridium](#)

##### 2.1.1. Виды услуг

##### 2.1.2. Состав и структура системы

##### 2.1.3. Основные характеристики радиолиний

##### 2.1.4. Особенности организации связи и пропускная способность системы

##### 2.1.5. Рынки услуг и технико-экономические показатели

#### [2.2. Система Globalstar](#)

##### 2.2.1. Принципы построения и структура системы

##### 2.2.2. Космический аппарат

##### 2.2.3. Организация многостанционного доступа

##### 2.2.4. Станции сопряжения и абонентские терминалы

##### 2.2.5. Стоимость услуг и сроки развертывания

#### [2.3. Система "Сигнал"](#)

#### [2.4. Система ЕССО](#)

#### [2.5. Система "Ростелесат"](#)

### **[3. СИСТЕМЫ СВЯЗИ С КА НА СРЕДНЕВЫСОТНЫХ ОРБИТАХ](#)**

#### [3.1. Система Odyssey](#)

##### 3.1.1. Космический сегмент и зоны обслуживания

##### 3.1.2. Наземный сегмент системы и организация связи

#### [3.2. Система ICO](#)

##### 3.2.1. Космический сегмент

##### 3.2.2. Наземный сегмент и организация связи

##### 3.2.3. Рынок и экономические аспекты создания системы

### **[4. СИСТЕМЫ СВЯЗИ С КА НА ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОРБИТАХ](#)**

#### [4.1. Система Ellipso](#)

##### 4.1.1. Особенности орбитального построения системы

##### 4.1.2. Земные и абонентские станции

#### [4.2. Система Archimedes](#)

#### [4.3. Проект "Полярная звезда"](#)

### **[5. ПРОЕКТЫ СИСТЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ](#)**

#### [5.1. Система Teledesic](#)

##### 5.1.1. Возможности и принципы построения системы Teledesic

##### 5.1.2. Особенности организации связи в системе Teledesic

#### [5.2. Система Celestri](#)

##### 5.2.1. Архитектура системы

##### 5.2.2. Космический и земной сегменты низкоорбитальной системы Celestri

#### [5.3. Система Spaceway](#)

[5.4. Система Skybridge](#)

[5.5. Система Secoms](#)

## **ЧАСТЬ 2**

### **ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА ДАННЫХ**

#### **6. СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ С КА НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ**

##### **6.1. Система Inmarsat**

- 6.1.1. Состав, виды услуг и особенности построения
- 6.1.2. Земные и абонентские станции
- 6.1.3. Система Inmarsat-M
- 6.1.4. Система Inmarsat-C
- 6.1.5. Система пейджинговой связи Inmarsat-D
- 6.1.6. Система Inmarsat-E

##### **6.2. Системы OmnitracS и Euteltracs**

##### **6.3. Система Prodat**

##### **6.4. Системы AMSC и MSAT**

##### **6.5. Системы Optus и ACeS**

##### **6.6. Система "Марафон"**

#### **7. СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НА НИЗКИХ ОРБИТАХ**

##### **7.1. Система "Гонец"**

- 7.1.1. Состав и структура системы
- 7.1.2. Принципы организации связи в системе "Гонец"
- 7.1.3. Система пакетной передачи данных Тонец-Д1"
- 7.1.4. Космический сегмент системы "Гонец"
- 7.1.5. Характеристики космического аппарата
- 7.1.6. Рынок услуг и этапы создания системы

##### **7.2. Система Orbcomm**

- 7.2.1. Космический и наземный сегменты
- 7.2.2. Форматы сообщений и режимы работы
- 7.2.3. Пользовательский сегмент

##### **7.3. Системы Starsys И Vitasat**

- 7.3.1. Система Starsys
- 7.3.2. Система Vitasat

##### **7.4. Система Faisat**

##### **7.5. Система "Эликон-СТИР-М"**

##### **7.6. Проекты систем передачи данных второго поколения**

- 7.6.1. Система Leo One
- 7.6.2. Системы GE-LEO, E-SAT и LEOSAT
- 7.6.3. Система Gemnet

#### **8. СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ РАДИОМАЯКОВ С КА НА НИЗКИХ ОРБИТАХ**

##### **8.1. Международная спутниковая система "Коспас-Сарсат"**

- 8.1.1. Структура и особенности построения системы
- 8.1.2. Космический и наземные сегменты
- 8.1.3. Парк спутниковых радиомаяков

##### **8.2. Система ARGOS**

##### **8.3. Система "Курс"**

## **ЧАСТЬ 3**

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

#### **9. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И СТРУКТУРА ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ**

##### **9.1. Типы орбит и их показатели**

- 9.1.1. Геостационарная орбита
- 9.1.2. Средневысотные орбиты
- 9.1.3. Низкие круговые орбиты
- 9.1.4. Эллиптические орбиты

##### **9.2. Основные показатели негеостационарной орбитальной группировки**

- 9.2.1. Геометрические соотношения и вероятностно-временные характеристики
- 9.2.2. Доплеровский сдвиг частоты

##### **9.3. Корректируемые и некорректируемые орбитальные группировки**

##### **9.4. Зоны обслуживания**

#### **10. ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

##### **10.1. Требования к радиационной стойкости бортовой аппаратуры**

- 10.1.1. Виды внешних воздействий
- 10.1.2. Воздействие проникающей радиации на электронные компоненты

##### **10.2. Характеристики космических платформ и средств вывода КА на орбиту**

##### **10.3. Бортовой ретрансляционный комплекс**

- 10.3.1. Типы ретрансляторов
- 10.3.2. Эквивалентная изотропно излучаемая мощность и добротность
- 10.3.3. Плотность потока мощности

##### **10.4. Методы многостанционного доступа**

#### **11. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

##### **11.1. Виды услуг и области применения**

##### **11.2. Структура земного сегмента**

- 11.2.1. Роль и место земных станций сопряжения
- 11.2.2. Модификации абонентских терминалов

##### **11.3. Принципы организации связи и маршрутизации**

##### **11.4. Интеграция наземных и спутниковых систем радиотелефонной связи**

##### **11.5. Сети пейджинговой связи и передачи данных**

- 11.5.1. Организация пейджинговой связи
- 11.5.2. Сети передачи данных

##### **11.6. Основные характеристики абонентских терминалов**

#### **12. ИНТЕГРАЦИЯ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ И СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

##### **12.1. Области применения и классификация**

##### **12.2. Определение координат с помощью систем GPS/"Глонасс"**

- 12.2.1. Краткие сведения о системах GPS и "Глонасс"
- 12.2.2. Структура и основные характеристики
- 12.2.3. Принципы определения координат
- 12.2.4. Характеристики приемников GPS и "Глонасс"

##### **12.3. Методы повышения точности навигационных определений**

- 12.3.1. Анализ требований потенциальных потребителей
- 12.3.2. Факторы снижения точности и основные источники погрешностей
- 12.3.3. Метод дифференциальных поправок
- 12.3.4. Методы контроля целостности

##### **12.4. Определение координат с помощью системы GNSS**

##### **12.5. Низкоорбитальные и наземные навигационные комплексы**

- 12.5.1. Низкоорбитальные спутниковые системы навигации
- 12.5.2. Наземные гиперболические радионавигационные системы

12.6. Системы связи с определением координат на основе разностно-дальномерного метода

- 12.6.1. Определение местоположения в системах Omnitracс и Euteltracс
- 12.6.2. Определения координат автоматических радиомаяков в системе "Эяикон-СТИР-М"

12.7. Определение местоположения по доплеровскому сдвигу частоты

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЛИТЕРАТУРА

Библиотека БГУИР

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Реализация концепции создания сетей персональной связи, предусматривающая предоставление широкого класса услуг "в любом месте и в любое время" по единому персональному номеру абонента, осуществляется на основе глобальной интеграции действующих и создаваемых сетей фиксированной, наземной подвижной и спутниковой связи, создания специальных терминалов, обеспечивающих сопряжение стандартов и протоколов связи.

В рамках этой интеграции создание систем спутниковой связи является чрезвычайно важной задачей, решение которой, наряду с развитием наиболее массовых сетей наземной подвижной связи, позволит обеспечить глобальную зону покрытия.

Ожидается, что в 2000 году количество абонентов систем спутниковой связи превысит миллион человек, а к 2010 году составит около 3-х миллионов.

Новая книга Л.М. Невдяева и А.А. Смирнова "Персональная спутниковая связь" посвящена инженерной оценке современного состояния и перспективам развития широкого класса систем спутниковой связи (ССС). В книге приводится классификация СССР, рассматриваются назначение, функциональные возможности, системные характеристики, услуги связи, предполагаемые тарифы, этапность создания СССР и многие другие вопросы.

Заслуживают внимания разделы книги, связанные с интеграцией спутниковых систем и систем сотовой подвижной связи, а также проблемы создания систем местоопределения подвижных объектов на основе GPS.

Большой объем справочных материалов, приведенных в книге, позволит инженерам связи, операторам и потребителям услуг найти ответы на волнующие их вопросы в области персональной спутниковой связи.

*Ю.Громаков*

*Вице-президент компании "Мобильные ТелеСистемы"*

# ВВЕДЕНИЕ

Антуан де Септ-Экзюпери писал, что нет большей роскоши, чем роскошь человеческого общения. Однако только в конце 20 столетия понимание важности и необходимости общения на любых расстояниях приобрело созидательную силу.

Созидательная сила общения проявилась в тенденциях персонализации и глобализации связи мирового сообщества, которые легли в основу 1-ой Всемирной конференции по электросвязи (Буэнос-Айрес, 1994 г.), проведенной под эгидой МСЭ и определившей требования к будущей Глобальной информационной инфраструктуре. Предложения и рекомендации к указанной конференции были сформулированы на основании исследований, проводимых с 1985 г. МСЭ (сектор МСЭ-Р).

Глобальную информационную инфраструктуру предполагается строить как "Сеть сетей", ее техническую основу, наряду с действующими и развиваемыми сетями электросвязи (ВОЛС, системы спутниковой связи, спутниковые системы мобильной связи и передачи данных, национальные сети связи общего пользования), составят глобальные и региональные системы персональной спутниковой связи (СПСС) различных классов и групп. В решении проблем глобализации и персонализации связи СПСС представляют единственное экономически оправданное решение охвата связью труднодоступных, удаленных и малонаселенных регионов(районов)планеты.

В будущей информационной инфраструктуре глобализация и персонализация, по определению МСЭ, явятся основными требованиями, которые должны выполняться сетями, входящими в Глобальную информационную инфраструктуру (завершение разработки концепции этой сети планируется в конце XX века, здесь и ниже требования носят рекомендательный характер). Другим важным, но еще более трудно реализуемым, является требование интеграции сетей, входящих в Сеть информационной инфраструктуры, на основе унификации сетевых протоколов и интерфейсов, аппаратно-программных средств и т.д.

В лексике космической связи обозначилась терминология, относящаяся к СПСС: "глобализация связи" - предоставление услуг связи независимо от места расположения пользователя; "персонализация связи" - доведение услуг связи до конечного пользователя, желающего получить услуги связи; "персональный терминал" - категория владения (собственности) пользователем средствами связи с персональным номером; "услуги общего пользования" - предоставляются персональному пользователю; "частная услуга" - услуга, предоставляемая определенным группам пользователей.

Настоящая книга посвящена персональной спутниковой связи. В состав рассматриваемых систем персональной спутниковой связи входят два класса СПСС:

- низкоскоростные системы Iridium, Globalstar, ICO, Odyssey, "Сигнал", ECCO, "Ростелекат", Ellipse, Archimedes, "Полярная звезда", представляющие услуги: телефония, факс, передача данных и, в отдельных системах, пейджинг - на основе портативных, мобильных и стационарных терминалов связи. Указанные СПСС предусматривают предоставление услуг общего пользования (портативные и мобильные терминалы) и частные услуги (стационарные терминалы, в том числе, типа таксофона);
- высокоскоростные системы Celestri, Spaceway, Skybridge, Teledesic, Secoms, предусматривающие качественно новые услуги глобального взаимодействия: высокоскоростной доступ в Internet, доступ удаленных пользователей к базам данных, высококачественная видеотелефония и конференцсвязь, мультимедийные услуги - на основе различных модификаций терминалов связи, в том числе базовых, ориентированных на широкий круг персональных пользователей.

Указанные выше классы систем спутниковой связи (ССС) не являются конкурирующими, их услуги взаимодополняются.

Как отмечалось выше, в Глобальную информационную инфраструктуру войдут глобальные и региональные, действующие и развиваемые спутниковые системы мобильной связи и передачи данных. К этим системам относятся системы мобильной связи: Inmarsat, Omnitrack, Euteltrack, Prodat, AMSC, MSAT, Optus, ACeS; системы низкоскоростной передачи данных: Orbcomm, "Гонец", StarSYS, Vitasat, Faisat, "Электрон-СТИП-М", некоторые проекты систем передачи данных 2-го поколения; системы автоматизированного сбора данных: Argos, "Каспас-Сарсат", "Курс". Хотя вышеуказанные СССР не обеспечивают услуги общего пользования, признано целесообразным их включение в книгу с рассмотрением общих с СПСС вопросов: системно-технические характеристики, услуги и тарифы, структура орбитальной группировки, по-

строение наземного комплекса, характеристики абонентской аппаратуры и используемых методов местоопределения.

Книга состоит из 3-х частей и 12-ти глав. Части 1 и 2 посвящены, соответственно, СПСС и спутниковым системам мобильной связи, передачи данных, автоматизированного сбора данных; сравнительные характеристики спутниковых систем радиотелефонной связи и передачи данных, а также характеристики и показатели, общие для ряда рассматриваемых ССС, приведены в части 3.

Современным тенденциям развития СПСС и классификации систем спутниковой связи посвящена глава 1. Каждая из ССС характеризуется большим числом характеристик: орбита и орбитальная группировка, пропускная способность КА и системы в целом, скорость передачи в абонентской радиолинии и соответствующие ей режимы связи, услуги связи, подспутниковая зона, тип ретранслятора и маршрутизация в системе, диапазоны частот и др. Для классификации ССС приняты две характеристики: информационная скорость в абонентской радиолинии, согласно которой ССС разделяются на классы, и используемый тип орбиты, согласно которому классы ССС делятся на группы. Такая классификация рассматриваемых ССС позволяет проводить сравнение характеристик систем в пределах соответствующего класса, группы с использованием необходимого состава характеристик и показателей.

Материалы по рассматриваемым системам спутниковой связи изложены в главах 2-8 в соответствии с классификацией ССС. По каждой системе приведены характеристики орбитальной группировки, системотехнические характеристики, сетевая структура, виды услуг и тарифы, технико-экономические показатели, организационная структура и этапность создания. Следует отметить, что в проектах ССС возможны динамические изменения технических решений, экономических показателей. Примерами этому служат, в частности, изменения в орбитальных группировках проектов Iridium, Teledesic, стоимости проекта Iridium.

Сравнительные характеристики спутниковых систем радиотелефонной связи и передачи данных приведены в главах 9-12 и охватывают используемые орбиты и структуры орбитальных группировок, космические и наземные комплексы, интеграцию средств спутниковых и навигационных систем.

На основе рассмотрения используемых в ССС орбит приведены результаты анализа орбитальных группировок систем, использующих GEO, MEO, LEO и эллиптические орбиты, вероятностно-временные характеристики (длительность сеанса связи, время ожидания связи, время доставки информации), зоны обслуживания. Даны результаты расчета суммарного времени "видимости" КА для различных наклонений орбит и широты для ССС ICO, Ellipse, Odyssey, ECCO, Globalstar, Iridium, "Сигнал", "Гонец", Orbcomm.

В части космических комплексов рассматриваемых ССС дана систематизированная оценка внешних воздействий на КА и применяемых мер защиты. Приведены основные характеристики космических платформ, средства запуска, сравнительные характеристики КА систем персональной и мобильной спутниковой связи, типы и энергетические показатели ретрансляционных комплексов.

В части наземных комплексов дана обобщенная структура наземного сегмента, рассмотрены особенности связи и маршрутизации в системе, виды услуг и области применения, обобщенный перечень требований, определяющий спрос на абонентские терминалы, методы многостанционного доступа в ССС. В связи с интеграцией СПСС и наземных сотовых сетей приведены сравнительные характеристики цифровых стандартов сотовых сетей и СПСС Iridium и Globalstar.

Энергетические характеристики абонентских радиолиний являются одними из основных и, в первую очередь, в СПСС с портативными терминалами типа "телефон в трубке". В этой связи приведены сравнительные энергетические характеристики абонентских радиолиний СПСС Iridium, Globalstar, Odyssey, ICO и двух проектных модификаций (глобальная, региональная) геостационарной системы спутниковой связи Tritium.

Внедрение в СПСС услуги местоопределения в определенной степени усилило тенденцию интеграции средств навигации и подвижных ССС и, как следствие, стимулировало создание малогабаритных и недорогих терминалов местоопределения в интересах широкого круга пользователей. Определена категория пользователей услуг местоопределения, дана классификация систем навигации, проанализированы используемые методы определения координат, и приведена оценка их точности.

При рассмотрении сравнительных характеристик спутниковых систем радиотелефонной связи и передачи данных не ставилась задача определения "наилучшей" системы каждого класса, группы. Каждая из рассмотренных ССС имеет оригинальные системо-технические решения, широкий спектр пользовательских услуг. При этом предусматривается, что в ходе

натурных испытаний и эксплуатации будут апробированы и подтверждены заявленные характеристики, услуги, надежность всех элементов и системы в целом. Именно натурные испытания рассмотренных проектов СПСС снимут остроту полемики, инициируемой в первую очередь авторами-разработчиками проектов систем, по отдельным сравнительным характеристикам и показателям СПСС, в том числе рассматриваемых в части 3 книги.

Рассмотренные проекты СПСС (низкоскоростные, высокоскоростные) относятся к классу сложных, характеризуются внедрением передовых технологий, участием в их создании крупных компаний, специализирующихся в области космической связи, требуют больших затрат на создание СПСС и поддержание в состоянии непрерывной эксплуатации космических и наземных комплексов. Внедрение низкоростных СПСС и доведение их до полномасштабных предполагается на рубеже 21 века, а высокоскоростных - в первом десятилетии 21 века.

Динамика развития дорогостоящих проектов спутниковой связи такова, что одни проекты в короткие сроки интенсивно развиваются и доводятся до практической реализации, другие же, наоборот, развиваются медленно, финансируются недостаточно и на определенных этапах сворачиваются. Иллюстрацией последней тенденции могут быть недавние сообщения о судьбе проекта Odyssey и продолжение работ по системе Celestri в рамках программы Tele-desic.

Учитывая, что мировой платежеспособный рынок не сможет поддержать все проекты СПСС, а также объективные ограничения в выделении необходимого частотного ресурса, их число в каждом классе (низкоростные, высокоскоростные), по-видимому, не превысит 4-5. Они будут иметь статус международных и интегрированы в Глобальную информационную инфраструктуру мирового сообщества.

# ЧАСТЬ 1

## ГЛОБАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

### 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ

#### 1.1. ГЛОБАЛИЗАЦИЯ И ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Термин "глобализация телекоммуникаций" вошел в нашу речь сравнительно недавно. Под глобализацией понимают доступность телекоммуникационных услуг в любой точке земного шара, при которой пользователь может получать информацию независимо от своего местонахождения и времени суток. При этом речь идет не только об обеспечении радиотелефонной связи и обмена данными, но и о предоставлении услуг сети Internet и мультимедиа. Это дает возможность пользователю устанавливать связь с любым потребителем в глобальном масштабе, который может быть как физическим лицом, так и необслуживаемым датчиком или персональным компьютером. В рамках глобализации подразумевается возможность доступа не только к базам данных, но и к теле- или радиовещательным программам. В решении проблемы глобализации персональная спутниковая связь играет важную роль, т.к. позволяет охватить труднодоступные, удаленные и малонаселенные районы.

Персонализация телекоммуникаций означает их максимальное приближение к конечному пользователю. При этом подразумевается, что абонентская аппаратура может быть размещена непосредственно в помещении пользователя, а услуги предоставлены независимо от местонахождения пользователя (дома, на совещании, в автомобиле). Существенно расширяется спектр предоставляемых услуг, а также их география, позволяющая охватить более широкую категорию пользователей, включая удаленных абонентов. Наряду с традиционными узкополосными видами телекоммуникационных услуг, такими как радиотелефон, передача данных, телекс, в перспективных системах персональной спутниковой связи предполагается реализовать передачу видеоданных, мультимедийной информации и интерактивных телевизионных программ.

Коренные преобразования в области спутниковой связи произошли в начале 90-х и были обусловлены, главным образом, тремя факторами: коммерциализацией космических программ, использованием низкоорбитальных и средневысотных космических аппаратов (КА) для связи с подвижными объектами, повсеместным переходом на цифровую связь с использованием современных компьютерных технологий.

Уже с конца 80-х годов начался процесс конверсии, сопровождающийся заимствованием и переносом передовых военных технологий в коммерческие программы. Это привело к росту числа космических коммерческих программ, и на рубеже XXI века все большее внимание уделяется вопросам предоставления услуг персональной связи населению, решению научных задач, телемедицины, промышленного и экологического мониторинга. Новый качественный скачок в развитии персональной спутниковой связи произошел после появления первых проектов спутниковых систем, основанных на использовании КА на негеостационарных орбитах (низких круговых и средневысотных). Орбиты низкоорбитальных спутников проходят достаточно близко к поверхности Земли, что позволяет обходиться дешевыми малогабаритными терминалами и небольшими антеннами. Переход на низкие и средние орбиты позволяет не только решить проблему перегруженности геостационарных орбит, но и существенно расширить сферу телекоммуникационных услуг, обеспечив пользователей глобальной персональной связью с помощью терминала типа телефонной трубки.

Низкоорбитальные системы связи имеют ряд особенностей структуры и принципов функционирования. Основные из них следующие:

- возможность регионального или глобального покрытия обслуживаемой территории своими зонами радиовидимости (ЗРВ) за счет создания многоспутниковой орбитальной группировки;
- поддержание на обслуживаемой территории заданной связности системы;
- обеспечение ретрансляции сообщений между удаленными пользователями с помощью межспутниковых линий связи, наземных станций сопряжения (станций-шлюзов) или работы в режиме электронной почты.

Начавшийся процесс повсеместного внедрения персональной компьютерной техники, а также необычайно быстрый рост услуг сети Internet, повлиял на тенденции развития спутниковой связи. Все системы персональной спутниковой связи построены на цифровых принципах, что позволяет передавать по их каналам различные виды информации: речь, факс, телекс, данные и др. С появлением персонального компьютера возникла острая необходимость в обмене высокоскоростными потоками информации и мультимедиа.

Технология мультимедиа включает в себя компьютерную видеोगрафику, видео, текстовую и графическую информацию, а также звуковые эффекты. Путем синтеза всей этой аудиовизуальной информации пользователь может быть обеспечен практически всеми видами современных услуг. Наибольшее распространение технологии мультимедиа ожидается в области образования и обучения, развлечений и досуга, средств коммуникаций и связи.

## **1.2. РОЛЬ И МЕСТО СПСС В ОБЩЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ ССС**

Анализ развития мирового рынка услуг в течение последних лет показывает, что существует спрос не просто на мобильную спутниковую связь, а именно на персональную связь. В настоящее время еще не разработаны международные регламентирующие документы, определяющие статус и место персональной спутниковой связи в общей телекоммуникационной инфраструктуре.

В соответствии с Регламентом радиосвязи в зависимости от назначения ССС и типа используемых земных станций (ЗС) различаются три основные службы спутниковой связи: ФСС - фиксированная спутниковая служба, ПСС - подвижная спутниковая служба и РСС - радиовещательная спутниковая служба. В силу ряда причин как технического плана, так и исторически сложившегося характера, такое деление сохраняется и по сей день, хотя и не полностью отражает динамику развития современных средств спутниковой связи. Ниже приведен краткий анализ их тенденций развития в свете идей глобализации и персонализации телекоммуникаций.

Фиксированная спутниковая служба предназначена для организации связи между стационарными пользователями. В первые годы системы ФСС использовались исключительно для организации магистральных линий связи большой протяженности и зонной связи. В настоящее время более широкое распространение получили сети персональной спутниковой связи на основе терминалов типа VSAT. Эти станции портативны и относительно дешевы, размещаются они непосредственно в помещении пользователя и не требуют наземных соединительных линий. Терминалы VSAT широко используются для обмена банковской информацией, в сетях торговых складов и оптовых баз, магазинов и обеспечивают работу с кредитными карточками. Подобная персонализация каналов является устойчивой тенденцией в развитии спутниковых систем связи за рубежом и в нашей стране. Прогноз показывает, что в перспективе такие сети ФСС обеспечат не только персональную речевую связь, но и передачу данных, мультимедиа непосредственно на домашние персональные компьютеры.

Начавшийся процесс персонализации привел к тому, что границы между традиционными службами ФСС и ПСС или ФСС и РСС постепенно начали стираться. Так, персональные ЗС удаленных пользователей, работающие в Ku или Ka диапазоне, формально относятся к службе ФСС (работа в полосах частот, выделенных для ФСС), однако по своему назначению и выполняемым функциям они ближе к службе персональной спутниковой связи.

Подвижная спутниковая служба предназначена для организации связи между мобильными объектами или между мобильным объектом и стационарным пользователем. Первоначально ПСС рассматривалась как служба специального назначения, предназначенная для организации морской, воздушной, автомобильной и железнодорожной спутниковой связи. В настоящее время идет процесс переориентации ПСС на обеспечение услуг персональной связи.

Радиовещательная спутниковая служба предназначена для приема телевизионных и радиовещательных программ. Она охватывает системы непосредственного телевизионного вещания (НТВ), спутниковое телевизионное вещание и спутниковое непосредственное радиовещание. Сравнительно недавно зародилась идея персонализации и в области телевидения. Под персонализацией понимается возможность интерактивного обмена в процессе телепередач и удовлетворения индивидуальных запросов пользователей путем трансляции по закрытым каналам заказных телепрограмм, а также предоставление возможности для интерактивного обмена в процессе телепередач. В этом случае пользователь превращается из пассивного потребителя вещательной информации в активного участника.

### 1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ПЕРСОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Под названием "системы персональной спутниковой связи" понимаются различные по построению спутниковые системы с космическими аппаратами (КА) на геостационарной (GEO), средневысотных (MEO), низких (LEO) и эллиптических орбитах, работающие в различных диапазонах частот и предоставляющие пользователю различные услуги связи с помощью персонального терминала (портативного, мобильного, стационарного).

В основу приведенной ниже классификации положены два основных признака: информационная скорость в абонентской линии и тип орбиты. В зависимости от скорости передачи системы персональной связи можно разделить на четыре класса:

- системы со сверхнизкими потоками данных (информационная скорость - менее 1,2 кбит/с);
- низкоскоростные системы (от 1,2 кбит/с до 9,6 кбит/с);
- высокоскоростные системы (64 кбит/с и выше).

Назначение и основные виды услуг систем персональной спутниковой связи согласно приведенной классификации приведены ниже.

#### **Системы со сверхнизкими потоками данных**

Системы данного класса предназначены для обнаружения и определения местоположения судов и самолетов, терпящих бедствие, мониторинга окружающей среды и сбора данных с морских и наземных объектов. По каналам этих систем передаются преимущественно однопакетные сообщения длиной не более 256 бит. В зависимости от типа используемых орбит системы разделяются на две группы: LEO и GEO.

В глобальных системах, использующих низкоорбитальные КА, связь осуществляется на частотах, выделенных МСЭ в качестве аварийных для авиационной и морской подвижных служб (121,5/243 МГц и 406 МГц). Объем передаваемых аварийных и экстренных сообщений достаточно мал. В качестве абонентской аппаратуры используются радиомаяки и радиобуи, приводимые в действие вручную или автоматически (в момент удара, при погружении в водную среду и др.). Электропитание аппаратуры осуществляется от автономных источников.

В региональных системах, построенных на базе геостационарных КА (GOES, Meteosat, Inmarsat-E и др.), связь осуществляется в режиме TDMA, поскольку все обслуживаемые объекты находятся одновременно в зоне радиовидимости КА. Передача сообщений осуществляется регулярно в фиксированные временные интервалы (для каждого радиомаяка выделен свой временной интервал), а каждый из обслуживаемых датчиков использует один из фиксированных каналов ретранслятора. Такой метод организации сбора данных выбран из условия, чтобы исключить взаимные помехи от передатчиков разных объектов. Пропускная способность, т.е. максимальное количество одновременно активных датчиков, зависит от числа частотных каналов и выделенных временных интервалов в каждом канале.

#### **Низкоскоростные системы персональной спутниковой связи**

Системы данного класса предназначены для передачи данных и обеспечения узкополосной радиотелефонной связи. В зависимости от типа используемых орбит, системы разделяются на 5 основных групп: little LEO, big LEO, MEO, NEO и GEO.

**Группа little LEO.** Системы данного класса предназначены для передачи данных со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с. Их отличительной особенностью является работа в диапазоне частот до 1 ГГц, использование легких КА массой порядка 50-250 кг, к которым не предъяв-

ляется жестких требований по времени доставки сообщений. В системах используется от 6 до 48 КА<sup>1</sup>. Основные режимы работы:

- передача коротких однопакетных сообщений типа пейджинговых с предоставлением каналов по требованию или передача данных в режиме электронной почты;
- передача формализованных сообщений (коротких буквенно-цифровых сообщений, заранее записанных в память терминала и передаваемых путем нажатия одной или нескольких клавиш);
- передача коротких сообщений о местоположении или состоянии обслуживаемых или необслуживаемых объектов;
- передача групповых (циркулярных и др.) и экстренных сообщений;
- определение координат подвижного объекта (долгота, широта, универсальное время, UTC).

Отличительными особенностями систем такого класса являются:

- использование легких и портативных терминалов с ненаправленными антеннами;
- групповой вывод малых КА на орбиту;
- обеспечение стоимости услуг существенно более низкой по сравнению с другими классами систем персональной спутниковой связи.

К системам группы little LEO относятся: "Гонец" (в настоящее время действует демонстрационный фрагмент системы на основе КА "Гонец-Д1"); Orbcomm (выведена на орбиту первая группа из 8 КА); Starsys, Vitasat, Faisat, "Элекон-Стир-М" (планируется ввод до 2000 г.).

**Группа big LEO.** К этому классу относятся системы, ориентированные на обеспечение персональной радиотелефонной и пейджинговой связи в глобальном масштабе.

Спрос на услуги персональной спутниковой связи находится под влиянием быстрого развития наземных систем сотовой и транкинговой связи. Это в значительной степени повлияло на абонентскую аппаратуру систем группы big LEO. Общей тенденцией развития систем радиотелефонной связи является объединение в единую сеть радиотелефонных спутниковых и сотовых сетей различного стандарта (GSM, AMPS, CDMA и др.), а также предоставление набора услуг (данные, телекс, факсимильные сообщения, определение местоположения, передача коротких сообщений), обеспечиваемых системами класса little LEO.

Обслуживание персональных абонентов - непрерывное, в реальном масштабе времени. Для обеспечения непрерывного глобального обслуживания в системах этого класса используются корректируемые орбитальные группировки из 48-66 спутников. Связь с абонентами осуществляется в L и S диапазонах частот. Масса спутников составляет 300-700 кг, что несколько больше, чем в системах класса little LEO. Реальная пропускная способность систем класса big LEO, как правило, не превышает 1200 эквивалентных телефонных каналов по 2,4 кбит/с на КА. В эту группу входят системы Iridium, Globalstar, "Сигнал", ECCO, "Ростелесат".

Для организации связи в системах Iridium, Globalstar предусматривается использование двухрежимных терминалов, ориентированных на работу и в сотовых системах радиосвязи разных стандартов.

**Группа систем MEO.** Системы, использующие КА на средневысотных орбитах, являются одним из основных конкурентов системам класса big LEO. Они ориентированы на один и тот же рынок услуг, т.е. обеспечение глобальной радиотелефонной и пейджинговой связи. Если для обеспечения глобальной связи в системах big LEO, которые не используют межспутниковых линий, требуется 150-200 станций сопряжения (Globalstar), то в системах класса MEO достаточно всего 7-12 станций сопряжения.

Пропускная способность систем этого класса составляет 3000-4500 эквивалентных телефонных каналов на КА. Это достигается усложнением полезной нагрузки КА, повышением энергетики радиолиний и, как следствие, увеличением мощности системы электропитания КА до 4600-8700 Вт. В эту группу входят системы Odyssey и ICO.

**Группа систем НЕО и GEO.** Системы мобильной спутниковой связи, использующие КА на геостационарной и высокоэллиптической орбите, предназначены для обеспечения различных видов связи: речь, данные, телекс, факс. В эту наиболее многочисленную группу включены существующие и перспективные системы, ориентированные как на передачу данных

<sup>1</sup> Чтобы осуществить передачу данных принципиально достаточно одного спутника с электронным "почтовым ящиком" на борту. С каждым витком он будет появляться над новым районом Земного шара, что обеспечит глобальное обслуживание.

(Inmarsat-C, Omnitrac, Euteltrac, Prodat), так и организацию радиотелефонной связи (Inmarsat-M, "Марафон", AMSC, MSAT, Optus, ACeS и др.).

Прогресс в развитии систем традиционной подвижной спутниковой связи впечатляет. Так, за последние 10 лет масса ЗС изменилась с 300 до 3-5 кг, уменьшались размеры антенн, и, наконец, что самое главное, был полностью пересмотрен подход к профессиональной подготовке операторов. Все это позволяет предвидеть возможность использования геостационарных и высокоэллиптических орбит для организации персональной связи.

### **Высокоскоростные системы персональной спутниковой связи**

К этому классу относятся глобальные системы широкополосной связи, использующие LEO<sup>2</sup>, MEO и GEO орбиты. Системы предназначены для передачи высококачественной речи, высокоскоростных потоков данных, мультимедиа, организации конференц-связи, доступа в Internet, интерактивной связи.

Отличительными особенностями систем этого класса являются:

- передача данных с использованием протоколов и технологий IP, X.25, Frame Relay, B-ISDN, ATM, SDN и др.;
- доступ к БД информационных систем по разовым запросам удаленных пользователей, доступ к сети Internet;
- передача видеоданных, мультимедиа.

Можно выделить две категории услуг: обслуживание персональных или групповых пользователей, организация магистральных линий для широкополосных сетей связи различного назначения. Связь для первой категории пользователей обеспечивается в режиме предоставления каналов по требованию (bandwidth-on-demand) со скоростью до 2-10 Мбит/с. Предполагается, что персональные базовые терминалы этой категории услуг найдут широкое распространение. Так, в полномасштабной системе Teledesic прогнозируется около 10 млн. базовых терминалов.

Во вторую категорию услуг входит передача высокоскоростных потоков информации со скоростью 155,52 Мбит/с, принятых в сетях синхронной цифровой иерархии (SDN). Терминалы этой категории услуг предназначены для коллективных пользователей, их внедрение не приведет к конкуренции с волоконно-оптическими линиями связи (ВОЛС), поскольку терминалы будут преимущественно размещаться в регионах, где развертывание ВОЛС для связи с удаленными пользователями невозможно или экономически нецелесообразно.

Высокоскоростная передача данных предусматривается в разрабатываемых проектах систем спутниковой связи Celestri, Spaceway, Skybridge, Teledesic и SECOMS.

<sup>2</sup> По аналогии с низкоскоростными системами классов little LEO и big LEO системы широкополосной связи, использующие низкоорбитальные КА, называются также megaLEO или superLEO.

## 2. СИСТЕМЫ СВЯЗИ С КА НА НИЗКИХ ОРБИТАХ

Отличительными особенностями систем, относящихся к классу низкоскоростных систем радиотелефонной связи big LEO, являются:

- совместимость с наземными сетями сотовой радиотелефонной связи;
- предоставление полного набора услуг (наряду с радиотелефонной связью), обеспечиваемых системами класса little LEO;
- возможность обеспечения связи в любое время суток в режиме реального времени;
- наличие корректируемой орбитальной группировки, обеспечивающей глобальное покрытие земной поверхности без мертвых зон в наиболее обжитых районах мира.

В настоящем разделе приведены системо-технические данные по проектам Iridium, Globalstar, "Сигнал", ECCO и "Ростелесат".

### 2.1. СИСТЕМА IRIDIUM

Концепция создания системы Iridium с орбитальной структурой из 77 КА была предложена в 1987 г. специалистами отделения спутниковой связи компании Motorola, Чендлер, шт. Аризона. Название системы навеяно ассоциацией с элементом иридием (латинское название - Iridium), который имеет 77 электронов. Позднее авторы проекта уточнили свою концепцию, рассчитав, что для глобального охвата поверхности Земли достаточно 66 КА.

Для проведения работ по проекту в 1993 г. был образован международный консорциум Iridium LLC (Вашингтон). Проект Iridium основан на широком международном сотрудничестве. В состав консорциума на правах инвесторов вошли компании: Motorola, Lockheed Martin, Raytheon, Sprint Corp., Nippon SK Telecom, PEWC, Korea Mobile Communication, Thai Satellite Telecommunications Corp., South Pacific Iridium Holdings Limited, Iridium Africa Corp., Iridium Andes Caribe, Iridium Brasil, Iridium Canada Inc., Iridium India Telecom, Iridium Italia, Iridium Middle East Corp. и другие. С российской стороны инвестором (82 млн долл.) выступает ведущая ракетно-космическая компания РФ - Государственный космический научно-производственный Центр (ГКНПЦ) им. Хруничева, который участвует в проекте не только как инвестор, но и по контракту с компанией Motorola осуществляет запуски КА Iridium с помощью РН "Протон".

Контрольным пакетом акций Iridium LLC владеет Консорциум Iridium LLC, который является владельцем космического сегмента системы Iridium. Правом на создание, владение и эксплуатацию станций сопряжения системы наделяются компании-инвесторы, входящие в консорциум Iridium LLC.

ГКНПЦ им. Хруничева, как инвестор проекта, должен обеспечить выполнение работ по техническому и правовому обеспечению функционирования системы Iridium на территории России и стран бывшего Союза. Для этого на территории ГКНПЦ создается основной коммутационный центр, два антенных терминала станции сопряжения и бизнес-система коммерческой поддержки обслуживания абонентов. Два вынесенных антенных терминала станции сопряжения размещены на территории Московской области (г. Королев). Проведением всех работ по строительству станции сопряжения на 30 тыс. абонентов на данной территории (включая закупку, монтаж и наладку оборудования) и ее последующей эксплуатацией занимается филиал ГКНПЦ им. М.В.Хруничева - компания "Хруничев Телеком". Для предоставления и реализации услуг системы Iridium на территории России и стран СНГ создана операторская компания "Иридиум Евразия".

Основными производителями оборудования для проекта Iridium являются: Motorola, Lockheed Martin, Mc Donnell Douglas, Siemens, ГКНПЦ им. М.В.Хруничева, Telespazio, Telesat Canada, Scientific Atlanta.

Вывод спутников на орбиту обеспечивают корпорация McDonnell Douglas (РН Delta-2), ГКНПЦ им. М.В. Хруничева (РН "Протон") и китайская компания "Великая стена" (РН Long March 2C).

#### 2.1.1. ВИДЫ УСЛУГ

Система Iridium предоставляет абонентам следующие виды услуг:

- **Речевая связь.** В речевом кодере используется алгоритм с линейным предсказанием VSELP (vector-sum excited linear prediction). Скорость передачи речи 2,4 кбит/с.

В линии связи речь передается дискретными блоками. Каждый передаваемый блок защищен от ошибок с помощью помехоустойчивого кода с прямым исправлением ошибок (FEC). Средняя оценка качества составляет 3,2 (оценка MOS).

Продолжительность переговоров 30 с (без прерывания связи) будет обеспечиваться с вероятностью 98%. Время установления связи аналогично времени установления связи между абонентами наземной сотовой связи и не превышает 2 с. Максимальная задержка сигнала при международной связи - 410 мс для 90% вызовов, для местной и зоновой связи - в среднем 240 мс.

- **Передача данных.** Осуществляется прозрачная передача данных с переменной длиной сообщения и скоростью передачи 2,4 кбит/с с вероятностью ошибки в радиоканале не хуже  $10^{-6}$ . Предусматривается также возможность передачи коротких сообщений, определяющих местоположение и статус абонента.

- **Факсимильные сообщения.** Обмен факсимильными сообщениями осуществляется со скоростью 2,4 кбит/с с использованием факсимильных аппаратов группы 3. Терминал способен принимать и хранить в памяти факсимильные сообщения, которые абонент может просмотреть, прокручивая телеграмму на экране дисплея.

Факсимильное сообщение посылается вызывающей стороной на номер факса абонента системы Iridium и хранится в его "почтовом ящике". Далее на пейджер или телефон абонента поступает сообщение о полученном на его имя факса, после чего оно может быть переадресовано на факсимильный аппарат или по сети Iridium на компьютер, соединенный с телефонным аппаратом Iridium. Персональные абоненты системы Iridium получают специальный номер для услуг факсимильной связи и SIM-карту Iridium.

- **Персональный вызов.** Сигналы персонального вызова могут приниматься как с помощью специальных приемников (пейджеров), так и портативных радиотелефонных терминалов. Объем передаваемых буквенно-цифровых сообщений составляет 200 знаков и 20 знаков цифрового сообщения в тоновом режиме. При передаче пейджинговых сообщений абонент указывает до 10 зон, где он может находиться, и в эти зоны будут передаваться сообщения. Используя телефон с тоновым набором, или, позвонив на доступный номер "домашней" станции сопряжения, абонент может изменить область доставки сообщения. В канале персонального радиовызова предусмотрен энергетический запас, который, по утверждению фирмы Motorola, составит 35 дБ.

- **Определение местоположения.** Определение координат пользователей предполагается осуществлять без специальной радионавигационной аппаратуры. Для этих целей используется метод РОСА (Point of closest approach). В основе его лежит измерение разности между реальным и ожидаемым временем прихода сигналов. Учет этих параметров и эфемерид орбит спутника позволяет произвести оценку расстояния и времени. Далее с помощью итеративной процедуры решается система дифференциальных уравнений и находится псевдодальность.

При однократной процедуре измерения точность определения местоположения не превышает 1,6 км, однако при более длительном измерении точность может быть улучшена. В тех случаях, когда необходима более высокая точность определения местоположения (порядка 100 м), необходимо использовать абонентскую станцию с встроенным GPS приемником.

## 2.1.2. СОСТАВ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

В состав системы Iridium входят пять сегментов: космический сегмент, наземный сегмент управления системой; сегмент станций сопряжения, пользовательский сегмент и средства вывода спутников на орбиту. Структура системы Iridium приведена на рис. 2.1.

Наземная инфраструктура управления системой включает основной и резервный центры управления, а также земные станции, предназначенные для передачи команд и телеметрической информации. Средства центра управления обеспечивают контроль функционирования каждого КА и всей системы Iridium в целом. Управление системой осуществляется двумя территориально разнесенными центрами управления, располагаемыми на территории США. Основной центр управления (Чендлер, шт. Аризона) осуществляет анализ работоспособности элементов системы и контроль за работой всех КА, входящих в орбитальную группировку.

В наземный сегмент входит также система управления и контроля сети Iridium (Master Control Facility - MCF), которая обеспечивает глобальное администрирование сети, включая планирование запусков, отслеживание работоспособности КА, сбор и анализ телеметрической информации с КА. Первая станция MCF будет расположена на севере штата Вирджиния (США), а вторая (резервная) - в Риме (Италия).

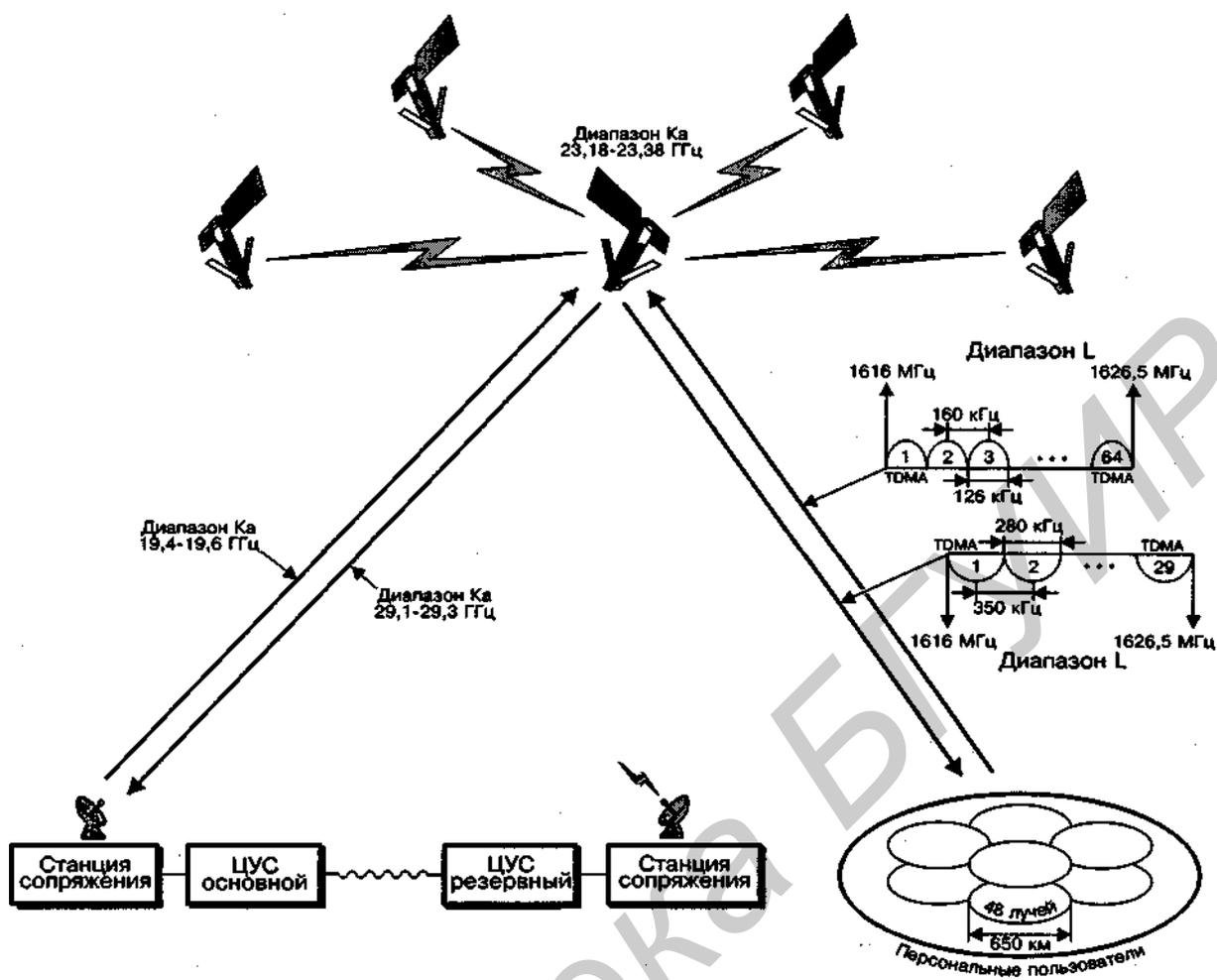


Рис. 2.1. Структура системы Iridium

Наличие межспутниковых линий в Iridium не требует большого числа станций сопряжения (СС). На первом этапе планируется развертывание до 20 СС, в том числе по две в США и России.

### Космический сегмент

Орбитальная группировка системы Iridium состоит из 66 основных КА, выведенных на орбиту высотой 780 км над поверхностью Земли, и 6 резервных КА (высота орбиты около 645 км). Спутники на основной орбите распределены в 6 равноудаленных друг от друга орбитальных плоскостях по 11 КА в каждой плоскости. Угловой разнос между КА в одной плоскости составляет примерно  $32,7^\circ$ . Соседние орбитальные плоскости разнесены примерно на  $31,6^\circ$ , а разнос между 1-ой и 6-ой плоскостями составляет  $22,1^\circ$ . Вид орбиты - квазиполярная круговая с наклоном  $86,4^\circ$ . Период обращения - 100 мин 28 сек.

Каждый КА будет формировать зону обслуживания диаметром 4700 км и площадью около 19 млн. км<sup>2</sup>. Зоны обслуживания спутников будут разделены на сотовые ячейки - до 48 на один КА.

Конфигурация орбитальной группировки выбрана управляемой, что позволяет наиболее эффективно осуществить глобальное обслуживание абонентов. Система с заданной конфигурацией обеспечит 100% охват поверхности Земли в течение 99,5% времени.

Между КА организуется межспутниковая связь. Любой спутник может одновременно связаться с четырьмя другими спутниками:

- двумя спутниками, расположенными спереди и сзади в той же орбитальной плоскости;
- двумя спутниками, расположенными слева и справа в соседних орбитальных плоскостях.

## **Космический аппарат**

В состав КА входят радиоэлектронное оборудование, центральный процессор, система ориентации и стабилизации, двигательная установка и система энергоснабжения. Масса КА - 690 кг. Расчетный срок службы - 5 лет.

В КА используется трехосная стабилизация на основе автономной навигационной подсистемы MANS с встроенными датчиками астроориентирования фирмы Barns Engineering. Подсистема MANS периодически с шагом 0,25 мс выдает данные с точностью  $\pm 0,25^\circ$  по пространственному положению и  $\pm 20$  км - по местоположению.

Выходная мощность панелей солнечных батарей равна 1430 Вт. Напряжение первичного электропитания СЭП составляет 22-36 В. Мощность потребления оборудования L диапазона 230 Вт. В качестве буферного источника питания используется 22-элементная никель-водородная аккумуляторная батарея емкостью 48 А/ч. Она обеспечивает автоматическое поддержание напряжения питания до выхода КА из зоны тени.

На КА установлены три группы антенн:

- шесть фазированных антенных решеток, формирующих 48 парциальных лучей на прием и передачу в диапазоне 1616-1626,5 МГц;
- четыре антенны для организации связи со станциями сопряжения в диапазоне 19,4-19,6 ГГц и 29,1-29,3 ГГц;
- четыре волноводно-щелевые антенны для межспутниковой связи в диапазоне 23,18-23,38 ГГц.

Диаграммы направленности АФАР задаются программным способом, что позволяет независимо изменять параметры каждого луча. Это позволяет избежать перекрытия зон от смежных КА, особенно при их смещении к полюсу.

Вид поляризации: правая круговая в фидерной и абонентской линиях и вертикальная - в межспутниковых линиях.

## **Многостанционный доступ**

На КА использована 48-лучевая антенная система, состоящая из 6 активных фазированных антенных решеток (АФАР), каждая из которых формирует 8 лучей. Один луч высвечивает на поверхности Земли зону обслуживания диаметром порядка 600 км. В совокупности 48 лучей формируют квазисплошную подспутниковую зону диаметром более 4000 км.

В системе Iridium используется комбинация методов частотного и временного методов многостанционного доступа FDMA/TDMA. Для разделения смежных лучей используют различные частоты (метод FDMA). В каждой парциальной зоне (соте) формат многостанционного доступа - TDMA. Каждая 8-лучевая структура обеспечивает возможность многократного использования частот.

Связь по радиолинии "Абонент-КА" осуществляется по 64 каналам (из них 9 каналов сигнализации). Разнос между каналами равен 160 кГц, полоса частот каждого канала - 126 кГц. В радиолинии "КА-Абонент" организовано 29 каналов (4 - для сигнализации) с разнесом 350 кГц и полосой частот каждого канала - 280 кГц.

Кадры TDMA для радиолиний "Абонент-КА" и "КА-Абонент" идентичны по структуре, но отличаются по скорости передачи. Скорость передачи информации в линии "Абонент-КА" составляет 180 кбит/с, а линии "КА-Абонент" - 400 кбит/с. Метод модуляции - QPSK со сглаживанием фазы по закону приподнятого косинуса.

Каждый абонент работает в пакетном режиме, используется метод передачи "один пакет на несущую". Кадр TDMA состоит из 8 временных окон (сегментов). Длительность кадра равна 90 мс. Время передачи пакета составляет 8,28 мс.

Для устранения внутрисистемных помех предусматривается защитный временной интервал длительностью 22,48 мс. Такой защитный интервал уменьшает эффективность TDMA до 73%.

Передача осуществляется в выделенном временном окне. Доплеровский сдвиг частоты корректируется в каждой индивидуальной линии связи.

Одним из ключевых аспектов в системе Iridium является механизм перехода абонента из луча в луч (из одной соты в другую), а также с одного КА на другой. При максимальном времени пребывания абонента в зоне радиовидимости одного КА порядка 8-10 мин и при 48 лучах на каждом КА, интенсивность переходов может составить до одного раза в минуту. Учитывая то, что в соседних лучах используются разные рабочие частоты, процедура перехода в новую зону (соту) должна повлечь за собой и смену рабочей частоты абонентского термина-

ла, т.е. в системе применяется достаточно сложный алгоритм переключения рабочих частот наземных терминалов.

### 2.1.3. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОЛИНИЙ

В системе Iridium организуются абонентские, фидерные и межспутниковые линии связи, а также каналы для обмена командно-телеметрической информацией.

#### Абонентские радиолинии

Для связи с подвижными абонентами в Iridium выделен L-диапазон (1610-1626,5 МГц). Учитывая тот факт, что в полосе частот от 1610 до 1616 МГц работает на первичной основе российская система "Глонасс" (24 спутника, каждый из которых имеет отдельную несущую с разносом 562,5 кГц), а полоса 1610,5-1613,5 МГц выделена для радиоастрономических служб, то указанные участки спектра исключены. Исходя из этого, в системе Iridium выбран диапазон частот 1616-1626,5 МГц. Однако и в оставшейся части диапазона служба Iridium вынуждена работать на вторичной основе. Это означает, что она не должна создавать помех для служб с первым приоритетом, частоты которым уже присвоены или могут быть присвоены в ближайшее время.

В абонентской станции используется антенна типа четырехзаходная спираль с коэффициентом усиления 1-3 дБи. Антенна обеспечивает прием радиосигналов в секторе углов 360° по азимуту и от 10° до 90° по углу места. Максимальная ЭИИМ абонентской станции равна 5,9-8,8 дБВт. Добротность приемника G/T лежит в пределах от -23,8 до -21,8 дБ/К (шумовая температура 553 °К). Пороговое отношение сигнал-шум равно 3,1 дБ при вероятности ошибки  $10^{-2}$ .

Абонентская радиолиния работает в дуплексном режиме. Метод модуляции - QPSK. Передача информации обеспечивается со скоростью 2,4 кбит/с. В терминале используется сверточное кодирование ( $r = 3/4$ ,  $k = 7$ ) и перемежение символов. Синхронизация для кадра TDMA на передачу выделяется из принимаемого сигнала со спутника. В терминале производится компенсация доплеровского сдвига путем изменения частоты в линии связи "Земля-спутник". Изменение расстояния до КА компенсируется путем смещения времени начала передачи, так чтобы сигнал приходил на спутник в строго синхронизированный момент времени. Кроме того, устраняется уход доплеровской частоты путем автоматической регулировки частоты передачи в радиолинии. Основные характеристики абонентских, фидерных и межспутниковых линий приведены в табл. 2.1.

**Таблица 2.1.** Основные характеристики абонентских, фидерных и межспутниковых линий системы Iridium

Тип линии	Абонентская линия		Фидерная линия		МСЛ
	"вверх"	"вниз"	"вверх"	"вниз"	
Направление связи	"вверх"	"вниз"	"вверх"	"вниз"	КА-КА
Диапазон частот, ГГц	1,616-1,6255	1616-1625,5	29,1-29,3	19,4-19,6	23,18-23,38
Число каналов	64(9)	29(4)	6	6	8
Скорость передачи в линии, кбит/с	180	400	12500		25000
ЭИИМ, дБВт	8,45	24,5	68	14,5-27,5	37,9
G/T, дБ/К	-4,4	-23,8	-1,0	-24,5	от -5,3 до -7,0

#### Фидерные линии

Связь по фидерной линии между КА и станцией сопряжения (СС) предполагается осуществлять в Ка диапазоне частот. Каждый КА Iridium обеспечивает возможность работы в дуплексном режиме одновременно по двум линиям связи (с двумя СС или станциями управления КА), в каждой из которых передача может осуществляться по 6 каналам. Скорость передачи информации в фидерной линии - 12,5 Мбит/с. Разнос между каналами равен 15 МГц. В фидерной линии используется помехоустойчивое кодирование, что обеспечивает вероятность ошибки на бит не хуже  $10^{-6}$ .

На спутнике применены антенны типа АФАР. Коэффициент усиления в максимуме диаграммы направленности составляет 18 дБи в линии "СС-КА" и 21,5 дБи в линии "КА-СС". Шумовая температура приемных устройств фидерной линии равна 1454°К.

Для обеспечения устойчивой работы фидерных линий во время дождя или выпадания других атмосферных осадков предусмотрен энергетический запас, который составляет: 13 дБ в линии "КА-СС" и 26 дБ - в линии "СС-КА".

Пропускная способность линии "КА-СС" составляет 1300 дуплексных каналов. В фидерной линии, аналогично как и в межспутниковой линии, используется метод статистического уплотнения каналов (DSI) с коэффициентом сжатия 2,2.

#### **Межспутниковые линии.**

Межспутниковая связь в Iridium организуется в  $K_a$  диапазоне частот (23,18-23,38 ГГц). План частот предусматривает размещение в полосе 200 МГц 8-ми отдельных частотных полос для исключения взаимных помех между каналами. Скорость передачи информации в линии связи "КА-КА" составляет 25 Мбит/с. Разнос между частотными каналами - 25 МГц. В канале межспутниковой связи используется код с прямым исправлением ошибок (1/2 FEC код). Вероятность ошибки на бит не хуже  $10^{-6}$ .

В МСЛ используется волноводная щелевая антенная решетка с механическим сканированием в азимутальной плоскости. Ширина диаграммы направленности в угломестной плоскости равна  $5^\circ$ . Коэффициент усиления антенны равен 36 дБи.

Пропускная способность каждой из четырех межспутниковых линий - 600 каналов. Учитывая, что в ретрансляторе используется метод DSI с коэффициентом сжатия 2,2, максимальное число каналов, передаваемых одновременно по межспутниковой линии, равно 1300.

#### **Командно-телеметрическая радиолиния**

Командно-телеметрическая линия (КТЛ) обеспечивает передачу на спутник команд управления КА и приема телеметрической информации, необходимой для контроля состояния и режимов работы бортовых систем.

КТЛ работает в двух режимах: штатном и нештатном режиме полете КА. Связь в обоих режимах осуществляется в  $K_a$  диапазоне частот. В штатном режиме используется метод четырехкратной фазовой манипуляции QPSK и обеспечивается высокоскоростной обмен информацией с КА.

Нештатный режим предназначен для управления КА на начальном участке его выведения на орбиту, а также в случае отказа системы стабилизации КА или других нештатных ситуациях, приводящих к невозможности использования связных линий.

Для уменьшения влияния быстрого изменения фазы сигнала (за счет вращения или "кувыркания" КА в случае нарушения его стабилизации) применяется метод частотной манипуляции с некогерентной обработкой на приеме.

Относительно большой энергетический запас в командно-телеметрической линии необходим для обеспечения устойчивой работы радиолинии в условиях энергетических потерь, обусловленных изрезанностью диаграммы направленности бортовой антенны. Передача команд и прием телеметрической информации осуществляется на скорости 1 кбит/с при использовании на КА ненаправленной антенны с квазикруговой диаграммой направленности. Основные характеристики командной и телеметрической линий приведены в табл. 2.2.

**Таблица 2.2.** Основные характеристики командной и телеметрической линий

Тип линии	Командная линия		Телеметрическая линия	
	Штатный	Нештатный	Штатный	Нештатный
Режим работы	Штатный	Нештатный	Штатный	Нештатный
Диапазон частот, ГГц	29,1-29,3		19,4-19,6	
Поляризация	Круговая правосторонняя	Линейная	Круговая правосторонняя	Линейная
Скорость передачи в линии, кбит/с	12500	1	12500-25000	1
Вид модуляции	QPSK	FSK	QPSK	FSK
ЭИИМ, дБВт	51,4	51,4-77,4	14,5-27,5	9,5

## 2.1.4. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ И ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМЫ

В системе Iridium предполагается использовать несколько типов каналов.

1. Информационный канал, который предназначен для дуплексной телефонной связи, передачи данных и факсимильных сообщений. Максимально допустимая вероятность ошибки при сквозной передаче речи не хуже  $10^{-2}$ . Ожидается, что реально достоверность передачи информации будет находиться в пределах от  $10^{-3}$ -до  $10^{-4}$ .

2. Циркулярный канал (broadcast channel), предназначенный для передачи с КА на терминалы служебных и синхронизирующих сигналов, в том числе номеров свободных каналов в каждой зоне обслуживания КА и др.

3. Несколько видов служебных каналов: от абонента к КА (acquisition channel), от КА к абоненту (ringing channel и paging channel).

### Организация связи

Связь между абонентами в сети Iridium осуществляется через станции сопряжения. Первоначально пользователь регистрируется в одной из СС, расположенной в ближайшем географическом регионе. База данных с указанием местоположения всех абонентов системы Iridium хранится на каждой СС, а обобщенная база данных - в центре управления сетью.

Если в регионе отсутствует наземная сотовая система радиотелефонной связи, то радиотелефонный терминал Iridium напрямую связывается с ближайшим КА, а далее - с нужным абонентом или другой СС. Вследствие того, что в Iridium имеются межспутниковые линии, то нет необходимости, чтобы СС находилась одновременно в зоне радиовидимости нескольких КА.

Радиотелефонный терминал обеспечивает работу в двух режимах: режиме сети Iridium и в режиме сотовой сети одного из стандартов (GSM, AMPS и др.). Первоначально абонент делает попытку установить связь через наземную сотовую сеть. Если его попытка неудачна, то тогда он входит в связь через спутниковую сеть.

Приняв вызов абонента, станция сопряжения прежде всего определяет, принадлежит ли данный абонент системе Iridium. Если да, то тогда местоположение вызываемого абонента находится с помощью собственной базы данных. После этого задается направление маршрутизации вызова и формируется маршрутный заголовок. Эти данные передаются на КА, где с их помощью выбирается положение коммутатора на спутнике. После окончания переговоров станция сопряжения подготавливает счет к оплате.

### Станции сопряжения

В системе Iridium станции сопряжения предназначены для организации доступа пользователей к системе и обеспечения сопряжения с наземными коммутируемыми телефонными сетями общего пользования. Взаимодействие станции сопряжения с ТФОП в каждой стране или регионе осуществляется с учетом национальной системы нумерации и вида сигнализации (SS №7 и др.). По каналу сигнализации передаются сигналы начала и окончания разговора, тональные посылки вызова, сигналы оповещения и индикации условий разговора.

В настоящее время уже созданы или находятся в стадии завершения 13 станций сопряжения, распределенных по всему миру. Наличие межспутниковых линий в системе Iridium не требует большого числа станций сопряжения. Общее количество станций, необходимость которых выяснится в процессе активной эксплуатации системы Iridium, возможно, возрастет, но не превысит 22-25 станций.

В производстве оборудования для наземных станций сопряжения участвуют компании Siemens (коммутационное оборудование), Scientific Atlanta (антенный комплекс) и др. Предполагается выпуск 4 типов станций сопряжения емкостью: 30, 60, 90 и 120 тыс. абонентов.

На станции сопряжения ведется база данных зарегистрированных абонентов, производится учет поступающих вызовов, времени разговора абонента и других показателей, необходимых для выставления абонентских счетов.

### Абонентские терминалы

В состав системы Iridium входят два основных типа абонентских терминалов: мобильные и портативные. В зависимости от условий эксплуатации они отличаются конструктивным исполнением, например, воздушные, морские и др. Для обозначения абонентских терминалов используется сокращение ISD (Iridium subscriber unit).

Персональные терминалы системы Iridium производятся двумя фирмами - Motorola (США) и Kuosera (Япония). По внешнему виду и размерам эти аппараты мало чем отличаются от существующих моделей сотовых телефонов и по своему назначению они разделяются на два основных типа:

- однорежимные, работающие только в сети Iridium;
- двухрежимные, рассчитанные на обслуживание абонентов региональной сети сотовой связи соответствующего стандарта и обеспечения глобальной спутниковой связи (Iridium/GSM и др.). Защита от несанкционированного доступа организована на уровне не ниже стандарта сотовой связи GSM.

Многофункциональность телефонных аппаратов достигается за счет сменных картриджей, разработанных для каждого стандарта сотовой связи. Установка сменных картриджей в спутниковый телефон Iridium позволяет использовать его в качестве сотового аппарата. Японская фирма Kuosera выпускает многофункциональный телефон, который абонент может использовать для осуществления связи в сотовой сети и спутниковой сети Iridium. Многофункциональный аппарат сделан в виде базовой конструкции, в которую вставляется обыкновенный сотовый телефон.

В состав каждого портативного терминала входит сменный или постоянно устанавливаемый элемент - модуль идентификации абонента (SIM-карта), который содержит индивидуальный номер телефона и другую информацию (данные об абоненте, блокирующие коды и т.д.). Абонент системы Iridium будет иметь единый номер телефона, доступный в любом уголке мира, где разрешено пользоваться услугами системы.

Пейджеры, изготавливаемые теми же компаниями, - алфавитно-цифровые и цифровые. Пейджер системы Motorola имеет 80-разрядный дисплей с электролюминесцентной подсветкой.

Наряду с радиотелефонными аппаратами и пейджерами в системе Iridium предполагается использовать коллективные средства связи: мобильные станции (MXU) и стационарные - таксофоны, в том числе телефонные будки с солнечными батареями. Преимущество последних - использование их в местах, где отсутствует телефонная связь и электроснабжение.

### **Пропускная способность**

Средняя пропускная способность при использовании полосы частот 10,5 МГц составляет 80 каналов на один луч (55 каналов на линии "вверх" и 25 на линии "вниз"). Максимальная пропускная способность на один КА при 48 лучах составит 3840 симплексных каналов. В случае же двусторонней связи между абонентами количество каналов сокращается до 1100.

Глобальная пропускная способность системы Iridium определяется следующим образом. Каждый из 66 КА, используя 48 лучей, формирует на поверхности Земли в каждый момент времени 3168 зон. С учетом того, что одновременно активными могут быть только 70% от числа зон, то общее число активных зон сократится до 2150 зон. Теоретически максимальная пропускная способность составит 172000 дуплексных каналов. Следует отметить, что реальная пропускная способность может оказаться существенно ниже указанной.

Одной из составляющих снижения реальной пропускной способности является практически отсутствие абонентов севернее 80° с.ш. и южнее 55° ю.ш., в результате чего из группировки в 66 КА одновременно могут использоваться не более 46 [1].

## **2.1.5. РЫНКИ УСЛУГ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ**

Сеть Iridium будет охватывать связью земную поверхность и пространство до высоты 180 км, обеспечивая обслуживание авиации. В первые пять лет эксплуатации система сможет обслужить до 1,0 млн. пользователей в режиме телефонной связи и около 0,5 млн. - услугами пейджинга. Предполагается, что около 20% ресурсов системы Iridium будут выделены для государственных структур и военных ведомств США.

### **Российский сегмент системы Iridium**

Институтами Госкомсвязи РФ ЦНИИС, ГИПРОСВЯЗЬ, ГСПИ РТВ разработан системный проект Российского сегмента, определивший основные принципы функционирования системы Iridium в России и ее взаимодействие с ВСС РФ. На территории России на первом этапе планируется разместить две станции сопряжения: одну в Москве на территории ГКНПЦ им М.В.Хруничева с резервным антенным терминалом в г. Королеве Московской обл. и вторую в г. Новосибирске.

Компания избрала стратегию создания в регионах сервис-провайдеров. На сегодняшний день уже приобретает реальные очертания сеть поставщиков этих услуг: заключены договоры и определены сервис-провайдеры в 22-х республиках, краях и областях РФ, определены национальные операторы, поставщики услуг и партнеры по роумингу в Беларуси, Грузии, Казахстане, Литве, Латвии, Молдове, Узбекистане, Эстонии.

### Тарифная стратегия компании Iridium

Первоначальная стоимость проекта Iridium составляла 3,8 млрд. долл. (5,4 млрд. долл. по последним данным). Предполагаемые эксплуатационные расходы в год - 260 млн. долл. Ориентировочная стоимость основных элементов сети Iridium: космического аппарата - 29 млн. долл., наземной станции контроля -132 млн. долл., станции сопряжения -16,5 млн. долл. и абонентских терминалов - 3 тыс. долл.

В системе Iridium разработана система тарифов, которая зависит от типа вызова, местоположения вызывающего и вызываемого абонентов, стоимости услуг сети Iridium, стоимости наземных соединительных линий, стоимости услуг фирм-операторов и поставщиков услуг, которые привлекают абонента в систему. Общая стоимость одной минуты эфирного времени при телефонной связи в Iridium будет составлять от 2 до 7 долл. Структура тарифов в зависимости от типа соединительной линии приведена в табл. 2.3.

**Таблица 2.3.** Структура тарифов в зависимости от типа соединительной линии

Тип соединения	Структура тарифа
Между абонентами системы Iridium (связь по спутниковому каналу)	Зональный тариф + оплата услуг фирмы-оператора
Между абонентом системы Iridium и абонентом национальной ТФОП	Зональный тариф + тариф ТФОП+ оплата услуг фирмы-оператора
Между пользователями услуг системы Iridium (абоненты зарегистрированы в сотовых сетях)	Зональный тариф + плата за роуминг + оплата услуг фирмы-оператора
Между абонентом системы Iridium и абонентом национальной ТФОП (оба абонента зарегистрированы в сотовых сетях)	Зональный тариф + плата за роуминг + оплата услуг фирмы-оператора
Между абонентом национальной ТФОП и абонентом системы Iridium	Для абонента Iridium - бесплатно Для абонента ТФОП: тариф ТФОП + фиксированная плата
Глобальный роуминг (межпротокольный)	плата за роуминг + оплата услуг фирмы-оператора

В случае, если абонент использует услуги пейджинговой связи системы Iridium, то тарифы зависят от того, где зарегистрирован абонент:

- 25 долл., если абонент пользуется услугами телефонной связи и пейджинга (зарегистрирован в сети Iridium);
- 50 долл., если абонент пользуется услугами телефонной связи и пейджинга (зарегистрирован в сотовой сети);
- 100 долл. + оплата услуг фирмы-оператора, если абонент пользуется услугами только пейджинговой связи.

## 2.2. СИСТЕМА GLOBALSTAR

Целевая задача разработки проекта Globalstar определена в начале 90-х годов компаниями Loral Space & Communications (Нью-Йорк) и Qualcomm Inc. (Сан-Диего, шт. Калифорния). Разработку проекта осуществляет компания Globalstar Ltd, Сан-Хосе, шт. Калифорния. Для работ по проекту Globalstar действует международный консорциум, взаимодействующий с операторами более чем в ста странах.

Стратегическими инвесторами и партнерами Globalstar являются более 12 компаний, в том числе Alcatel Espace (Франция), Finmecanica (Италия), DASA (Deutsche Aerospace AG/Daimler-Benz AG, Германия).

Идеология построения системы Globalstar состоит в использовании методов сотовой связи при выносе в космическое пространство ретрансляторов базовых станций. При разработке этой системы в основном использовался опыт создания сотовых систем связи с кодовым разделением каналов (CDMA) фирмы Qualcomm.

## 2.2.1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

### Виды услуг

Система Globalstar предназначена для передачи речи и данных, организации пейджинговой связи, определения местонахождения подвижных объектов, передачи коротких сообщений и экстренных вызовов. Перечень услуг, предусмотренных в системе Globalstar, в целом аналогичен услугам системы Iridium (см. раздел 2.1.1) и в настоящем разделе не приводится.

Для передачи речи используется вокодер с линейным предсказанием (CELP) и переменной скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с. Средняя скорость для предложенного алгоритма приблизительно равна 2,4 кбит/с. Обработка речевого сигнала включает в себя подавление шумов в паузах. При этом качество восстановленной речи оценивается в 3,5 балла (по методике MOS). Вокодеры, входящие в состав станций сопряжения системы Globalstar, включают в себя эхоподавители для сопряжения с двухпроводными линиями.

Данные передаются со скоростью от 2,4 до 9,6 кбит/с. Вероятность ошибки в канале передачи данных не более  $10^{-6}$ . Предусматривается предоставление пользователям ряда дополнительных услуг, таких как телефакс, передача факсимильных сообщений с расширенными возможностями (с высокой разрешающей способностью и коррекцией ошибок). Указанные услуги реализуются в различных модификациях терминалов и будут предоставляться по мере роста числа пользователей системы.

Местоопределение объектов производится с точностью, которая зависит от нескольких факторов: числа одновременно "видимых" КА, точности определения координат КА, взаимного расположения пользователя, КА и станции сопряжения, стабильности абонентского эталона частоты. В Globalstar планируются два метода определения местоположения, производимые по сигналам собственных спутников: метод запроса станции сопряжения и пассивный метод.

Метод определения координат на станции сопряжения может быть реализован, если существует возможность установления соединения через два КА одновременно. Оценивая разность прихода во времени одного и того же сигнала, передаваемого терминалом по двум различным путям, можно вычислить координаты пользователя.

Вместе с тем, если пользователю и СС виден только один спутник, то на СС имеется возможность запросного измерения дальности и накопления полученных значений по мере перемещения КА по орбите. На основании такой последовательной выборки возможна оценка координат абонента. В случае установления соединения через один спутник СС может определить местоположение абонента с точностью не ниже 10 км в зависимости от взаимного расположения КА, терминала и самой станции сопряжения.

Если же абоненту видны два КА, угол между направлениями на которые не менее  $22^\circ$ , и СС одновременно видны эти же спутники, точность определения местоположения существенно улучшается. Так, с вероятностью 0,95 менее чем за 10 с можно определить местоположение с точностью порядка 300 м.

Пассивный метод может быть использован, если "текущее созвездие" Globalstar состоит из двух или одного КА. В случае одновременного наблюдения двух КА, терминал производит оценку разности времен прихода псевдошумовых сигналов в пилот-каналах, а также величин доплеровского смещения. Затем, на основании эфемерид, полученных по синхроканалам, производится определение координат. Если же виден только один КА, терминал осуществляет прием сигналов пилот-канала спутника и по мере прохождения им орбиты накапливает последовательность оценок доплеровского смещения. Затем, на основании эфемерид, вычисляются координаты.

### Космический сегмент

Система спутниковой связи "Globalstar" структурно разделена на три основных сегмента - космический, наземный и пользовательский.

Орбитальная группировка системы Globalstar включает в себя 48 основных и 8 резервных КА. Спутники расположены в 8 орбитальных плоскостях по 6 КА в каждой. КА выводятся на круговые орбиты высотой 1414 км с наклоном к экватору  $52^\circ$ . Период обращения на этих орбитах равен 114 мин. Фазовый сдвиг между КА в соседних орбитальных плоскостях составляет  $7,5^\circ$ . Такая структура космического сегмента обеспечивает одновременное на-

блюдение на средних широтах - основном регионе обслуживания - не менее 2 КА. По этому показателю система Globalstar существенно отличается от конкурирующей системы Iridium, где структура космического сегмента основана на односпутниковом покрытии территории.

Система Globalstar рассчитана на обслуживание территорий в средних широтах (в пределах от 70° с.ш. до 70° ю.ш.). В этой области обеспечивается практически постоянное *двукратное* покрытие земной поверхности.

### Наземный сегмент управления

В состав наземной сети управления Globalstar входят две основные подсистемы: центр управления наземной сетью GOCC (Ground Operations Control Center) и центр управления и контроля орбитальной группировкой SOCC (Satellite Operations Control Center). Обе подсистемы связаны между собой с помощью сети Globalstar Data Network, к которой подключены и наземные станции сопряжения. Взаимодействие различных элементов системы "Globalstar" иллюстрируется на рис. 2.2.

Центр управления и контроля орбитальной группировкой SOCC совместно с командно-телеметрическими станциями (TT&C station) производит контроль орбит, обработку телеметрической информации и формирование команд. Кроме того, SOCC отслеживает текущее состояние КА и информирует центр управления сетью о доступных КА, их ресурсах и эфемеридах.

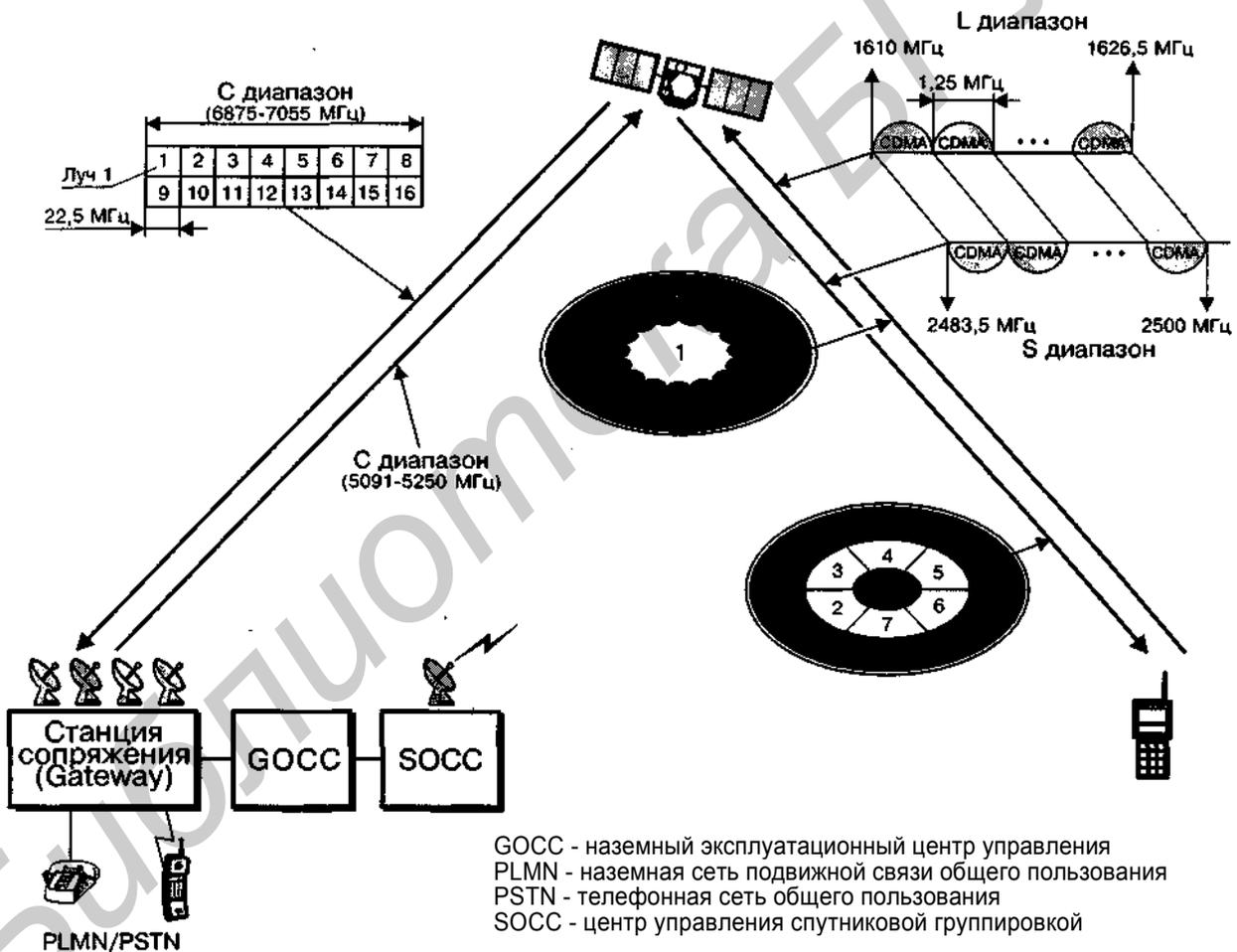


Рис. 2.2. Структура системы Globalstar

В задачи центра управления сетью GOCC входит планирование трафика, выделение и закрепление сетевых ресурсов, а также слежение за функционированием системы. Центр SOCC не имеет собственного радиотехнического оборудования. По наземной линии связи он постоянно подключен к одной из СС. Эта станция сопряжения, в отличие от остальных, долж-

на быть доукомплектована аппаратурой для приема телеметрии с борта КА и передачи команд управления.

Центр управления SOCC размещен в Сан-Хосе, шт. Калифорния. Резервный центр управления связью - в Эльдorado, шт. Калифорния.

### 2.2.2. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ

Спутники в системе Globalstar выполнены без обработки информации (bent-pipe) и межспутниковых линий связи. Связь между абонентами организуется в следующих диапазонах частот (см. табл. 2.4).

Таблица 2.4. Диапазоны частот абонентских и фидерных линий

Наименование линии	Абонентская линия	Фидерная линия
Направление связи "Земля-спутник"	1610-1626,5 МГц	5091-5250 МГц
Направление связи "спутник-Земля"	2483,5-2500 МГц	6875-7055 МГц

Бортовой комплекс L/S диапазона содержит приемные и передающие активные фазированные антенные решетки (АФАР). Всего формируется 16 лучей. Усиление и форма лучей подобраны так, чтобы у поверхности Земли формировалась многосотовая зона покрытия. Коэффициент усиления в периферийных лучах выше, чем в первом, что необходимо для создания равномерной плотности потока мощности.

Антенны L и S диапазона - печатные, многоэлементные. Приемная АФАР (L диапазон) состоит из 61 элемента. Шумовая температура приемника в каждом луче составляет 460 К. Добротность G/T равна -10 дБ/К.

Передающая АФАР (S диапазон) возбуждается 91-элементным усилителем. Мощность каждого элемента - 4 Вт. Общая выходная мощность спутника достигает почти 400 Вт и может плавно перераспределяться между лучами. Средняя ЭИИМ в пересчете на один канал 2,4 кбит/с равна минус 2,9 дБВт.

Антенна фидерной линии, работающая в S диапазоне, имеет два луча с различной поляризацией. Коэффициент усиления антенны составляет 1 дБ на передачу и 3,6 дБ на прием. ЭИИМ ретранслятора для фидерной линии в пересчете на один канал 2,4 кбит/с равен -26 дБВт. Общая пропускная способность ретранслятора на один КА - 2400 эквивалентных телефонных канала.

Масса каждого КА - 450 кг, максимальная мощность солнечных батарей - 1100 Вт. Планируемый срок активного существования - 7,5 лет. На спутниках устанавливается трехосная система стабилизации. Точность удержания аппарата на орбитальной позиции составляет не хуже  $\pm 1^\circ$  вдоль орбиты и  $\pm 1^\circ$  в сторону от орбиты.

Основными компаниями-операторами, обеспечивающими запуск КА Globalstar на этапах формирования орбитальной группировки и последующей замены КА в ходе эксплуатации системы являются: Boeing (США), PH Delta-2 (по 4 КА за запуск); НПО "Южное" (Украина), PH "Зенит" (по 12 КА за запуск); Starsem (Франция), PH "Союз" (по 4 КА за запуск).

### 2.2.3. ОРГАНИЗАЦИЯ МНОГОСТАНЦИОННОГО ДОСТУПА

В системе Globalstar используются шумоподобные сигналы (ШПС) и комбинация методов многостанционного доступа с кодовым (CDMA) и частотным разделением каналов (FDMA). Это позволяет решить ряд проблем и, в первую очередь, проблему многократного использования частот и повышения пропускной способности. В отличие от узкополосных сигналов, предъявляющих жесткие требования к уровню развязки между лучами многолучевой антенны, ШПС сигналы позволяют существенно снизить требования к развязке между лучами. В результате можно использовать одни и те же частоты в разных лучах. Одновременно могут быть снижены требования к электромагнитной совместимости с другими системами, работающими в том же диапазоне частот на первичной основе. Другое преимущество ШПС сигналов состоит в возможности борьбы с помехами в виде отраженных сигналов путем их сложения с основным сигналом в многоканальном приемнике Globalstar. Приемник также позволяет принимать и обрабатывать разнесенные сигналы от разных лучей одного или нескольких КА.

Суммарная ширина полосы частот, отведенная для связи, равна 16,5 МГц. В этой полосе размещаются 13 частотных каналов. Ширина полосы каждого канала равна 1,25 МГц.

Внутри каждого из частотных каналов разделение производится по форме сигналов, т.е. по номеру последовательности Уолша. Всего для связи используется 127 CDMA-каналов (последовательностей Уолша). В линии "спутник-Земля" организуются следующие виды каналов: 1 канал для передачи пилот-сигнала (ПС), один канал для синхросигнала, 7 каналов используются для организации персонального вызова, а оставшиеся 118 каналов предназначены для информационного обмена. В направлении от абонента на станцию сопряжения организуется также 127 каналов, из которых 72 используются для сигнализации (так называемые каналы доступа) и 55 - для передачи полезной информации.

#### **Каналы, используемые для передачи данных от станции сопряжения:**

**Канал пилот-сигнала.** По каналу передается последовательность типа "все нули". Последовательность имеет длину, равную  $(2^{17}-1)$ . Вид модуляции - QPSK. Скорость передачи - 1,2 Мбит/с. Эта последовательность предназначена для контроля уровня сигнала в радиоканале. Все СС используют один и тот же короткий код, но с различным сдвигом относительно единой шкалы времени. Сдвиг кода однозначно идентифицирует станцию сопряжения, спутник и луч.

**Синхроканал.** По каналу синхронизации передается поток данных со скоростью 1200 бит/с. В нем содержится следующая информация: текущее время, код идентификации СС, эфемериды КА, расписание каналов пейджинга. Для защиты от ошибок используется помехоустойчивое кодирование ( $\gamma = 1/3$ ), а для борьбы с замираниями - поблочное перемежение символов. Скорость синхросигнала после кодирования равна 4,8 кбит/с. Перед излучением этот поток складывается по модулю 2 со 128-символьной последовательностью Уолша.

**Канал персонального вызова.** По каналу передается технологическая информация, необходимая для установления соединения (частота, код идентификации пользователя, номер вызываемого абонента). Скорость передачи зависит от режима работы и может изменяться в пределах от 2,4 кбит/с до 9,6 кбит/с. В канале используется сверточное кодирование ( $\gamma = 1/2$ ,  $k = 9$ ) и поблочное перемежение символов. Выходной сигнал подвергается суммированию по модулю 2 с псевдослучайной последовательностью длиной  $(2^{42}-1)$  бит.

**Прямой информационный канал.** Канал предназначен для передачи информационных сообщений абонентам сети Globalstar. В канале используется тот же алгоритм перекодирования информационных потоков со скоростью 2,4...9,6 кбит/с в выходной поток 19,2 кбит/с. Все абоненты системы используют одну и ту же последовательность, но с различным (уникальным для каждого пользователя) временным сдвигом.

#### **Каналы, используемые для передачи данных с абонентского терминала:**

**Канал доступа.** Канал предназначен для передачи запросных пакетов длительностью 60 мс. В канале используется протокол доступа типа синхронная АЛОХА (Slotted ALOHA). Пакет состоит из преамбулы и информационной части запроса. Преамбула представляет собой элемент длиной ПСП. Скорость передачи в канале доступа - 4,8 кбит/с.

**Обратный информационный канал.** По каналу абонент передает сообщения на СС. В канале используется сверточное кодирование ( $\gamma = 1/3$ ,  $k = 9$ ) и поблочное перемежение пакетов символов длительностью 20 мс.

#### **Организация глобального роуминга**

Переход абонента из зоны в зону в системе Globalstar осуществляется плавно без прерывания связи и ухудшения качества приема информации. Это важно, так как позволит решить проблему затенения антенны рельефом местности и повысить надежность связи.

Механизм смены зон обслуживания достаточно простой. В любом из 16 лучей каждого КА передается свой пилот-сигнал. ПС предназначен для оперативного контроля уровня принимаемого сигнала. Как только происходит снижение уровня ПС в данном луче, абонентский терминал автоматически переключается на двухканальный режим работы. В этом режиме обеспечивается одновременный прием сигналов от двух разных лучей или от разных КА. Поясним сказанное на примере.

Так, абонент, работая в  $j$ -ом луче, принимает пилот-сигнал  $ПС_j$  от космического аппарата  $КА_m$ . В приемнике по пилот-сигналу автоматически оценивается текущий уровень сигнала. Одновременно терминал производит последовательный поиск пилот-сигналов других лучей. Для каждого просматриваемого луча определяется разность в уровнях пилот-сигналов, т.е.  $ПС_n - ПС_j \geq \Delta$ , где  $\Delta$  - запас по порогу срабатывания, необходимый для исключения частого переключения лучей. Как только условие  $ПС_n - ПС_j \geq \Delta$  будет выполнено, то сообщение об этом сразу же передается на станцию сопряжения.

Приняв информацию об уровне  $PC_n$  в  $n$ -ом луче, наземная станция, обслуживающая данный регион, передает для абонента радиоданные  $n$ -го луча (номер сдвига ПСП и код канала). После этого обмен информацией между терминалом и СС осуществляется одновременно по двум лучам одного или разных КА. В приемниках абонентского терминала и СС происходит когерентное сложение разнесенных сигналов. Двухканальный режим работы радиолинии происходит до тех пор, пока не поступит команда на отключение  $j$ -ого луча. После этого обмен информацией будет производиться только через  $n$ -ый луч. Таким образом, происходит плавное переключение абонента из одной зоны обслуживания в другую без перерыва связи и ухудшения качества.

#### **2.2.4. СТАНЦИИ СОПРЯЖЕНИЯ И АБОНЕНТСКИЕ ТЕРМИНАЛЫ**

Станции сопряжения в системе Globalstar играют важную роль. Через них осуществляются все соединения с абонентами. Для глобального покрытия основных регионов земной поверхности с учетом национальных границ и минимизации наземного трафика, по оценкам специалистов Globalstar, потребуется построить 150-210 станций сопряжения, в том числе 9 в России. Такая технология позволит обеспечить большую надежность связи, чем использование для маршрутизации межспутниковых каналов связи.

Региональный принцип построения системы привлекает администрации разных стран, позволяя им сделать Globalstar частью своей национальной сети. Учитывая, что основную часть трафика в каждом регионе обычно составляют местные вызовы (более 80%), то это позволит местным телекоммуникационным компаниям получать доход от эксплуатации системы.

Станция сопряжения предназначена для решения следующих задач: организации информационного обмена в обслуживаемом регионе, распределения сетевых ресурсов, подключения абонентов Globalstar к сетям общего пользования. Все вызовы (местные и международные) обрабатываются и коммутруются в СС, причем время установления соединения не будет превышать 5 с, а максимальная задержка сигнала - 150 мс.

В состав СС входят 4 идентичных приемо-передающих комплекта, оснащенных следящими параболическими антеннами, подсистемы формирования и обработки ШПС сигналов, интерфейсного оборудования и автоматизированных рабочих мест операторов, позволяющих производить учет трафика и вычисление местоположения абонента по навигационным данным.

Коэффициент усиления следящей параболической антенны СС диаметром 5,5 м, равен 42,4 дБ. Номинальная ЭИИМ станции в пересчете на один канал составляет 40,3 дБВт. Шумовая температура приемного устройства не превышает 190 К.

##### **Абонентские терминалы**

В системе Globalstar планируется выпуск трех базовых типов терминалов: портативных, мобильных и стационарных.

Стационарные терминалы предназначены для работы только в системе Globalstar. Портативные и мобильные могут функционировать также в сотовой сети одного из стандартов GSM, CDMA, AMPS и PCS. Мощность мобильного АТ не превышает 3 Вт, портативного - 0,6 Вт.

Стационарный терминал имеет 4-х канальный приемник с устройством когерентного сложения разнесенных сигналов. Один из каналов является поисковым, а три остальных - информационные. Одновременный прием и когерентное сложение нескольких сигналов используется для обеспечения мягкого (без прерывания связи) межлучевого перехода, а также для компенсации быстрых замираний. Это происходит как при переключении между лучами одного КА, так и при переходе с заходящего на восходящий КА.

Компания Qualcomm предполагает выпускать портативные и мобильные терминалы трех типов - трехрежимные (Globalstar/AMPS/CDMA), двухрежимные (Globalstar/GSM) и одnoreжимные (Globalstar).

В отличие от одnoreжимных, двух- и трехрежимные терминалы не обеспечивают мягкого переключения радиолинии с базовой станции сотовой сети на КА Globalstar. Если абонент начал телефонный разговор через сотовую сеть, но затем по каким-либо причинам вышел из ее зоны действия, связь будет прервана. Этому абоненту придется вновь запросить соединение, теперь уже в системе Globalstar.

В зависимости от состояния радиолинии, ЭИИМ терминала может изменяться в пределах от -11,9 дБВт до -0,7 дБВт. Шумовая температура приемного устройства не превышает 261 К. Продолжительность работы в режиме передачи составляет примерно 2 ч, в режиме дежурного приема - 15 ч.

Одним из важных параметров терминала является длительность системной синхронизации. Системная синхронизация включает в себя обнаружение текущего "созвездия" Globalstar, оценка параметров временного смещения ПСП в пилот-канале CDMA. Пока не будет получена оценка этих параметров, работа в системе невозможна. Различают холодную и теплую синхронизацию. Первая имеет место при включении питания терминала и длится до 50 с. Вторая - при кратковременной (до 5 с) потере радиовидимости спутников.

В состав терминалов входит устройство автоматической регулировки мощности передатчика, которое позволяет снизить мощность передатчика до 2 мВт. Регулировка уровня мощности осуществляется автономно в каждом CDMA канале. Команда на изменение значения мощности передается со станции сопряжения. Аппаратура СС измеряет уровень принимаемого сигнала от каждого терминала индивидуально, сравнивает его с пороговым и передает команду абоненту на увеличение или уменьшение мощности. Эта процедура позволяет выровнять сигналы на входе ретранслятора, снизить уровень взаимных помех и максимизировать пропускную способность.

### **Пропускная способность**

Пропускная способность КА, определяемая как максимальное число эквивалентных каналов по 2,4 кбит/с в зоне, создаваемой 16-лучевой антенной, по оценке разработчиков системы Globalstar, составляет 2400 каналов. Реальная же пропускная способность будет ниже вследствие работы на более высокой скорости (4,8 кбит/с), а также возможности задействования одного канала в смежном КА при ведении связи с одним наземным абонентом.

В [1] приведены результаты моделирования зоны обслуживания системы Globalstar, согласно которым орбитальное построение системы оптимизировано, в частности, для территории США; в РФ в зону обслуживания не входят северные регионы и трасса северного морского пути.

## **2.2.5. СТОИМОСТЬ УСЛУГ И СРОКИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ**

В системе Globalstar общее количество пользователей к 2002 году должно составить 2,7 млн, из них доля абонентов службы передачи данных и RDSS - 1,3 млн. По мнению разработчиков проекта, к 2012 году система сможет обслужить до 14 млн. пользователей.

На территории России уже строятся 3 станции сопряжения (в Москве, Новосибирске и Хабаровске), которые должны обеспечить охват 98% территории России с гарантированным качеством услуг южнее 70° с.ш. До 2005 г. в России предполагается соорудить 9 станций сопряжения, способных обслуживать 260 тыс. пользователей. Все станции российского сегмента будут объединены в единую наземную сеть, связанную с центром управления Globalstar. Национальным оператором в России является ЗАО "Глобтел", которое основано "АО Ростелеком" и компанией Globalstar Ltd. Коммерческая деятельность на территории РФ по предоставлению услуг связи населению планируется с I кв. 1999 г., планируемый рынок Globalstar в России - 7,5% от мирового.

Общая стоимость проекта Globalstar составляет около 2,6 млрд. долл., хотя реально эта сумма будет выше, т.к. в нее не включены затраты на строительство 150-210 станций сопряжения. Предполагаемые эксплуатационные расходы в год составят 227 млн. долл. В проект уже инвестировано более 80%.

Ориентировочная стоимость основных элементов системы Globalstar: КА - 14 млн. долл., станция сопряжения - 5,5 млн. долл., радиотелефонный терминал - 700-1000 долл., стационарный - не более 2,5 тыс. долл.

Компания Globalstar намерена предлагать услуги по более низким, чем в системе Iridium, расценкам. Разработана специальная тарифная сетка с дифференцированием цен в зависимости от географического региона и уровня сервисных услуг. Тарифная сетка имеет следующие градации: 0,35/ 0,53/ 1/ 3 долл. за 1 мин разговора. В среднем тариф за телефонный разговор составит 1,5-2 долл. в мин.

## **2.3. СИСТЕМА "СИГНАЛ"**

Российская низкоорбитальная система "Сигнал" разрабатывается АО "Международный концерн космической связи" (АО МККС "КОСС"). Финансирование работ осуществляется на коммерческой основе.

Система "Сигнал" предназначена для обслуживания абонентов на территории Европы и континентальной части Азии. Она предоставляет абонентам следующие виды услуг [24]:

- организацию дуплексной речевой связи со скоростью 2,4 кбит/с в диапазонах частот 1,5/1,6 ГГц и 11/14 ГГц;
- передачу данных со скоростью 1,2-2,4 в диапазонах частот 1,5/1,6 ГГц и 11/14 ГГц;
- персональный вызов со скоростью 300 и 600 бит/с в диапазоне частот 0,4 ГГц.

Предусматривается возможность увеличения скорости передачи до 9,6 кбит/с путем объединения нескольких каналов.

### Состав и структура системы

Система "Сигнал" состоит из космического и земного сегментов. В состав земного сегмента входят: центр управления полетом (ЦУП), центр управления связью (ЦУС), баллистико-навигационный центр, сеть стационарных базовых и станций сопряжения, пользовательский сегмент. Структурная схема системы "Сигнал" приведена на рис. 2.3.

В системе "Сигнал" не предусмотрено межспутниковых линий. Связь между любыми АС организуется через КА и наземные базовые станции.

Пропускная способность системы - 1,5 млн. абонентов при средней нагрузке на абонента 0,01 Эрл и отказе в установлении соединения не более, чем в 2% случаев. Среднее время установления соединения - около 30 с.

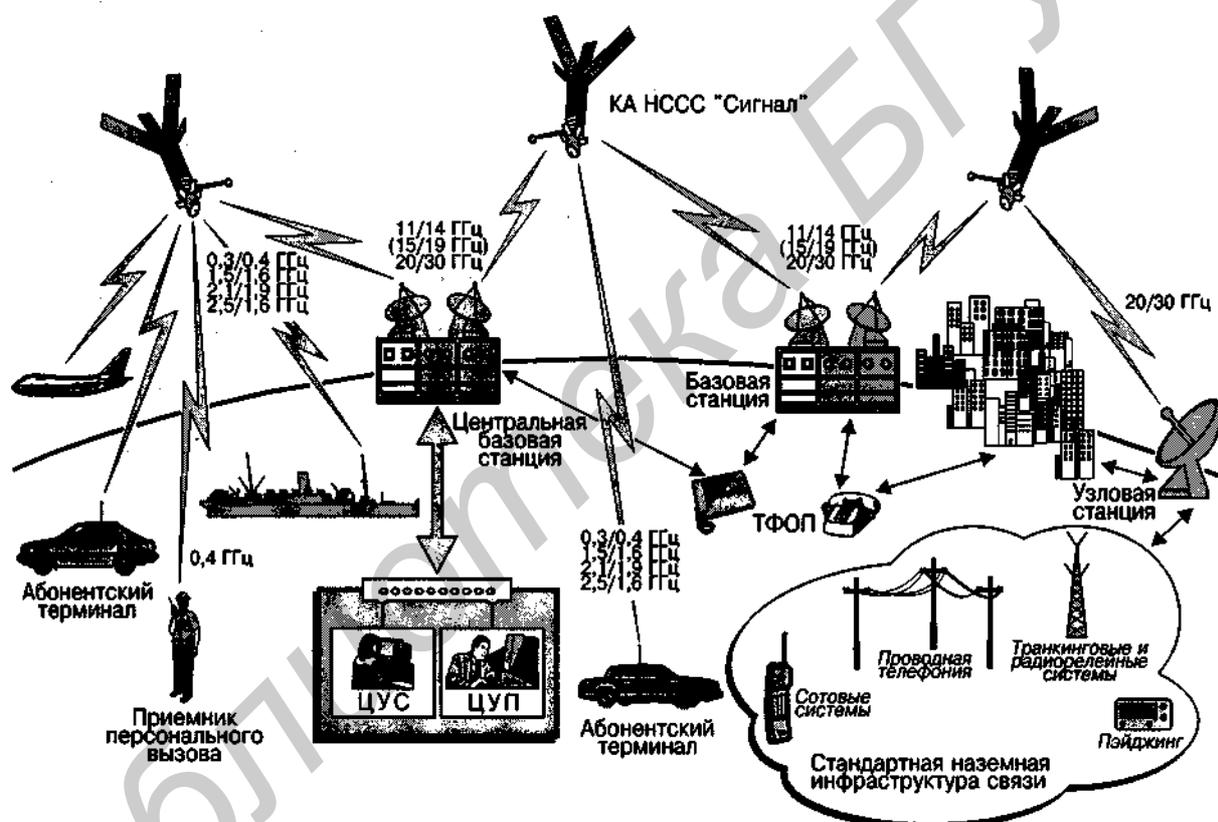


Рис. 2.3. Структура системы "Сигнал"

### Космический сегмент

Космический сегмент системы "Сигнал" включает орбитальную группировку из 48 КА с круговыми орбитами на высоте 1500 км. Наклонение орбиты составляет 74°. Спутники расположены в 4 орбитальных плоскостях по 12 КА в каждой.

Развертывание орбитальной группировки из 48 КА предлагается проводить в следующем порядке. Сначала формируются 2 орбитальные плоскости по 6 КА в каждой, разнесенные по долготе восходящего узла на 180°. Зона покрытия, гарантирующая 100% радиовидимость хотя бы одного КА под углом места более 5°, располагается в диапазоне широт от 84° с.ш. до 64° с.ш. При этом обеспечивается обслуживание почти всей части территории РФ.

Затем формируются еще 2 плоскости, разнесенные по долготе восходящего узла на 180° и развернутые относительно первых двух на 90°. Зона однократного покрытия, гарантирующая 100% радиовидимость хотя бы одного КА под углом места более 5°, будет располагаться от 87,5° с.ш. до 48,6° с.ш.

Переход от орбитальной группировки с 24 КА к полной группировке из 48 КА будет осуществляться путем добавления в каждую из 4-х плоскостей еще по 6 КА. В результате орбитальная группировка будет доведена до 48 КА. При такой ОГ гарантируется однократное покрытие всей заявленной зоны обслуживания (от 90° с.ш. до 30° с.ш.) и 4-кратное покрытие зон от 84° с.ш. до 64° с.ш.

Основные характеристики КА: точность пространственной ориентации -5°, масса КА - 300 кг, мощность, потребляемая полезной нагрузкой, 100 Вт.

Для вывода спутников на орбиту предлагается использовать ракету-носитель "Циклон" (6 КА за запуск) или ракету-носитель "Космос" (2 КА за запуск).

### Базовая станция

Базовая станция (БС) является узлом сети связи "Сигнал". За каждой БС закреплено определенное количество АС, находящихся в ее зоне обслуживания. На базовой станции решаются следующие основные задачи: организация связи в зоне радиовидимости КА в соответствии с имеющимся планом, слежение за спутниками (одновременно до 4-х КА), контроль параметров орбит, обеспечение управления ретрансляторами и служебными системами. Обмен информацией с другими БС осуществляется по магистральным каналам. На БС осуществляется обработка вызовов и маршрутизация, оценка местоположения подвижных АС, анализ электромагнитной обстановки, учет времени занятия каналов связи абонентами и начисление платы за предоставляемые услуги (первичная тарификация).

Для связи между БС предусмотрены специальные магистральные стволы в диапазонах частот 11/14 (15/19) ГГц и 20/30 ГГц. Через базовую станцию осуществляется подключение абонентов к телефонной сети общего пользования.

### Абонентские и станции сопряжения

В системе "Сигнал" создается сеть стационарных станций сопряжения, сеть мобильных АС и сеть абонентов персонального вызова. Станция сопряжения будет поддерживать различные варианты подключения абонентов - через проводные, сотовые или микросотовые сети.

Сеть подвижных абонентов будет включать следующие виды абонентских станций: носимые АС (в диапазоне 0,3/0,4 ГГц), радиотелефонные терминалы, станции, возимые на подвижных средствах (в диапазонах 0,3/0,4 ГГц, 1,5/1,6 ГГц, 2,1/1,9 ГГц и 2,5/1,6 ГГц) и приемники персонального вызова в диапазоне 0,4 ГГц.

Диапазоны и полосы частот, количество каналов, выделяемых для абонентских радиолиний, радиолиний станций сопряжения и фидерных линий (ФЛ) приведены в табл. 2.5.

**Таблица 2.5.** Радиочастотное обеспечение системы "Сигнал"

Назначение радиолинии	Линия "спутник-Земля", МГц	Линия "Земля-спутник", МГц	Полоса частот, МГц	Количество каналов на КА или БС
Персональный вызов	385,0-386,5	-	1,5	32/20 на КА
Абонентские радиолинии	270,075-275,0	335,4-343,5	4,0	64 на КА
	311,35-322,0	386,5-399,9	7,5	
	1535,0 -1558,76	1631,5-1655,26	23,76	8x6 на КА
	2170,0-2200,0	1980,0-2010,0	28,16	11x6 на КА
	2483,6-2500,0	1610,0-1625,5	14,24	1 1x6 на КА
ФЛ подвижных абонентов	11650-11700	14170-14220	48,0	724 на БС
	15450-15650	19300-19600	48,0	
Радиолиния станций сопряжения	18800-19300	28600-29100	32,0	256x2 на КА
ФЛ станций сопряжения	18800-19700	28600-29100	64,0	512 на БС

Терминалы станций сопряжения диапазона 20/30 ГГц используются в качестве коллективных станций, обеспечивая стыковку системы со станциями сотовых систем связи и телефонной сетью общего пользования.

В диапазоне 0,3/0,4 ГГц используются турникетные антенны, а в остальных диапазонах - плоские антенные решетки. В малогабаритных приемниках персонального вызова - штыревая антенна.

### **Многостанционный доступ**

В системе используются следующие методы и протоколы доступа: нетактированная АЛОХА в служебном канале и модернизированная процедура многостанционного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов (МДКН/ОК) в информационном канале. В отличие от стандартного протокола, в НССС "Сигнал" при передаче сообщения от спутникового ретранслятора в служебном канале "Маяк" содержится информация о номерах занятых и свободных каналов. Поэтому изначально абонент выбирает канал, в котором нет запросов на работу (запрет использования какого-либо канала может быть создан от базовой станции, осуществляющей резервирование каналов в интересах всей системы связи).

Абонент, желающий передать сообщение, выходит на связь только после обнаружения свободного канала. При возникновении конфликтов, их обнаружение производится на АС по характеру ответа от БС. Такая организация связи позволяет обеспечить время передачи запроса и установления синхронизма в 50 раз меньшее средней продолжительности телефонного разговора.

Чтобы связаться с абонентом, расположенным в любой точке земной поверхности, достаточно 5 переключений, при этом время задержки сигнала не будет превышать 150 мс.

Для обеспечения заданных требований по ЭМС в системе "Сигнал" применяется спектрально-эффективный метод модуляции: четырехпозиционная относительная фазовая манипуляция со сдвигом и сглаживанием фазы. Сглаживание фазы в предмодуляционном фильтре позволяет уменьшить уровень боковых лепестков. Кроме того, используются сигналы с пониженной спектральной плотностью мощности, а именно широкополосные сигналы с дополнительной модуляцией с помощью псевдослучайной последовательностью длиной 3224 элемента. Ширина полосы частот такого сигнала равна 5,8 МГц.

В каждом луче формируется 10 каналов с разносом несущей на 50 кГц. При этом спектры сигналов разных каналов перекрываются. Суммарная ширина спектра в одном луче равна 6,3 МГц. Вследствие того, что на краях полосы уровень спектральной плотности уменьшается, то при перекрытии соседних лучей по диапазону на 0,5 МГц, суммарная спектральная плотность мощности во всей полосе окажется равномерной. Характеристики антенны в каждом луче выбраны таким образом, что плотность потока мощности (ППМ) на поверхности Земли была бы постоянной и не зависела от направления излучения. В полосе частот 4 кГц ППМ составляет - 170 дБВт/м<sup>2</sup>.

На борту применяется жесткая схема коммутации: каждому каналу на линии Земля-спутник однозначно соответствует один из каналов в каждом луче на линии спутник-Земля. Три луча на линии спутник-Земля предназначены для того, чтобы с одним КА могли работать одновременно три базовые станции.

### **Этапы создания системы**

По системе "Сигнал" выполнен проект; проведение демонстрационных испытаний с запуском 2-х КА предполагается начать в 1998 г, к этому сроку будет введена в эксплуатацию одна базовая станция (г.Химки, Московская область). На I-ом этапе развертывания системы предполагается создание орбитальной группировки из 12-ти КА и ввод 2-ой базовой станции (1999 г.) с последующим расширением группировки до штатной (48 КА) и увеличением числа БС (согласно проекта - до 150 базовых станций).

### **Технико-экономические показатели**

Привлекательными для потенциальных пользователей системы "Сигнал" будут предполагаемые тарифы на услуги связи [25]: абонентская плата - 5 долл. в месяц, подключение абонента к системе -200 долл., стоимость одной минуты разговора - 0,3 долл., цена телефонной трубки - 700 долл.

По расчетам специалистов международного концерна спутниковой связи "КОСС" ожидаемый срок окупаемости проекта "Сигнал", рассчитанного на российских пользователей, составит 4 года. Затраты на создание системы оцениваются в 347 млн долл. Последующая эксплуатация системы потребует ежегодных затрат в размере 51 млн. долл. с учетом замены

спутников, выработавших свой ресурс. Стоимость глобального варианта системы оценивается в 1 млрд. долл.

## 2.4. СИСТЕМА ЕССО

Система ЕССО (Equatorial Low-orbit Communications System) разрабатывается совместно бразильской компанией Telebras (Telecomunicacoes Brasileiras) и американской - Constellation Communications, Inc., шт. Вирджиния.

До 1995 г. обе компании разрабатывали независимые проекты низкоорбитальных систем. Компания Telebras вела разработку проекта низкоорбитальной системы ЕССО-8, а Constellation - проекта Aries. Идея объединения двух систем возникла после того, как в январе 1995 г. FCC США отклонила заявку компании Constellation.

### ИСТОРИЯ СИСТЕМЫ ЕССО

Система ЕССО-8 создавалась как национальная система спутниковой связи Бразилии. Орбитальная группировка системы состояла из 8 основных и 2 резервных КА. Спутники предлагалось вывести на экваториальную орбиту высотой 2000 км с наклоном  $0^\circ$ . Создаваемый системой ЕССО-8 экваториальный пояс позволяет не только охватить территорию Бразилии, но и обеспечить обслуживание всех тропических районов северного и южного полушарий.

Система ЕССО-8 относилась к классу little LEO. В ней планировалось обеспечить низкоскоростную передачу данных. В ЕССО-8 разрабатывались легкие спутники (масса КА - 65 кг, мощность полезной нагрузки - 80 Вт).

Разработку системы Aries компания Constellation осуществляла с начала 90-х годов. Лицензия на запуск экспериментального КА была получена в августе 1992 г. По своим принципам построения и структуре используемых сигналов система Aries наиболее близка к описываемой в разделе 2.2 системе Globalstar. В обеих системах предлагалось создать орбитальную группировку из 48 КА, обеспечив практически один и тот же набор услуг, включая глобальную радиотелефонную связь. Ретрансляцию абонентских потоков планировалось осуществлять через наземные станции-ретрансляторы. Организовать работу системы Aries планировалось в тех же участках спектра, что и Globalstar. Для абонентских линий предполагалось использовать L-диапазон (1610-1626,5 МГц), для линии Земля-спутник и S-диапазон (2483,5-2500 МГц) - для линии спутник-Земля. Работу фидерных линий планировалось организовать в C-диапазоне: 6525,0-6541,5 МГц - для линии "Земля-спутник" и 5250,0-5266,5 МГц - для линии "спутник-Земля".

Однако на этом сходство систем заканчивается. Спутники Aries предлагалось разместить на околоземных орбитах высотой 970 км в 4-х орбитальных плоскостях по 12 КА в каждой. Согласно предложенной схеме распределения частот предусматривалась работа в полосе частот 2 МГц в L-диапазоне и 0,5 МГц в S-диапазоне с шириной полосы каждого канала 40 кГц и защитным интервалом между каналами также 40 кГц.

Информация от абонентских станций передается в режиме FDMA (один канал на несущую). Скорость передачи информации - 7 кбит/с на канал. Вид модуляции - QPSK. Ретранслятор должен быть выполнен с обработкой информации на борту. Скорость передачи группового потока в режиме TDMA - 110 кбит/с.

Система ЕССО предназначена для обеспечения следующих видов услуг: двусторонней радиотелефонной связи, передачи данных и факсимильных сообщений, диспетчерской речевой связи, определения местоположения и сбора данных с необслуживаемых объектов.

Орбитальная структура системы ЕССО включает в себя 64 КА, которые разделены на две группы. В орбитальную группировку первого этапа включены 22 КА, выводимые на круговую экваториальную орбиту высотой 2000 км и наклоном  $0^\circ$ . Спутники распределены в двух орбитальных плоскостях по 11 КА в каждой плюс один резервный.

Вторая орбитальная субгруппировка будет включать 42 КА, выводимых на круговую орбиту высотой 2000 км и наклоном к экватору  $62^\circ$ . Спутники будут расположены в 7 орбитальных плоскостях, по 5 основных и одному запасному КА в каждой плоскости. Период обращения КА вокруг Земли равен 127 мин.

Разработка КА поручена компании Lockheed Martin, шт. Калифорния. Основные характеристики КА: система ориентации - 3-осная, масса КА - 528 кг, срок активного существования КА - 5 лет.

Для вывода КА на орбиту планируется использовать ракету-носитель LLV компании Lockheed Martin. Прорабатывается также вопрос об использовании РН Pegasus, Conesstoga и Taurus.

В 1997 г. разработчиками системы ЕССО получена лицензия США. Для связи выделены полосы частот: 1610-1626,5 МГц (L-диапазон) и 2483,5-2500 МГц (S-диапазон).

Основное отличие проекта ЕССО от проектов ЕССО-8 и Aries - это использование многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA).

Систему планируется развернуть в 2 этапа. К 2000 г. предлагается создать систему из 22 КА. Сроки окончания работ по второму этапу (24 КА на наклонных орбитах) еще не определены.

Прогнозируемая емкость рынка услуг ЕССО - 100 тыс. пользователей к 2002 г. Общая стоимость проекта (1 этап) - 690 млн. долл.

## 2.5. СИСТЕМА "РОСТЕЛЕСАТ"

Работы по созданию многофункциональной телекоммуникационной системы "Ростелесат" проводятся с 1996 г. В разработке проекта системы принимал участие коллектив ведущих предприятий в области связи и ракетно-космической техники РФ. Среди них такие предприятия, как ЦНИИС, ОАО "Телеком", НПО "Энергомаш", НПО "ЭЛАС", РТИ им. акад. А. Л. Минца, МАК "Вымпел", АО "МНИИРС", НПО ПМ, НПО им. С.А. Лавочкина и др. Для ведения работ по системе создано АО "Ростелесат", которое взяло на себя функции заказчика, головного разработчика и оператора системы.

Основными видами услуг, предоставляемыми системой "Ростелесат", являются следующие:

- местные, междугородные и международные телефонные разговоры;
- речевая связь между абонентами спутниковой сети "Ростелесат";
- передача данных в сетях общего пользования;
- передача данных между подвижными абонентами сети "Ростелесат";
- глобальный персональный радиовызов;
- определение местоположения подвижных объектов;
- космический мониторинг земной поверхности и околоземного пространства.

Указанные услуги будут предоставляться как в национальном, так и глобальном масштабе.

В настоящее время подготовлены технические предложения, в которых определен базовый вариант системы, основанный на использовании двух типов орбитальных группировок: низкоорбитальной и средневысотной. Основные параметры указанных группировок приведены в табл. 2.6.

**Таблица 2.6.** Структура орбитальной группировки "Ростелесат"

Тип орбитальной группировки	Низкоорбитальная субгруппировка	Средневысотная субгруппировка
Количество КА	91	24
Высота орбиты, км	700	10360
Число орбитальных плоскостей	7 (по 13 КА в каждой)	н/д
Наклонение орбиты, град	73,7 или 82	н/д

Каждый низкоорбитальный КА обслуживает подспутниковую зону диаметром около 3500 км. При указанной в табл. 2.6 орбитальной структуре над территорией России будут видны одновременно от 5 до 7 КА. В системе предполагается использовать космический аппарат массой 850 кг и энергоресурсом бортовой системы электропитания - 3000 Вт.

Речевая связь между абонентами обеспечивается со скоростью 4,8 кбит/с на КА. Пропускная способность составит 1600 дуплексных эквивалентных каналов по 4,8 кбит/с, что сравнимо с лучшими зарубежными системами. Суммарное количество дуплексных каналов, обрабатываемых одновременно над территорией РФ, - около 24000 эквивалентных каналов по 4,8 кбит/с.

Связь с подвижными абонентами в системе "Ростелесат" организуется в расширенной части S диапазона (2,1-2,6 ГГц). Для магистральной связи, обслуживания стационарных пользователей, передачи мониторинговой информации предполагается использовать X диапазон (8/7 ГГц).

Земной сегмент системы состоит из центра управления космической группировкой, станций сопряжения, пунктов сбора и обработки информации, мониторинга (центральных, региональных и ведомственных).

В системе "Ростелесат" планируется разработка широкой номенклатуры абонентских терминалов, включающей в себя носимые, возимые и стационарные терминалы, пейджеры, групповые терминалы, абонентские пункты приема и обработки мониторинговой информации. Скорость информационного обмена в зависимости от типа терминала может варьироваться в пределах от 1,2 кбит/с до 64 кбит/с.

### **3. СИСТЕМЫ СВЯЗИ С КА НА СРЕДНЕВЫСОТНЫХ ОРБИТАХ**

Среди негеостационарных систем персональной спутниковой связи системы с КА на средневысотных орбитах занимают промежуточное место. Спутники находятся между двумя разновысотными радиационными поясами естественного происхождения, т.е. в диапазоне высот от 5000 до 15000 км. Охват поверхности одним КА составляет 25-30%. Диаметр зоны обслуживания при углах места  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$  составляет 7-8 тыс. км, что существенно больше, чем у низкоорбитальных спутников.

В КА на средневысотных орбитах глубина циклов зарядки/разрядки аккумуляторных батарей и их частота в несколько раз меньше, чем у низкоорбитальных КА, что значительно облегчает работу бортовой системы электропитания и, в конечном итоге, увеличивает срок службы КА до 10-15 лет.

Системы связи на основе средневысотных орбит обеспечивают также высокие характеристики обслуживания абонентов за счет увеличения рабочих углов места и числа КА, находящихся одновременно в зоне видимости пользователя. При этом задержка распространения сигнала по сравнению с геостационарными КА снижается до величин 70-85 мс, т.е. практически не влияет на слуховое восприятие речи.

Все преимущества КА на средневысотных орбитах по сравнению с низкоорбитальными могут быть достигнуты лишь за счет соответствующего усложнения бортовой аппаратуры и увеличения веса и стоимости запуска.

Интерес к средневысотным орбитам проявился почти сразу, как появились первые крупные проекты низкоорбитальных систем Iridium, Globalstar и др. Системы со средневысотными орбитами можно рассматривать как ответ компаний, традиционно разрабатывающих геостационарные спутники, на вызов со стороны низкоорбитальных систем. Пока крупных проектов два: Odyssey и ICO.

Первооткрывателем средневысотных орбит можно по праву назвать американскую компанию TRW. К данной проблеме TRW подошла весьма фундаментально. Компанией получены несколько патентов в разных странах (США, Германия, Тайвань).

Два основных патента, полученных в 1995 г в США, защищают способ организации глобальной сотовой радиотелефонной связи, базирующейся на средневысотных КА, а также метод формирования сотовой структуры на поверхности Земли.

#### **3.1. СИСТЕМА ODYSSEY**

Система Odyssey предназначена для обеспечения глобальной радиотелефонной связи и предоставления других видов услуг персональной связи.

Головным исполнителем работ по системе Odyssey является международная компания Odyssey Telecommunication International Inc. (OTI). Проект финансируется группой компаний, в число которых входят учредители OTI и основные инвесторы системы Odyssey: компании TRW Inc. (США) и Teleglobe Inc. (Монреаль, Канада), а также ряд других стратегических инвесторов (Spar Aerospace, Thomson CSF и др.)

За плечами этих компаний огромный опыт работ по разработке и эксплуатации систем связи с геостационарными КА. Американская компания TRW является разработчиком более 185 спутниковых, военных и научных космических комплексов (Milstar, TDRS и др.). Teleglobe является крупнейшей компанией, предоставляющей телекоммуникационные услуги во всем мире.

Схема кооперации работ между участниками проекта Odyssey приведена на рис. 3.1. Разработку и изготовление системы Odyssey осуществляет фирма TRW Space & Technology Group (США), последняя в соответствии с контрактом должна разработать космический и наземный комплексы и сдать компании OTI систему "под ключ".

Для предоставления услуг планируется развернуть широкую сеть национальных фирм - операторов. Имея лицензии на операторскую деятельность, национальные или региональные провайдеры будут осуществлять эксплуатацию системы в различных регионах мира.

### 3.1.1. КОСМИЧЕСКИЙ СЕГМЕНТ И ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Для глобального покрытия Земли предполагается использовать средневысотные круговые орбиты. Космический сегмент системы Odyssey будет состоять из 12 КА, выведенных в 3 орбитальные плоскости высотой 10354 км и наклоном 50°. В каждой плоскости будет находиться по 4 КА. Период обращения каждого из них составит около 6 часов при угловой скорости полета около 1 град/мин. Над большинством регионов суши одновременно в зоне видимости ЗС будут появляться не менее 2 КА, причем хотя бы один из них будет не ниже 30° над горизонтом. Вся система обеспечит обслуживание абонентов на территории Земли между 70° с.ш. и 70° ю.ш. При ширине диаграммы направленности спутника, равной 40°, один КА обеспечит охват зоны диаметром свыше 7 тыс. км.



Рис. 3.1. Схема кооперации работ по системе Odyssey

Отличительная особенность системы Odyssey - квазистатичное покрытие поверхности Земли. Каждый спутник имеет многолучевую антенну, создающую непрерывную сотовую структуру покрытия на поверхности Земли (рис. 3.2). Лучи КА Odyssey направляются только на сушу, а также в наиболее судоходные акватории мирового океана. По мере движения космических аппаратов по орбите система позиционирования лучей следит за тем, чтобы последние образовывали географически неподвижную сотовую структуру на обслуживаемой территории. Переключение зон обслуживания происходит в том случае, если углы над горизонтом, под которыми наблюдается КА с земных станций, становятся недопустимо малы.

Здесь следует отметить, что во всех проектах систем спутниковой связи на основе LEO и, в первую очередь, реализующих высокие углы наклона (Iridium, Teledesic), принципиально нельзя создать квазистатическое покрытие регионов Земли с повышенным трафиком. Для указанного класса систем подспутниковая зона с повышенным трафиком является лишь частью общей подспутниковой зоны, в результате чего снижается эффективность использования части КА группировки.

Радиовидимость двух спутников обеспечивает возможность работы наземным терминалам под сравнительно высокими углами места. В случае, если связь организуется через один спутник (второй в этот момент не используется), то рабочий угол места станции в 30° гарантирован в 95% времени. Такие высокие углы места позволяют избежать дополнительного энергетического запаса радиолинии на потери распространения в ближней зоне (деревья, здания и другие преграды).

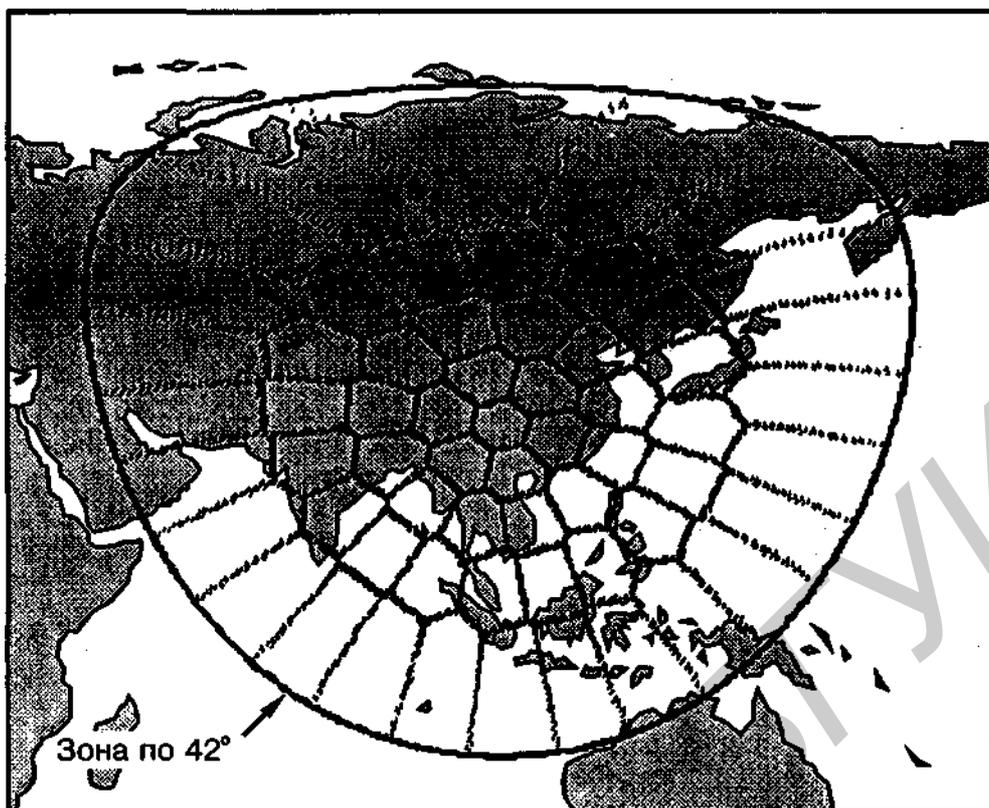


Рис. 3.2. Многолучевая структура на поверхности Земли

На спутнике используется "прозрачный" ретранслятор с преобразованием частоты, т.е. без обработки информации на борту. Маршрутизация и обработка сообщений осуществляется на станциях сопряжения, через которые пропускается весь региональный трафик (рис. 3.3).

Для передачи информации используются широкополосные сигналы и многостанционный доступ с кодовым разделением каналов (CDMA). Диапазоны частот для работы системы Odyssey выделены на Всемирных конференциях по радиосвязи WARC-92 и WRC-95.

Прием информации от абонентских терминалов осуществляется в диапазоне частот 1610,0-1626,5 МГц (L диапазон). Передача от КА на абонентский терминал - в диапазоне частот 2483,5-2500,0 МГц (S диапазон). ЭИИМ в канале "спутник - терминал" составляет 24,2 дБВт. В радиоприемах L и S диапазонов используется круговая поляризация.

Антенная система каждого из КА создает на земной поверхности 61 узкий луч. Для каждого из лучей выбирается одна пара несущих частот. Коэффициент повторного использования частот примерно равен 6. Распределение полос частот в системе Odyssey приведен на рис. 3.2. Ширина полосы частот в каждом приемном луче равна 11,35 МГц, а в передающем луче - 16,5 МГц. Как видно из рисунка 3.2, трафик в абонентских линиях "вверх" и "вниз" асимметричен. Участок спектра шириной 5,15 МГц на линии "абонент - спутник" выделен для организации многостанционного доступа с временным разделением каналов (TDMA).

Масса космического аппарата составляет 2500 кг. Срок активного существования КА - 15 лет. Мощность солнечных батарей в конце расчетного срока существования составит 4,6 кВт. Выведение спутников на орбиту будет осуществляться ракетой-носителем Atlas HA попарно.

Два спутника, одновременно обслуживающих какой-либо из регионов, обеспечат радиотелефонную цифровую связь с общей емкостью 6 тыс. телефонных каналов. Для стационарных пользователей пропускная способность одного КА составит более 10 тыс. каналов (режим передачи данных со скоростью 64 кбит).

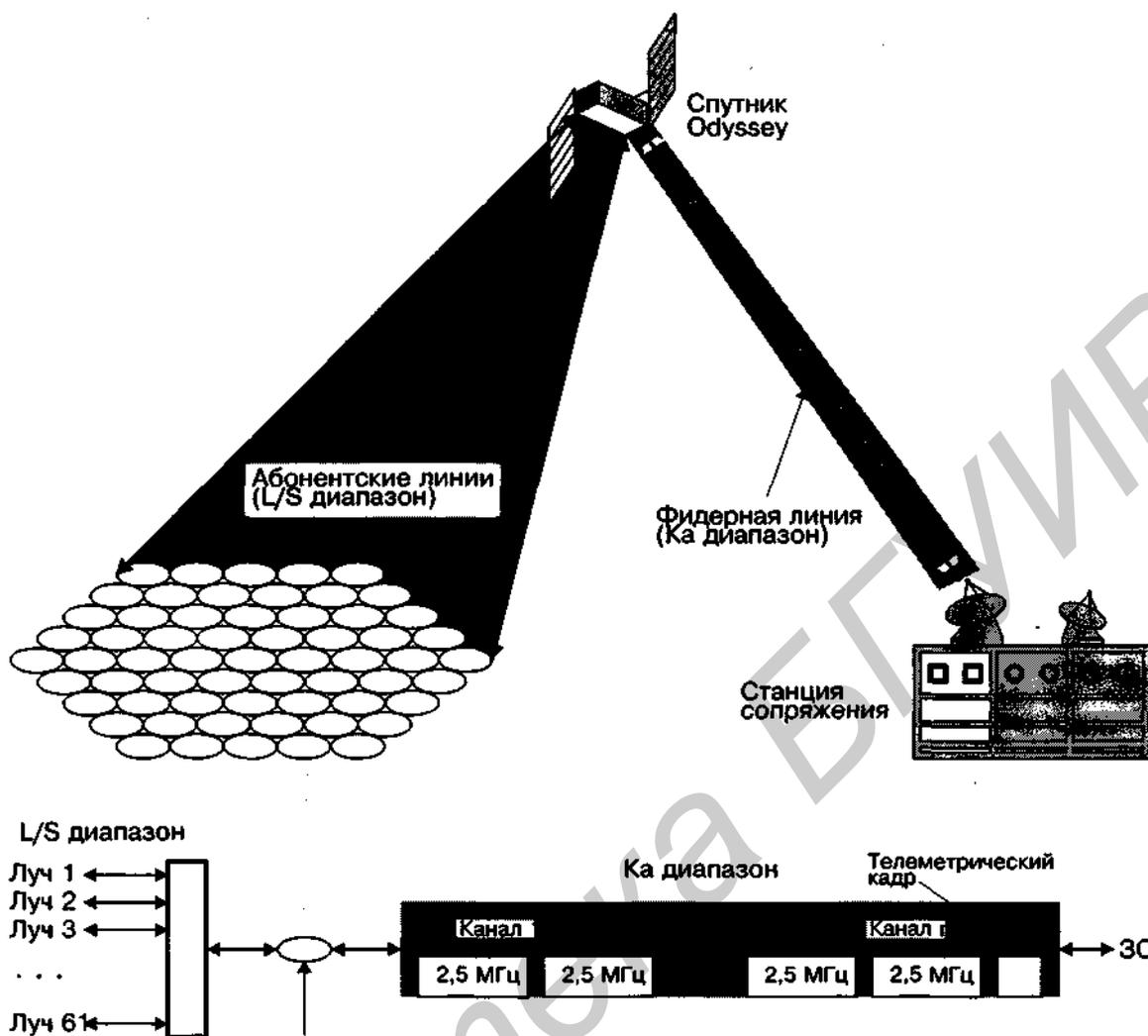
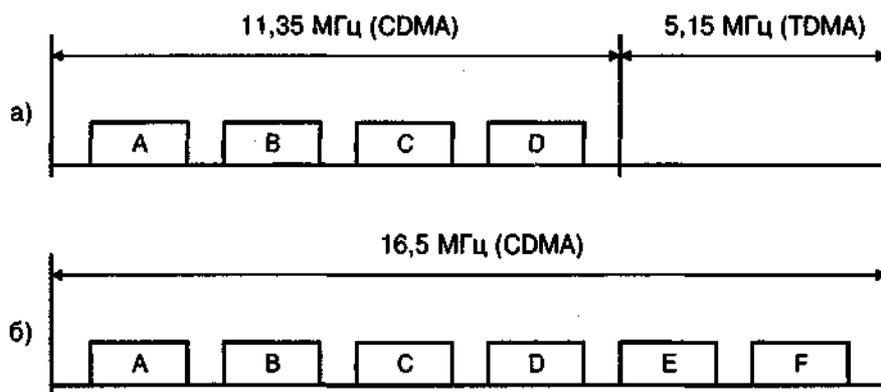


Рис. 3.3. Схема формирования группового сигнала в фидерной линии системы Odyssey

Для связи со станциями сопряжения на борту КА предусмотрены следующие направленные антенны с карданным подвесом. Работа фидерных линий осуществляется в Ka диапазоне. Основные характеристики бортовой аппаратуры Ka диапазона при работе по фидерной линии приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Основные характеристики бортовой аппаратуры Ka диапазона при работе по фидерной линии

Направление связи	прием	передача
Диапазон частот, ГГц	29,1-29,4	19,3-19,6
Общая ширина полосы, МГц	300	300
Ширина полосы канала, МГц	2,5	2,5
Вид поляризации	LHCP	RHCP
Коэффициент усиления антенны, дБи	38,5	35,7
Ширина луча по уровню 3 дБ	2,2°	3°
Шумовая температура приемника, °К	780	-
ЭИИМ, дБВт	-	46,4



**Рис. 3.4.** Разделение полос частот в системе Odyssey  
 а) линия абонент - спутник (L диапазон)  
 б) линия спутник - абонент (S диапазон)

### 3.1.2. НАЗЕМНЫЙ СЕГМЕНТ СИСТЕМЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ СВЯЗИ

Система персональной спутниковой связи Odyssey предназначена для организации радиотелефонной связи, передачи данных и коротких сообщений о местоположении подвижных объектов. Радиотелефонный терминал обеспечивает возможность работы не только в системе Odyssey, но и в наземных сотовых сетях.

Доступ к наземной сотовой сети является приоритетным. После определения свободных частот в этой сети, в адрес базовой станции будет послан вызов. В случае невозможности соединения с базовой станцией (вызов блокируется или все частоты заняты) терминал автоматически посылает запрос на спутник системы Odyssey.

В ответ на запрос абонентскому терминалу назначается пара частот (передачи и приема) для работы в одном из лучей. Назначение частот производится автоматически. Двухрежимный радиотелефонный терминал обеспечивает работу в сотовых сетях стандартов GSM, TDMA, CDMA, PHS.

Передача речи осуществляется со скоростью 4,2 кбит/с. Вероятность ошибки в речевом канале составляет не более  $10^{-3}$ . Передача данных производится со скоростью от 2,4 до 64 кбит/с. Вероятность ошибки на бит - не более  $10^{-5}$ . Для коррекции ошибок применяется сверточное кодирование ( $r = 1/2$ ,  $k = 7$ ).

Предусматриваются модификации терминалов Odyssey, которые предоставят возможность приема сообщений персонального радиовызова с буквенно-цифровой индикацией (пейджинг), работу в режиме электронной почты, передачу коротких цифровых сообщений. Связь со стационарными пользователями, а также доступ в Интернет организуется со скоростью 64 кбит/с.

Определение координат абонентского терминала производится по собственным сигналам системы Odyssey. Относительно большое для средневысотной орбитальной группировки количество спутников позволяет на значительной территории наблюдать созвездие из двух или трех спутников под большими углами места. Это делает возможным определение местоположения только по сигналам КА Odyssey. Точность определения местоположения не хуже, чем 15 км.

#### Станции сопряжения

В системе не предусмотрено межспутниковых связей. Весь трафик в конкретном регионе пропускается через СС, которые связаны между собой магистральными линиями связи.

В задачи СС входит прием/передача регионального трафика, обеспечение сопряжения с телефонной сетью общего пользования, управление межлучевой коммутацией, прием и обработка телеметрии с борта КА.

При связи персональных пользователей с абонентами телефонных сетей общего пользования (ТФОП) к максимальной задержке спутникового канала (85 мс) добавляется задержка наземного тракта (20 мс). Однако, суммарное значение задержки по-прежнему приемлемо для слухового восприятия.

Для каждого из обслуживаемых регионов намечается построить по одной станции сопряжения. В глобальной системе предусматривается 7 станций сопряжения. На каждой СС

предполагается установить четыре следящих параболических антенны диаметром 7 м. Три антенны будут использоваться для одновременной работы со спутниками. Четвертая антенна служит для переретрансляции трафика с одного на другой спутник, при условии их одновременного нахождения в зоне радиовидимости конкретной СС. Кроме того, эта антенна необходима для повышения надежности связи в случае интенсивных осадков. Авторами проекта допускается, что диаметр региона выпадения осадков не превышает 30 км. Основные характеристики станций сопряжения приведены в табл. 3.2.

**Таблица 3.2.** Основные характеристики станций сопряжения

Направление связи	прием	передача
Диапазон частот, ГГц	19,3-19,6	29,1-29,4
Общая ширина полосы, МГц	300	300
Ширина полосы канала, МГц	2,5	2,5
Вид поляризации	RHCP	LHCP
Коэффициент усиления антенны, дБи	64,8	60,8
Ширина луча по уровню 3 дБ	2,2°	0,17°
Шумовая температура приемника, °К	666,5	-
ЭИИМ, дБВт	-	85,9

#### Терминалы пользователя

Благодаря острой направленности бортовых антенн и высокой чувствительности приемных устройств спутников Odyssey в абонентских станциях используются передатчики с малой выходной мощностью. Планируется выпустить две модификации абонентских терминалов: с выходной мощностью передатчика персонального терминала - до 0,5 Вт и мобильного - до 5 Вт. Коэффициент усиления антенны типа четырехзаходная спираль равен 2,5 дБ. Энергетический запас на линии связи "Земля - спутник" составит 6-10 дБ.

#### Рынки и области применения

Развертывание орбитальной группировки предполагается произвести в 2 этапа. На первом этапе в 2000 г услуги начнут предоставлять только 6 КА. Непрерывность обслуживания в основных регионах мирового сообщества будет обеспечена в течение 14 часов в сутки. Для пользователей в этот период будут установлены льготные тарифы. Затем будет развернута полномасштабная орбитальная группировка из 12 КА.

Зонами обслуживания системы являются территория континентальной части США с прибрежными районами, Европа, Азия и акватория Тихого океана.

Предполагается, что пользователями системы будут частные лица и государственные структуры, нуждающиеся в непрерывной мобильной связи на значительных по площади территориях, а также население регионов с низким уровнем развития наземной инфраструктуры связи. Основные сегменты рынка и их основные характеристики приведены в табл. 3.3.

**Таблица 3.3.** Сегментация рынка услуг системы Odyssey

Пользователи	Характеристика сегмента, услуги
Стационарные пользователи	Сельские районы, лишенные линий радиосвязи и проводных каналов
Расширение зон сотовых систем	Расширение зон действия сотовых сетей за счет использования каналов спутниковой связи в регионах, где отсутствуют альтернативные виды связи
Дополнение сотовых сетей	Абонентам существующих сотовых сетей предоставляется возможность глобального роуминга с использованием спутниковых каналов
Ведомственные сети	Закрытые абонентские группы правительственных и военных структур, работающие в глобальной зоне обслуживания
Служба коротких сообщений	Услуги, аналогичные услугам пейджинговой службы
Дополнительные услуги	Определение местоположения, голосовая почта, аварийные сообщения, трансляция с одного языка на другой

Разработчиками проекта предполагается, что количество абонентов в системе Odyssey после окончания ее развертывания должно быть порядка 2 млн. В дальнейшем ожидается постепенное наращивание контингента пользователей до 9 млн. чел.

Компания OTI имеет лицензию США на создание системы и ее коммерческую эксплуатацию. Стоимость проекта Odyssey - 2,5 млрд. долл. Стоимость создания и строительства сети станций сопряжения оценивается в 500 млн. долл. Стоимость терминала будет составлять по разным оценкам от 350 до 1000 долл. при ежемесячной абонентской плате 25 долл. и стоимости минуты телефонной связи в спутниковом канале - 0,75 долл.

## 3.2. СИСТЕМА ICO

Международной организацией Inmarsat с 1989 г. проводилась разработка проекта системы мобильной спутниковой связи, получившего название "Проект XXI века". В результате выполнения этого проекта обоснованы концепция и принципы построения системы Inmarsat-P, переименованной по организационным причинам в систему ICO.

Головной по разработке и вводу системы ICO является компания ICO Global Communications, созданная в 1995 году, при этом Inmarsat является одним из наиболее крупных ее акционеров (доля организации Inmarsat - 10,4%).

В ICO Global Communications входят более 50 организаций из 46 стран. Среди ее инвесторов 20 ведущих компаний мирового сообщества, являющихся национальными операторами сотовых систем связи.

В основу построения системы ICO положена орбитальная структура, использующая КА на средневысотных орбитах. Такое решение, по мнению разработчиков системы ICO, снижает уровень технического риска, т.к. предполагает использование отработанных и проверенных технологий и позволит упростить сложность управления средневысотной орбитальной группировкой по сравнению с низкоорбитальной.

### Частотное обеспечение

Система ICO будет функционировать в L и C диапазонах частот, используя цифровую обработку на борту и метод многостанционного доступа с временным разделением каналов.

При определении оптимальных полос частот для абонентской линии "терминал - КА" были рассмотрены несколько вариантов с итоговым выбором в пользу диапазона 1,9/2,2 ГГц. На выбор повлиял тот факт, что адекватный диапазон, имеющийся в этом участке спектра, предназначен для перспективных систем и служб связи.

Хотя выделение диапазона 1,9/2,2 ГГц для ПСС не предполагается до 2005 года, но организация ICO направляет усилия на то, чтобы получить положительное решение на выделение полос 1,9/2,2 ГГц в 1999-2000 годах.

Фидерные линии предназначены для организации связи между КА и станциями сопряжения. Диапазон 5/7 ГГц был рекомендован Всемирной конференцией по радиосвязи WRC-95 для работы фидерных линий систем с КА на негеостационарной орбите (см. табл. 3.4).

**Таблица 3.4.** Полосы частот абонентских и фидерных линий связи системы ICO

Абонентские линии связи		Фидерные линии связи	
Терминал - спутник	1980-2010 МГц	Станция сопряжения - спутник	5150-5250 МГц
Спутник - терминал	2170-2200 МГц	Спутник - станция сопряжения	6975-7075 МГц

### 3.2.1. КОСМИЧЕСКИЙ СЕГМЕНТ

Система состоит из космического сегмента, наземной сети и пользовательского сегмента. Космический сегмент системы ICO будет включать 12 КА (10 рабочих и 2 резервных), запущенных на круговую орбиту высотой 10355 км над поверхностью Земли. Спутники предполагается разместить в двух ортогональных плоскостях по 6 КА в каждой. Угол наклона орбиты к плоскости экватора составляет 45°. Такая орбитальная группировка обеспечит глобальный охват поверхности Земли, включая полярные районы. Вследствие перекрытия зон соседних КА в каждой точке земли будут одновременно видны от двух до четырех КА. Каждый спутник будет покрывать приблизительно 25% поверхности Земли. Диаграмма мгновенной зоны покрытия Земли при 10 КА приведена на рис. 3.5.

Продолжительность обслуживания абонентов определяется следующими показателями:

- периодом пролета одного спутника КА над зоной обслуживания, получившим название время "горизонт - горизонт";
- средним временем, затрачиваемым на переключение абонента с уходящего за горизонт КА на восходящий КА;
- продолжительностью установления соединения, определяемого схемой организации связи.

Средняя продолжительность обслуживания абонентов составляет 50 мин, а максимальное время пребывания одного КА в зоне радиовидимости может достигать 1,5-2 часов.

Система ICO базируется на уже известных и проверенных технических решениях. Для изготовления спутников планируется использовать спутниковую платформу HS-601 корпорации Hughes Aircraft Systems (США), применяющуюся для крупногабаритных спутников на геостационарной орбите. В конструкцию платформы предполагается внести некоторые изменения, в частности, изменить принцип ориентации бортовых антенн и панелей солнечных батарей, установить упрощенные двигательные установки.

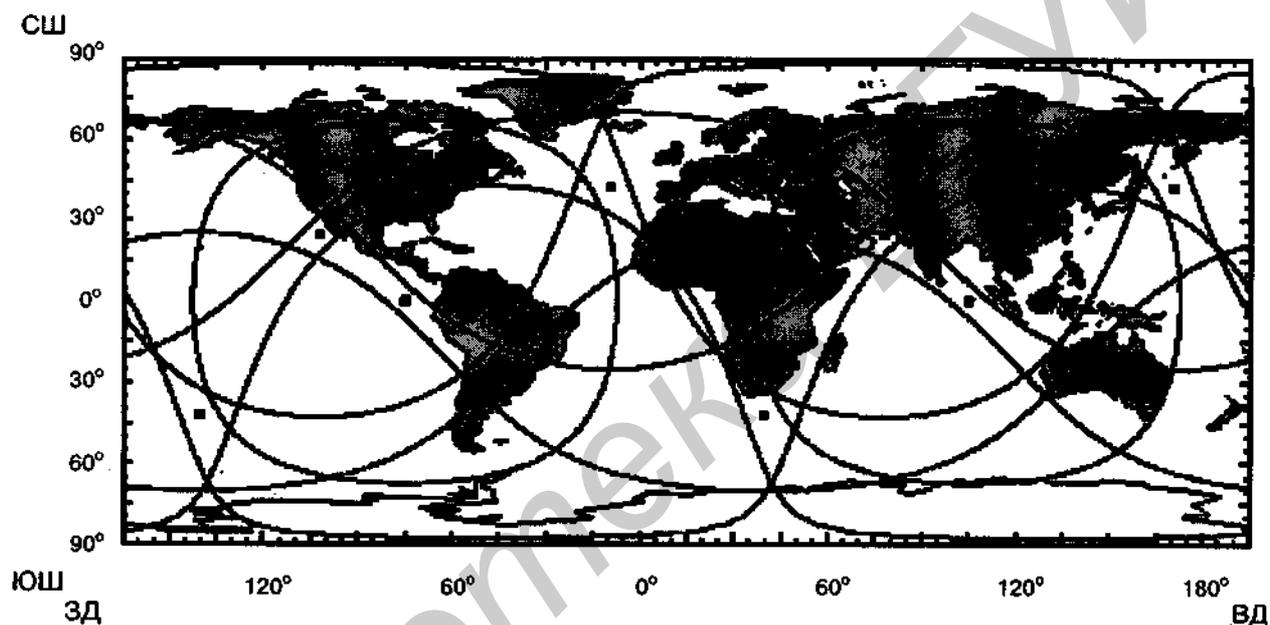


Рис. 3.5. Диаграмма мгновенной зоны покрытия поверхности Земли системы ICO (орбитальная группировка из 10 КА)

Для исключения взаимного влияния трактов приема и передачи, на КА используются отдельные антенны на прием и на передачу в обоих диапазонах частот. Антенна L диапазона будет иметь диаметр 2 м. Использование многолучевой диаграммообразующей схемы позволит реализовать многократное назначение частот. В системе ICO используется 163 отдельных луча на прием и на передачу. Запас по энергетике в линии связи "Земля - спутник" 8-10 дБ. Зона, обслуживаемая одним КА, составляет порядка 7 тыс. км.

Бортовая обработка сигнала в системе ICO в полном объеме не предусмотрена, бортовой процессор используется для управления схемой назначения частот и маршрутизации сигнала.

Стартовая масса спутника 2750 кг, расчетный период эксплуатации 12 лет. Арсенид-галиевые батареи обеспечат потребляемую мощность КА на конец срока активного существования 8700 Вт.

Спутники с установленными на них ретрансляторами диапазонов C и S обеспечат одновременное обслуживание 4500 телефонных каналов.

Первоначальный выбор ракет - носителей для запуска спутников включает: Atlas HA, Delta III, "Протон" и "Зенит" (для запуска с морских площадок).

### 3.2.2. НАЗЕМНЫЙ СЕГМЕНТ И ОРГАНИЗАЦИЯ СВЯЗИ

Система ICO предоставит пользователям следующие виды услуг: двусторонняя речевая связь, передача факсимильных сообщений группы 3, определение местоположения, передача данных со скоростью 2,4 кбит/с. Качество речевой связи соответствует стандарту GSM для сотовых сетей.

Предусматривается также пейджинговая связь с глубоким проникновением, т.е. с большим запасом по энергетике канала. Кроме того, предполагаются дополнительные виды услуг: вызов голосом, связь по кредитной карточке, отображение номера вызывающего абонента на встроенном в терминал индикаторе, определение местоположения абонента.

Планируется также оповещение с высокой степенью проникновения (при больших потерях в линии) для отображения услуг типа оповещения о вызове, оповещение о наличии сообщения в электронной почте и для высвечивания на дисплее номера вызывающего абонента.

Структурная схема системы ICO приведена на рис. 3.6. В состав наземной сети входят центр управления спутниковой группировкой SCC (Satellite Control Centre), центр управления сетью NMS (Network Management Centre) и наземная сеть ICONET (ICO network).

Центр управления SCC предполагается разместить в Лондоне. В его функции будет входить поддержание орбитальной группировки в работоспособном состоянии, сбор телеметрических данных о состоянии отдельных подсистем КА, контроль рабочих параметров КА и др. SCC будет также нести ответственность за запуск КА, управление перераспределением частот между лучами КА.

Центр управления сетью NMS будет находиться в Японии. В его задачи входит контроль за работой наземной сети ICONET и распределение частот.

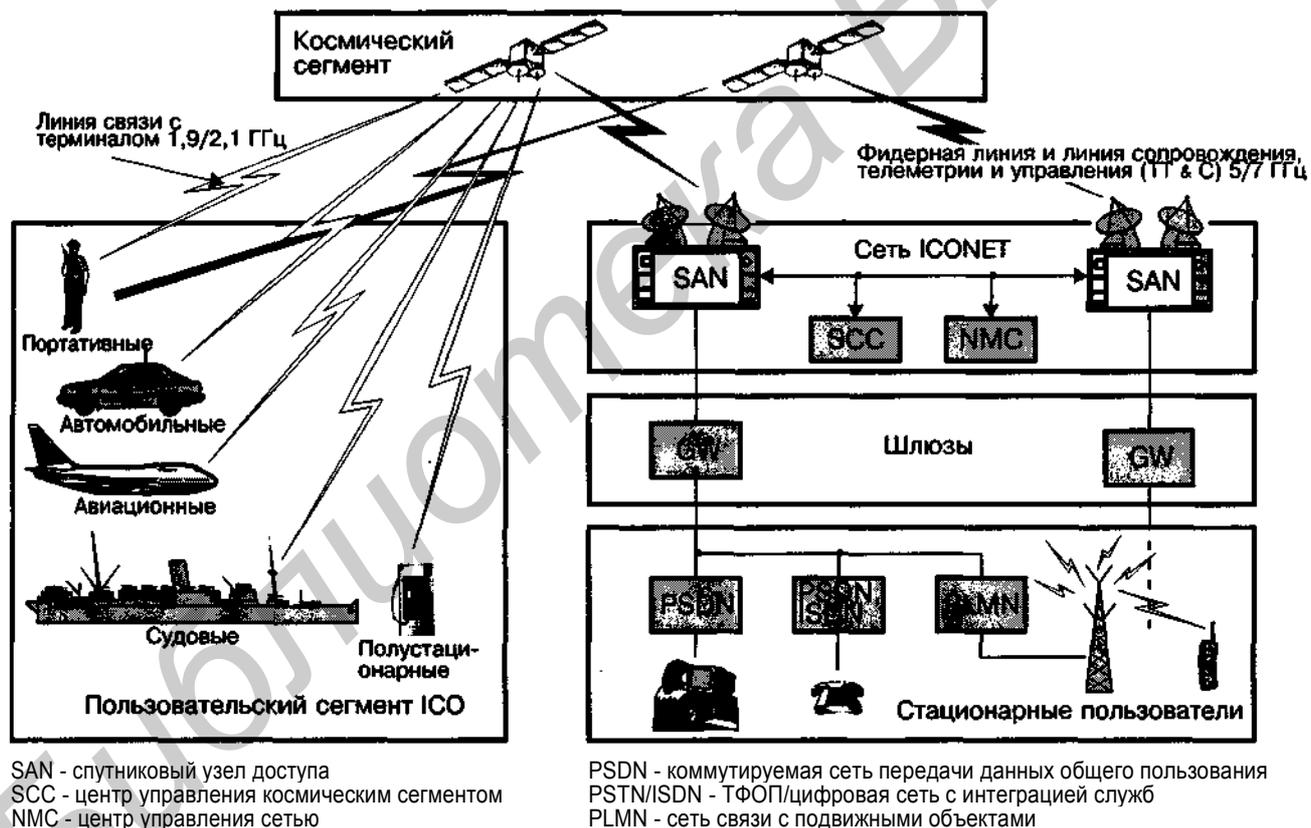


Рис. 3.6. Структурная схема системы ICO

#### Сеть ICONET

Спутниковые каналы будут подключены к существующим сетям связи через собственную сеть ICONET, которая на первом этапе внедрения будет состоять из 12 наземных станций, получивших название спутниковый узел доступа SAN (Satellite Access Node). Узлы доступа SAN будут служить в качестве промежуточных узлов между спутниками ICO и абонентами

наземных сетей общего пользования. Предварительная схема расположения станций сопряжения сети ICONET на территории земного шара приведена на рис. 3.7.

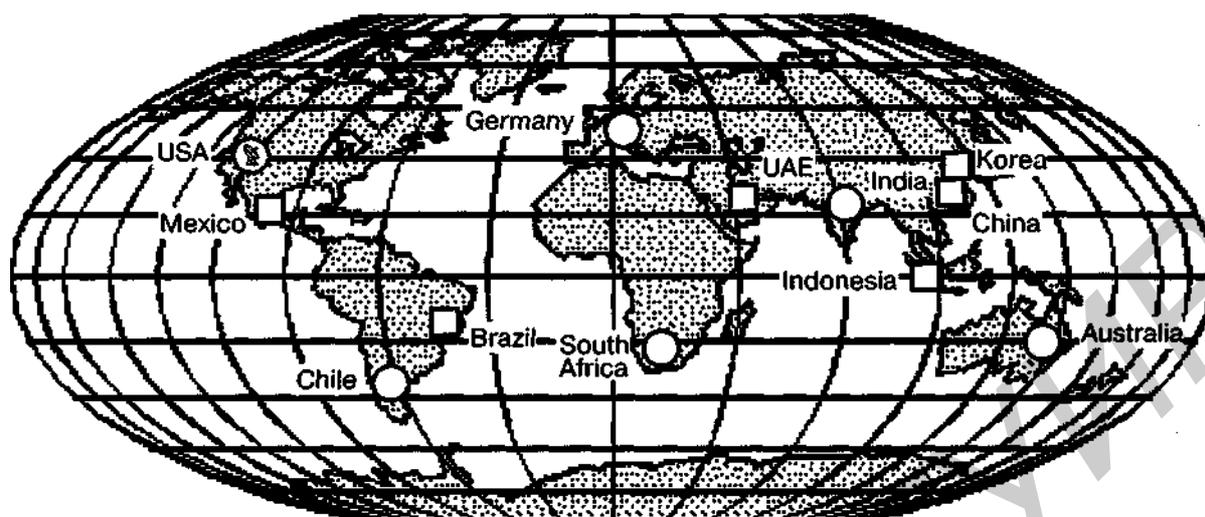


Рис. 3.7. Предварительная схема станций дислокации и сопряжения сети ICONET

○ - с приемом и обработкой телеметрической информации  
□ - без приема телеметрической информации

Между узлами доступа SAN будут организованы магистральные линии с высокой пропускной способностью. Фактически узел SAN обеспечит первичный интерфейс со спутниками ICO, необходимый для маршрутизации трафика и предоставления данных о местонахождении абонентов.

Каждый спутниковый узел доступа SAN будет оснащен оборудованием ЗС с пятью антеннами диаметром 8 м для связи с КА, коммутационным оборудованием и вычислительными средствами, необходимыми для создания баз данных и управления сетью.

Узлы доступа SAN и центр управления сетью NMS разрабатывают компании NEC (Япония), Hughes Network Systems (США) и Ericsson (Швеция). С консорциумом фирм, возглавляемым фирмой NEC (Япония), заключен контракт на 500 млн. долл. По этому контракту должны быть спроектированы, изготовлены и установлены все узлы доступа SAN.

Связь между абонентами, аналогично как и в существующей системе Inmarsat, организуется только через выделенные узлы связи SAN. Непосредственно абоненты связываться друг с другом не могут. Радиотелефонный терминал работает в двух режимах - через КА системы ICO или наземные базовые станции сотовой связи, т.е. будет совместим со всеми основными стандартами сотовой связи. Для связи с подвижными объектами предполагается разработать специальные терминалы.

#### Терминалы пользователя

**Базовый терминал.** В качестве базового предполагается использовать портативный двухрежимный терминал, совмещенный с сотовым телефоном GSM стандарта или другими стандартами (CDMA, D-AMPS и PDC). Терминал будет напоминать по своим размерам, весу и дизайну обычный сотовый телефон. Предполагается также разработка однорежимного радиотелефонного терминала, работающего только в сети спутниковой связи ICO.

Базовый терминал будет иметь встроенное ЗУ для хранения данных, внешний порт, возможность работы с программируемыми карточками.

Основные характеристики терминала: масса менее 750 г, объем около 500 см<sup>3</sup>. Отдельная заряжаемая батарея обеспечивает одночасовую передачу и дежурный прием в течении 24 часов.

Уровень защиты от радиоизлучения находится в пределах более высоких требований, чем регламентируемый техникой безопасности во многих странах. Портативный радиотелефонный терминал ICO будет отвечать всем требованиям безопасности, связанным с работой в ВЧ диапазоне. Средняя мощность передатчика не превысит 0,25 Вт. Для сравнения можно указать, что аналогичная мощность в сотовых радиотелефонах лежит в пределах 0,25-0,6 Вт.

**Другие типы терминалов.** На основе технологии, используемой в базовом терминале, могут быть созданы различные модификации абонентских терминалов. Основные из них: терминал только для передачи данных, терминалы в автомобильном, морском, воздушном исполнении, полустационарные (сельский таксофон), стационарные терминалы, а также необслуживаемый терминал {SCADA unit}.

Компанией ICO заключено соглашение на разработку и изготовление 3 млн. портативных терминалов с тремя ведущими компаниями: Panasonic, NEC и Mitsubishi.

### 3.2.3. РЫНОК И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

#### Рынки услуг системы ICO:

**Сотовая связь.** В районах, уже охваченных сотовой связью, система ICO позволит расширить спектр услуг для абонентов спутниковой связи, предоставив им возможность пользоваться услугами местных и национальных операторов сотовой связи.

**Персональная связь общего пользования.** С помощью портативного радиотелефона может быть обеспечена связь в районах, не охваченных сотовой связью или использующих несовместимые стандарты.

**Специализированная подвижная связь.** Услуги для грузовых перевозок, а также автомобильной, морской и воздушной связи. Услуги, предоставляемые ICO для морских и воздушных пользователей, будут аналогичны услугам системы Inmarsat.

**Полуфиксированная связь.** Корпоративный рынок нефти - и газодобывающей промышленности, малый бизнес (склады, большие магазины и др.), телефоны общего пользования, установленные в сельской местности.

**Связь в интересах государственных структур.** Основные виды услуг, которые будут предоставлены этой категории пользователей, следующие: электронная почта, факсимильные и речевые сообщения.

#### Российский сегмент рынка

В последнее время российский телекоммуникационный рынок становится все более привлекательным для зарубежных поставщиков средств и услуг спутниковой связи. Одной из причин внедрения услуг персональной радиотелефонной связи в России - это обеспечение связи в условиях сельской местности, удаленных и труднодоступных районах, где внедрение обычных наземных систем представляется весьма проблематичным.

Россия является активным участником внедрения глобальных услуг спутниковой связи. В настоящее время разработаны два крупных системных проекта по созданию российского сегмента персональной спутниковой связи на базе систем Iridium и Globalstar. Наиболее вероятно, что вслед за ними на российский рынок придет система ICO, интересы которой в России представляет ГП "Морсвязьспутник".

Система ICO рассчитывает найти на российском рынке клиентов в следующих основных сферах:

- персональная связь для бизнесменов, находящиеся в поездках и нуждающиеся в мобильной связи для деловых целей;
- связь пользователей в труднодоступных местностях, районах с неразвитой структурой связи;
- связь и контроль автомобильных и морских перевозок;
- связь в интересах служб массовой информации, министерств и других правительственных учреждений.

#### Финансирование и сроки создания

В ICO входит более 50 организаций, которые инвестировали в проект по состоянию на июль 1997 г. 2,1 млн. долл., что составляет 75% от общей стоимости проекта (2,8 млрд. долл.). Более 75% акционеров - это национальные или местные операторы сотовой связи, которые удерживают около 25 % мирового рынка сотовой связи.

Первый спутник системы ICO планируется запустить в 1998 г. Связь по временной схеме начнется в середине 1999 г., а в 2000 г. систему предполагается полностью ввести в эксплуатацию.

При средней продолжительности разговоров 60 мин в месяц пропускная способность системы составит 1 млн. абонентов. Для сравнения можно отметить, что в системе Iridium при тех же условиях обслуживания их будет 600-800 тыс., а в Gbdsalstar-1 млн. абонент

Стоимость разработки и изготовления 12 КА оценивается в 1,3 млрд: долл., а их запуск обойдется в 900 млн. долл. По расчетам стоимость комплекта абонентской аппаратуры со-  
**-1500 долл.**, а поминутная оплата 2 долл.

---

Библиотека БГУИР

## **4. СИСТЕМЫ СВЯЗИ С КА НА ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОРБИТАХ**

Другое перспективное направление развития персональной связи связано с использованием эллиптической орбиты. Наиболее широкое распространение получила высокоэллиптическая орбита (ВЭО) типа "Молния". Преимущество такой орбиты заключается в том, что когда КА находится в верхней части орбиты над северным полушарием, то в зону обслуживания попадает вся территория России, включая высокоширотные районы. Спутник, выведенный на орбиту типа "Молния" (апогей 40000 км, перигей 460 км), обеспечивает сеансы связи продолжительностью 8-10 час, а система из 3-4 спутников - глобальную круглосуточную связь.

В настоящем разделе приведены данные по системам, использующим высокие и средневысотные эллиптические орбиты: Ellipso, Archimedes, "Полярная звезда". Орбитальная группировка с КА "Маяк" на ВЭО (система "Марафон") будет рассмотрена в разделе 6.1.

### **4.1. СИСТЕМА ELLIPSO**

Коммерческая система спутниковой связи Ellipso, работающая на средневысотных эллиптических и экваториальных орбитах, разрабатывается компанией MCH I (Mobile Communications Holding, Inc., США). Компания MCH I была создана в 1990. В 1991 г. образовались две дочерних компании MCH I: Ellipsat International Inc. (Делавер) и Ellipsat Corporation (округ Колумбия, США). Основными стратегическими инвесторами и партнерами MCH I, осуществляющими финансирование проекта Ellipso, являются: Orbital Sciences Corp. (1,91%), Westinghouse (1,91%), Harris Corp. (0,95%), Israel Aircraft Industries (3,81%), DC Limited Partnership (71,1%), Venture First Associates (9,7%).

Система предназначена для развития телекоммуникационных служб в интересах пользователей регионов (районов) с неразвитой инфраструктурой связи.

Среди классов систем персональной связи (см. раздел 1.3) Ellipso является единственной системой, которая предусматривает использование средневысотных эллиптических орбит с высоким наклоном. Характер движения спутников по таким орбитам - низкая скорость в области апогея и очень высокая при прохождении перигея - более всего подходят для систем регионального обслуживания. Именно этот принцип и положен в основу системы Ellipso, которая предназначена для обеспечения связью подвижных абонентов в наиболее населенных регионах Земного шара.

#### **4.1.1. ОСОБЕННОСТИ ОРБИТАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ**

Космический сегмент создается на средневысотных орбитах (не выше 8040 км) и состоит из двух орбитальных группировок (ОГ): Ellipso-Borealis и Ellipso-Concordia. Модель орбитальной структуры системы Ellipso приведена на рис. 4.1.

Известно, что Северное полушарие заселено в основном в более высокоширотных областях нежели Южное и охватывает гораздо большую площадь населенных регионов суши. Плотность населения там значительно выше, особенно для регионов севернее 40° с.ш., где расположены практически вся Европа, половина территории США, России, часть Японии и вся Канада. В южном полушарии все население занимает сушу от 0° до 40° ю.ш. Выше 40 градуса южной широты расположены: часть территории Аргентины, Чили, Новая Зеландия и о. Тасмания.

##### **Орбиты Ellipso-Borealis**

Структура космического сегмента системы Ellipso адаптирована к несимметричному распределению населения на территории Земли. Такая асимметрия отражена в выборе зон обслуживания. Северное полушарие (выше 20° северной широты) обслуживают спутники на орбитах Borealis. В эту группировку войдут 10 КА (2 - резервных), запущенные в двух орбитальных плоскостях.

Наклонение орбит выбрано равным 116,6°. При таком наклонении можно избежать эффекта вращения большой оси эллиптической орбиты. Апогей и перигей орбит соответственно равны 7840 км и 520 км. Время обращения спутника вокруг Земли составляет около 3 часов.

Для начального этапа обслуживания северного полушария достаточно иметь 8-10 КА на низких эллиптических орбитах. Эллиптические орбиты Borealis позволяют более рационально

использовать пропускную способность. Так, среднее время активной работы КА существенно больше, чем в случае круговых орбит. По мнению авторов проекта, группировка из 4 КА Borealis на эллиптических орбитах сможет обеспечить ту же эквивалентную пропускную способность, что и 6 КА на круговых орбитах.

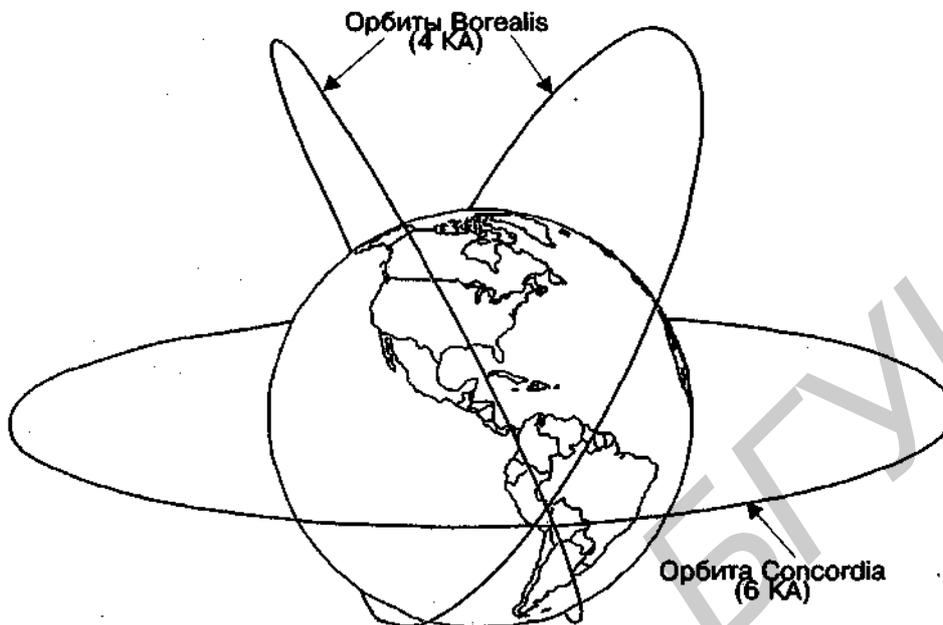


Рис. 4.1. Модель орбитальной структуры Ellipse (3 орбитальные плоскости)

Кроме того, орбиты Borealis являются синхронно - солнечными, что позволяет обслуживать максимальный трафик в освещаемых Солнцем регионах северной зоны. Увеличение количества КА до 10 позволит реализовать двукратное покрытие региона от 40° ю.ш. до 40° с.ш. и однократное примерно до 50° ю.ш.

Зависимость минимальных углов места от широты для указанных видов орбитальных группировок приведена на рис. 4.2.

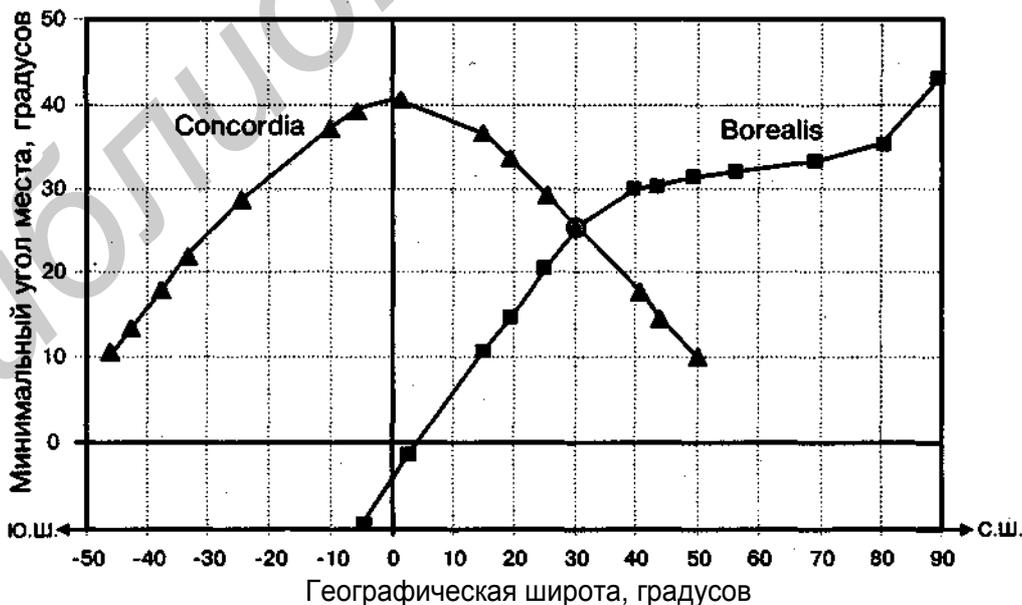


Рис. 4.2. Зависимость минимальных углов места от географической широты для орбит Borealis и Concordia

### Орбиты Ellipso-Concordia

Экваториальный пояс от 40° северной широты до 40° южной широты обслуживает группировка с КА на круговой экваториальной орбите Concordia. Несмотря на то, что спутники Concordia имеют низкую пропускную способность в высокоширотных районах, это практически не влияет на эффективность системы. Дело в том, что в южных высокоширотных районах относительно мало заселенных участков суши. Что же касается северных высокоширотных районов, то они обслуживаются группировкой Ellipse-Borealis. Таким образом, основная пропускная способность ОТ Ellipso-Concordia сконцентрирована на тропических широтах и в районах с умеренным климатом.

На начальном этапе создания системы орбитальная группировка Ellipso-Concordia будет состоять из 6 КА на круговой экваториальной орбите высотой 8040 км. Зона обслуживания, создаваемая на поверхности Земли, позволит обеспечить непрерывное покрытие поверхности Земли, полностью охватив тропические районы северного и южного полушарий. В дальнейшем планируется создать дополнительную ОГ из 4 КА, которая позволит охватить связью высокоширотные южные районы. Параметры орбит для двух орбитальных группировок приведены в табл. 4.1,

Таблица 4.1. Основные параметры орбитальных группировок

Наименование группировки	Ellipse- Borealis	Ellipso-Concordia
Апогей, км	7840	8040м
Перигей, км	520	8040
Наклонение	116,6°	0°
Коэффициент эллиптичности	0,346	0
Период обращения, час	3	4,67
Число плоскостей	2	1
Число КА в одной плоскости	4	6
Число резервных КА	2	1

Орбитальная группировка Ellipse обеспечивает работу под различными углами места. Связь с абонентами осуществляется под углами места не ниже 25°, однако в наиболее населенных регионах будет обеспечена работа при углах места более 40°.

### Космический аппарат

Спутники в системе Ellipse являются прозрачными ретрансляторами. Вся обработка информации осуществляется на земных станциях управления. В состав полезной нагрузки КА входят ретранслятор с усилителями и преобразователями частоты, бортовой GPS приемник, командно-телеметрический комплекс, управляемый двумя процессорами.

Ретранслятор осуществляет прием сигналов в L диапазоне, а передает сообщения в S диапазоне. На борту имеются две 6-лучевых антенны, предназначенные для обслуживания абонентских линий. Суммарная ширина полосы в каждом луче равна 12 МГц. Излучение в парциальном луче производится на разных частотах и видах поляризации (правая и левая круговая поляризация). Мощность передатчика от 20 до 25 Вт. Предполагается 5-кратное повторное использование частот. Потоки, принимаемые от всех лучей, объединяются в ретрансляторе и передаются в общем групповом потоке по фидерной линии. Связь по фидерной линии организуется в одном луче в C - диапазоне частот. Пропускная способность составляет 200 каналов на спутник. Перераспределение потоков в системе Ellipso между абонентскими и фидерными линиями связи иллюстрируется на рис. 4.3.

Масса КА, включая топливо, составляет 688 кг для орбиты Concordia и до 730 кг для орбиты Borealis. КА системы Ellipso рассчитаны на срок службы 5 лет. Потребляемая бортовыми системами мощность не превышает 1880 Вт на орбите Concordia и 1780 Вт на орбите Borealis.

Предполагается, что групповым запуском на орбиту будут выводиться по 5-6 КА с последующей их расстановкой в требуемых орбитальных плоскостях. Восполнение орбитальной группировки будет осуществляться путем запуска 1 -2 КА.

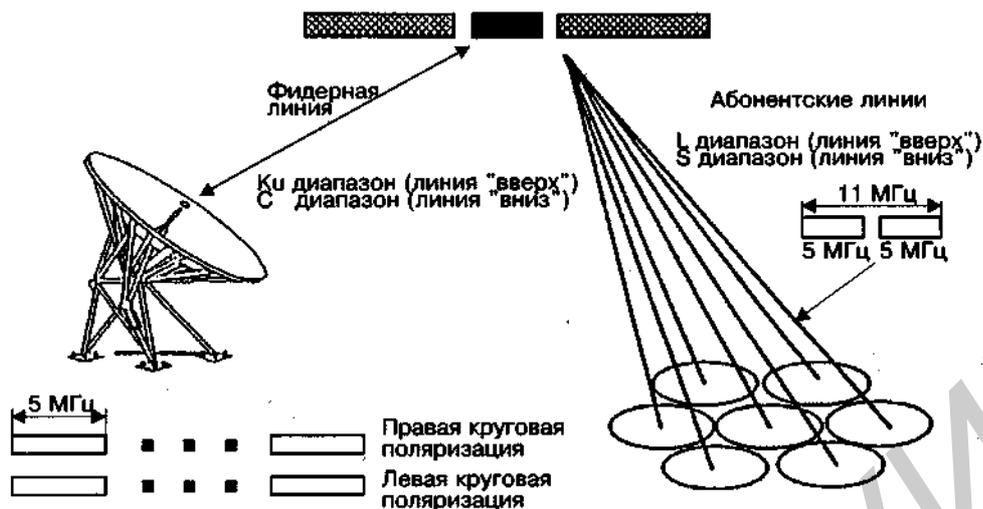


Рис. 4.3. Структура связи в системе Ellipso

#### 4.1.2. ЗЕМНЫЕ И АБОНЕНТСКИЕ СТАНЦИИ

Система Ellipso предлагает пользователям услуги: передача речи и данных, факс, пейджинг, электронная почта, определение координат абонентов по их требованию.

В состав системы Ellipso входят земные станции управления GCS (Ground Control Station) и региональные центры управления сетью RNCC (Regional Network Control Center). Каждая страна или регион, обслуживаемый орбитальной группировкой Ellipso-Borealis или Ellipso-Concordia, могут иметь одну или несколько станций GCS и один региональный центр RNCC. Станция GCS обрабатывает все поступающие на спутник заявки на установление соединения, осуществляет слежение за спутниками и управляет переключением абонентов с одного спутника на другой. Кроме того, станция GCS производит уплотнение и модуляцию сигналов. Фактически GCS является наземным пунктом входа в систему и выполняет функции станции сопряжения. В штатном режиме каждая GCS отслеживает два спутника, одновременно работая через них. Однако она в любой момент готова к приему сигналов с третьего КА.

Центр RNCC осуществляет обработку вызовов и управляет ресурсами КА. В функции RNCC входит учет информационной нагрузки в данном регионе, контроль работоспособности орбитальной группировки, определение динамики работы КА (определение моментов перехода с одного КА на другой и др.).

В каждой стране или регионе, где будет использоваться система, предполагается установить не менее одной наземной станции GCS и одного регионального центра RNCC. В состав системы Ellipso предполагается также включить несколько специальных центров управления, по крайней мере, два для обслуживания системы Ellipso-Borealis и два - для системы Ellipso-Concordia. Центры BCC (Borealis Control Center) будут расположены в США и, вероятно, еще в одной из северных стран.

#### Организация связи

В системе Ellipso используется метод многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA) с использованием широкополосных сигналов (ШПС) с базой около 500. Ширина полосы ШПС сигнала составляет 2,5 или 5 МГц. Выбор полосы частот зависит от вида обслуживания и условий эксплуатации. Предполагается, что подвижные абоненты обычно будут передавать данные в широкой полосе (5 МГц), в то время как для стационарных пользователей предназначена более узкая полоса. Для защиты от ошибок используется сверточное кодирование ( $r = 1/3$ ,  $k = 9$ ).

Информационная скорость передачи (данные, речь) выбрана равной 4,8 кбит/с. Использование ретранслятора без обработки сигналов и наличие энергетического запаса обеспечивает возможность работы терминалов и с более высокой скоростью, особенно когда нагрузка системы невелика.

Для организации информационного обмена с абонентами в системе имеются несколько специальных служебных каналов, работающих в пакетном режиме. Информация, передаваемая по этим каналам, позволяет терминалам пользователей контролировать состояние связи,

выделять синхросигналы, передавать и принимать вызывные сигналы. Работа системы осуществляется следующим образом. Когда терминал Ellipso активен, то он контролирует один или несколько каналов сигнализации. После окончания процедуры установления связи наземная станция управления GCS присваивает код последовательности ШПС, и осуществляется речевая связь. В процессе переговоров служебная информация может передаваться по информационному каналу. Служебные биты, например, команды регулировки мощности передатчика, вставляются непосредственно в информационную последовательность.

Некоторые типы коротких сообщений (пейджинг, запросы на определение местоположения и др.) передаются в пакетном режиме по каналу сигнализации. В системе предполагается также использовать помехоустойчивый канал для передачи сигналов вызова. По сравнению с обычным речевым каналом связи он будет иметь энергетический запас, равный примерно 10 дБ.

В системе Ellipso возможно установление связи с абонентом одновременно через два КА. Это достигается за счет того, что сигнал, излучаемый земной станцией, может одновременно приниматься несколькими спутниками. После ретрансляции эти сигналы поступают на земную станцию управления, которая выбирает наибольший из них. В результате обеспечивается эффективная борьба с замираниями. Кроме того, при неисправности одного из спутников связь автоматически устанавливается через другой, поскольку контроль за уровнем принимаемых сигналов позволяет всегда выбрать наилучший маршрут.

В системе Ellipso используются три типа терминалов: стационарные, мобильные и портативные. Стационарные терминалы предполагается оснастить следящей антенной с коэффициентом усиления 10 дБ. Добротность стационарного терминала равна минус 13 дБ/К.

Мобильные и портативные терминалы системы Ellipso смогут работать в наземных сотовых сетях, причем переключение радиолинии с базовой станции сотовой сети на спутник производится без прерывания связи.

В портативных и мобильных терминалах предполагается использовать антенну с полусферической диаграммой направленности. Номинальная мощность передатчика мобильного терминала составляет 1 Вт, а портативного - не более 0,25 Вт. В случае возникновения замираний выходная мощность мобильного терминала может быть увеличена до 5 Вт, а портативного - до 1 Вт. Добротность портативного и мобильного терминала составляет -25,4 дБ/К и -21,0 дБ/К соответственно.

### **Рынки, услуги и сроки создания**

Проект системы Ellipso предполагает возможность ее адаптации к потенциальному рынку путем выбора орбитальной группировки спутников и перераспределения трафика с учетом географии обслуживаемых зон.

Система рассчитана на обслуживание до 250 тыс. пользователей в пределах Северной Америки. Однако с учетом наиболее населенных регионов Земли их число может возрасти до 1 млн. пользователей. В общем трафике доля абонентов речевой связи составит 66%, а остальное - это абоненты сети передачи данных и службы RDSS.

Компания MCH1 имеет лицензию FCC США на создание полномасштабной системы Ellipso с орбитальной группировкой из 17 КА (3 резервных). Стоимость проекта Ellipso составляет 910 млн. долл. Первый запуск спутников предполагается осуществить в 1999 г. Начало коммерческой эксплуатации запланировано на начало 2000 г.

Ожидаемая цена терминалов составит примерно 1000 долл. через 1-2 года после начала предоставления услуг. В дальнейшем предполагается снизить цену терминалов до 500 долл. Для абонентов подвижной спутниковой связи планируется установить абонентскую плату - 35 долл. в месяц и тариф за 1 минуту телефонной связи - 0,5 долл. С абонентов фиксированных служб связи Ellipso планируется брать абонентскую плату только за трафик, при этом стоимость телефонной связи должна снизиться до 0,12 долл./мин.

## **4.2. СИСТЕМА ARCHIMEDES**

Система связи Archimedes создается по инициативе Европейского космического агентства. Она предназначена для обеспечения персональной радиотелефонной связи и цифрового радиовещания на территории, охватывающей Европу, Дальний Восток и большую часть Северной Америки (севернее 40° с.ш.).

Разработку космических аппаратов осуществляет компания Spar Aerospace Ltd. Ориентировочные сроки развертывания системы - 1999 г.

В состав космической группировки входят 6 КА, расположенных на высокоэллиптической орбите: апогей 26737 км, перигей 1000 км<sup>1</sup> [39]. Наклонение орбиты - 63,6°, рабочий участок орбиты начинается примерно с высоты 20 000 км. Вывод на орбиту спутников предполагается осуществить с помощью PH Delta III или PH Atlas 2.

В системе Archimedes, предполагается использовать прозрачный ретранслятор типа "bent-pipe", антенная система которого диаметром 5 м формирует 6 лучей с шириной 2,8°. Мощность бортовой системы электропитания составляет около 2500 кВт.

Связь с подвижными абонентами организуется в L диапазоне частот. Основные параметры бортового ретранслятора: ЭИИМ - 62,5 дБВт, добротность G/T - плюс 8 дБ/К. Работа фидерной линии организуется в K<sub>u</sub> диапазоне.

В качестве абонентской аппаратуры предполагается использовать три базовых типа терминалов: персональные, портативные (размерами с Notebook) и мобильные. Скорость передачи может изменяться в зависимости от режима обслуживания: 4,8 кбит/с (местная связь) и 9,6 кбит/с (междугородная связь). Метод модуляции - OQPSK. Персональная радиотелефонная связь будет обеспечена с помощью малогабаритного терминала типа "телефонной трубки". Основные параметры персонального, портативного и мобильного терминалов приведены в табл. 4.2.

**Таблица 4.2.** Основные параметры связных терминалов системы Archimedes

Тип терминала	Персональный	Портативный типа Notebook	Мобильный
Скорость передачи, кбит/с	4,8.. 9,6	4,8.. 9,6	4,8.. 9,6
Мощность передатчика, Вт	0,5	0,25	2,3
ЭИИМ, дБВт	7	8,5	17
Добротность G/T, дБ/К	-22,5	-15	-19,5

### 4.3. ПРОЕКТ "ПОЛЯРНАЯ ЗВЕЗДА"

Проект национальной системы персональной спутниковой связи "Полярная звезда" разрабатывается РКК "Энергия" и АО Газком" [19]. К работе привлечены фирма Space Systems/Loral (США) и компания Globalstar (США)<sup>2</sup>.

Идея создания системы персональной связи "Полярная Звезда" основана на объединении двух передовых технологий спутниковой связи: использовании перспективных геостационарных КА среднего класса типа "Ямал-200" и совместимости по радиотракту с системой Globalstar.

Орбитальную группировку предлагается создать на базе 4 спутников типа "Ямал-200" на высокоэллиптических орбитах (ВЭО) типа "Молния", что обеспечит охват всей территории России, включая высокоширотные районы (на широтах севернее 60° с.ш.).

Авторы проекта "Полярная звезда" предлагают создать модифицированную под условия ВЭО платформу "Ямал-200" с разворачиваемыми в космосе антенными отражателями.

В системе используется многостанционный доступ с кодовым разделением каналов (CDMA), методы приема и обработки таких сигналов, разработанные при создании системы Globalstar, а также весь наземный комплекс сети Globalstar.

На борту КА "Полярная звезда" предлагается разместить фазированные антенные решетки Globalstar (L и S диапазонов), которые используются в качестве облучателей 8-ми и 6-метровых параболических отражателей. Такое решение позволит обеспечить такую же плотность потока мощности у поверхности Земли, как и в случае низкоорбитального КА Globalstar, а, следовательно, позволит использовать персональные терминалы типа "телефонной трубки", разработанные для этой системы.

Основные характеристики спутников и полезной нагрузки системы "Полярная звезда" приведены в табл. 4.3.

<sup>1</sup> По другим данным орбитальная группировка системы Archimedes будет состоять из 4 КА, выведенных на орбиту типа "Молния" с периодом обращения 12 часов [ 60 ].

<sup>2</sup> Нижеприведенные материалы по проекту "Полярная звезда" излагаются по состоянию работ на январь 1998 г.

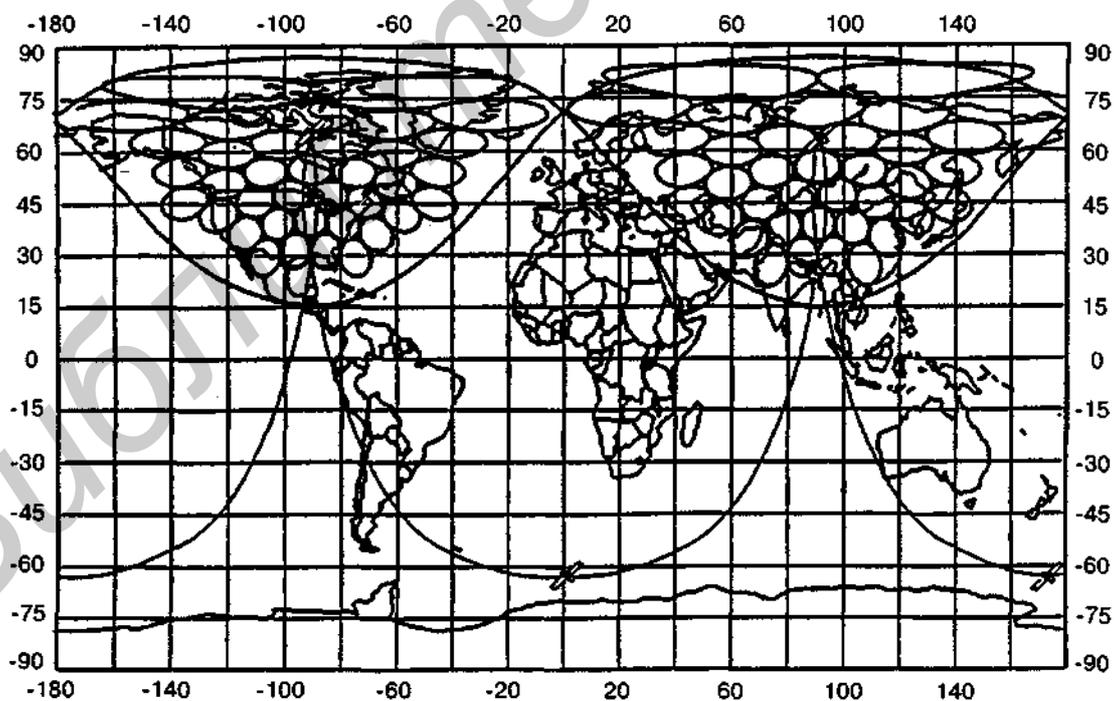
**Таблица 4.3.** Характеристики космического комплекса "Полярная звезда"

Характеристики космического аппарата	
Тип орбиты	ВЭО типа "Молния"
Масса	2100 кг
Точность поддержания КА на орбите	0,1°
Точность ориентации антенн КА	0,1°
Мощность полезной нагрузки	3400 Вт
Срок активного существования	8-10 лет
Средства выведения	РН "Союз-2"
Срок первого запуска	2000 г
Характеристики ретранслятора	
Диапазоны частот	L/S/C
Количество лучей на КА	32
ЭИИМ на канал	30,2 дБВт
Количество каналов на 4 КА стационарный/мобильный абонент	8000/1000

В системе "Полярная звезда" предполагается использовать также стационарные терминалы с антеннами 0,3-1 м и мини-АТС, предназначенные для организации телефонной связи в сельской местности, а также мобильные терминалы, устанавливаемые на все виды транспорта и имеющие характеристики, близкие к терминалу типа "телефонная трубка".

Система "Полярная звезда" сможет обеспечить практически те же виды услуг, что и система Globalstar: речевую связь (CELP вокодер с переменной скоростью 1,2 - 9,6 кбит/с), передачу данных и факсимильных сообщений со скоростью до 4,8 кбит/с, а также роуминг с наземными сетями сотовой радиосвязи (GSM и других стандартов).

На основном и сопряженном витках космический комплекс "Полярная звезда" обслуживает практически все Северное полушарие, включая полярные области. Зоны обслуживания системы приведены на рис. 4.4. Первый запуск КА "Полярная звезда" запланирован на 2000 г.



**Рис. 4.4.** Мгновенные зоны покрытия Земли КА "Полярная звезда"

## **5. ПРОЕКТЫ СИСТЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

В настоящем разделе будут рассмотрены проекты широкополосных спутниковых систем, ориентированных на предоставление таких услуг как высококачественная речевая связь, мультимедиа, конференц-связь, доступ к удаленным базам данных, доступ в Internet, интерактивная связь с возможностью приема видеоизображений, т.е. предоставление таких видов услуг, которые пока недоступны подвижным абонентам.

Эволюция спутниковых систем, по словам Рассела Даггата, президента компании Teledesic, напоминает процессы в компьютерной технике, когда большие ЭВМ постепенно уступили место персональным компьютерам. Аналогичное явление происходит и со спутниковой связью: переход от тяжелых геостационарных КА к сравнительно легким низкоорбитальным.

Услуги для стационарных пользователей могут быть предоставлены с помощью глобальных и региональных систем широкополосной связи, использующих LEO<sup>1</sup>, MEO и GEO орбиты. Перечень некоторых перспективных проектов систем спутниковой связи и их сравнительные характеристики приведены в табл. 5.1.

Рассмотреть все перечисленные в табл. 5.1 проекты в рамках данной работы не представляется возможным, поэтому ограничимся лишь описанием некоторых из них. Однако этого достаточно, чтобы проследить основные тенденции развития перспективных систем высокоскоростной спутниковой связи. К числу основных тенденций развития ФСС относятся:

- наращивание пропускной способности за счет увеличения количества ретрансляционных стволов на спутнике, развертывания новых сетей в Ka диапазоне (20/30 ГГц);
- увеличение энергетических показателей ретрансляторов (ЭИИМ и G/T стволов);
- расширение сферы телекоммуникационных услуг и решение проблемы перегруженности ГСО в результате перехода на низкие и средневысотные орбиты;
- повышение эффективности использования частотно-орбитального ресурса за счет ретрансляторов с обработкой информации, многолучевых антенн и повторного использования частот;
- наращивание парка ЗС с одновременным снижением габаритов и стоимости абонентских терминалов, уменьшением размеров антенн.

В настоящем разделе приведены технико-экономические данные по проектам Teledesic, Celestri, Spaceway, Skybridge и SECOMS.

### **5.1. СИСТЕМА TELEDESIC**

Система Teledesic - это проект сверхбольшой спутниковой сети связи с распределенной архитектурой. Система обеспечит возможность доступа к перспективным службам связи, осуществляющим широкополосную передачу в режиме предоставления "полосы по требованию"; высокоскоростной доступ к сети Internet; доступ для удаленных пользователей к перспективным службам связи. Она расширит услуги локальных и глобальных сетей и мультимедийные услуги в интерактивном режиме.

Разработку системы Teledesic осуществляет корпорация Teledesic Corporation, США. Компания основана в 1990 г., ее штаб-квартира находится в Кирклэнде, пригороде Сиэтла, шт Вашингтон. Учредителями Teledesic Corp. являются компании Mc Cow Cellular Communications и Microsoft Corp. В качестве разработчика КА и основного стратегического партнера Teledesic выступила компания Boeing.

Основная идея создания системы Teledesic - модернизация существующей телекоммуникационной инфраструктуры. При этом технологии, используемые для доступа в сеть должны быть совместимы с реальными существующими стандартами наземных сетей. Протоколы и стандарты, которые будут использоваться в спутниковых каналах, пока окончательно не утверждены, однако ясно, что они должны обеспечивать малое время ожидания и высокие скорости передачи данных, характерные для волоконно-оптических линий связи.

<sup>1</sup> По аналогии с низкоскоростными системами классов little LEO и big LEO системы широкополосной связи, использующие низкоорбитальные КА, называются также mega LEO или super LEO.

**Таблица 5.1.** Проекты систем широкополосной спутниковой связи (служба ФСС)

Наименование системы	Разработчик	Кол-во КА	Тип орбиты и ее характеристики	Скорость передачи, кбит/с	Стоимость проекта, млн.долл
Astrolink	Lockheed Martin	9	29° з.д., 96° з.д., 37° в.д., 114° в.д., 168° в.д	н/д	4,0
Celestri	Motorola	9 63	GEO LEO	2048... 155520	12,9
Cyberstar	Loral Space & Communications	3	1 10° з.д., 25,5° в.д., 105,5° в.д	384... 3088	1,5
Echostar	Echostar	2	119° з.д., 85° з.д	384... 1500	0,3
GE*Star	GE Americom	9	106° з.д., 82° з.д., 16° в.д , 38° в.д., 108 в.д	384	4,0
KaStar	KaStar Satellite Communications Corp	2	29° з.д., 96° з.д., 37° в.д., 114° в.д., 168° в.д	384	0,37
Millenium	Motorola	4	86° з.д., 88° з.д., 103° з.д., 105° з.д	384-1500	0,28
MoningStar	MoningStar Satellite Co.	4	69,5° з.д., 148° з.д., 30° в.д., 107,4° в.д.,	н/д	0,28
NetSat28	NetSat28 Co. LLC.	1	103° з.д.	384-1500	0,25
Orion	Orion Network Systems Inc	8	47° з.д., 126° в.д., 139° в.д., 127° з.д., 93° з.д., 78° в.д., 83° з.д., 11° з.д.,	64-2048	1,5
PanAmSat	PanAmSat	2	58° з.д., 79° з.д.,	н/д	1,8
SECOMS	Alenia Spazio		GEO с МСП	64... 2048	н/д
Skybridge	Alcatel Espace	64	LEO	n x 2560	5,1
Spaceway	Hughes Communications Inc	8 20	GEO MEO	384... 6000	6,6
Teledesic	Teledesic Corp	288	LEO	16... 2048	9,0
VisionStar	Cellular Vision	1	105° з.д.	н/д	н/д
VoiceSpan	AT&T	12	(2) 93° з.д., (2) 54° з.д., (2) 42° в.д., (2) 1° з.д., (2) 92° в.д., (2) 116° в.д.	н/д	3,2

### 5.1.1. ВОЗМОЖНОСТИ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ TELEDESIC

Система Teledesic обеспечивает передачу информации в режиме "предоставления полосы частот по запросу" (bandwidth on demand) со скоростью передачи данных от 16 до 2048 кбит/с (стандарт E-1). Кроме того, для отдельных станций предусмотрена и более высокая скорость - 1,24416 Гбит/с (стандарт OC-24). Широкий набор скоростей позволяет гибко и эффективно приспособить ресурсы системы к требованиям абонентов.

Качество обслуживания в системе Teledesic сравнимо с современными линиями ВОЛС. Надежность связи в средних широтах составит 99,9 при вероятности ошибки на бит  $10^{-9}$ .

После ввода в эксплуатацию спутниковая система будет иметь емкость, эквивалентную пиковой нагрузке более, чем 2 млн. одновременно устанавливаемых дуплексных соединений с базовой скоростью 16 кбит/с. Реальная же емкость системы будет зависеть от средней скорости передачи в канале и его загруженности. Особенности построения системы Teledesic позволяют произвести наращивание ее пропускной способности без изменения архитектуры

и распределения частот. Приведенные выше оценки сделаны с учетом реального (неравномерного) распределения абонентов по поверхности Земли. В результате система обеспечит круглосуточный сплошной охват более 95% поверхности Земли и почти 100% ее населения.

### **Космический сегмент**

Архитектура системы Teledesic уникальна и достаточно сложна. В соответствии с первоначальными планами разработчиков на орбиту высотой от 695 до 705 км планировалось вывести 840 КА (с учетом резерва 924). Спутники должны были располагаться в 21 орбитальной плоскости по 40 основных плюс 4 резервных КА в каждой. Впоследствии количество КА сократилось до 288 (с учетом резерва 324), однако принципы построения системы в целом сохранились прежние.

Связь между соседними КА будет обеспечиваться с помощью межспутниковых линий (МСЛ). Такое построение системы создает возможность глобального охвата поверхности Земли.

Орбитальные плоскости имеют наклонение, характерное для солнечно-синхронных орбит (приблизительно  $98,2^\circ$ ). Восходящие узлы орбиты прилегающих плоскостей распределены через  $9,5^\circ$  по экватору, а спутники в них движутся в одном и том же направлении. Между спутниками прилегающих плоскостей нет фиксированной фазовой зависимости, т.е. положение КА на одной из орбит не связано с положением спутников на других орбитах.

Спутник Teledesic в соответствии с первоначальными планами разработчиков внешне похож на цветок с 8 "лепестками" и большой, закрепленной на мачте, панелью солнечных элементов. Каждый лепесток состоит из 3 антенн с фазированной антенной решеткой, встроенными управляющим и приемопередающим модулями. В транспортном положении спутник будет представлять цилиндр со следующими размерами: диаметр - 4,2 м, высота - 1,3 м. Вес спутника Teledesic составляет 795 кг. На нем будет установлена 12 - метровая панель с солнечными элементами и выходной мощностью 11595 Вт.

Следует отметить, что в связи с изменением в 1997 г. концепции построения системы Teledesic и появления нового стратегического партнера в лице компании Boeing, ряд параметров системы в ходе проектирования могут быть изменены. Так, новые спутники, по утверждению компании Boeing, будут иметь большую массу, повышенную энерговооруженность и пропускную способность, при этом их стоимость не будет превышать той, которая указана в первоначальном проекте.

Срок активного функционирования КА на орбите составляет 10 лет. Его стареющие или расходимые компоненты, от которых в наибольшей степени зависит продолжительность работы КА (солнечные панели, батареи, топливо), подобраны таким образом, чтобы превысить 10-летний рабочий ресурс.

В состав системы будет входить на первом этапе 36 запасных ("летающих") КА, которые предполагается использовать для немедленного резервирования вышедших из строя космических аппаратов. Спутники, которые отработали свой ресурс или сняты с эксплуатации, будут уводиться с орбиты. В ходе спуска в атмосферу они будут разрушаться и не превращаться в "космический мусор".

В системе Teledesic организуются абонентские и межспутниковые линии связи, а также каналы для обмена командно-телеметрической информацией. Для связи с абонентами используется диапазон частот: 28,6-29,1 ГГц (линия "Земля-спутник") и 18,8-19,3 ГГц (линия "спутник-Земля"), который выделен, согласно международному распределению частот, для связи со стационарными объектами. Чтобы избежать больших потерь при распространении сигналов, связь обеспечивается только при больших углах радиовидимости КА (более  $40^\circ$ ). Низкие орбиты, как известно, обеспечивают высокую надежность работы и задержки, характерные для ВОЛС, а абоненты могут работать с маломощными терминалами, используя малогабаритные антенны. Сочетание же низких орбит и высоких углов приводит к малой зоне охвата территории одним спутником и вследствие этого требует большое число КА для глобального перекрытия.

Межспутниковая связь в системе Teledesic организуется в диапазоне крайне высоких частот (КВЧ): 69,5-60,5 ГГц и 62,5-63,5 ГГц. Скорость передачи в межспутниковой линии - 155,52 Мбит/с, а при сложении потоков информации всех восьми МСЛ пропускная способность увеличивается до 1,24416 Гбит/с.

### **Структура сети Teledesic**

Структура сети связи Teledesic представлена на рис. 5.1. В ее состав входят станции управления сетью, станции сопряжения, стандартные терминалы со скоростью передачи от 16 до 2048 кбит/с и высокоскоростные терминалы (GigaLink Terminal) со скоростью передачи

до 1,24416 Гбит/с. В системе будет применяться высокоскоростной метод коммутации пакетов, базирующийся на асинхронном режиме ATM (Asynchronous transfer mode), который используется в широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания B-ISDN.

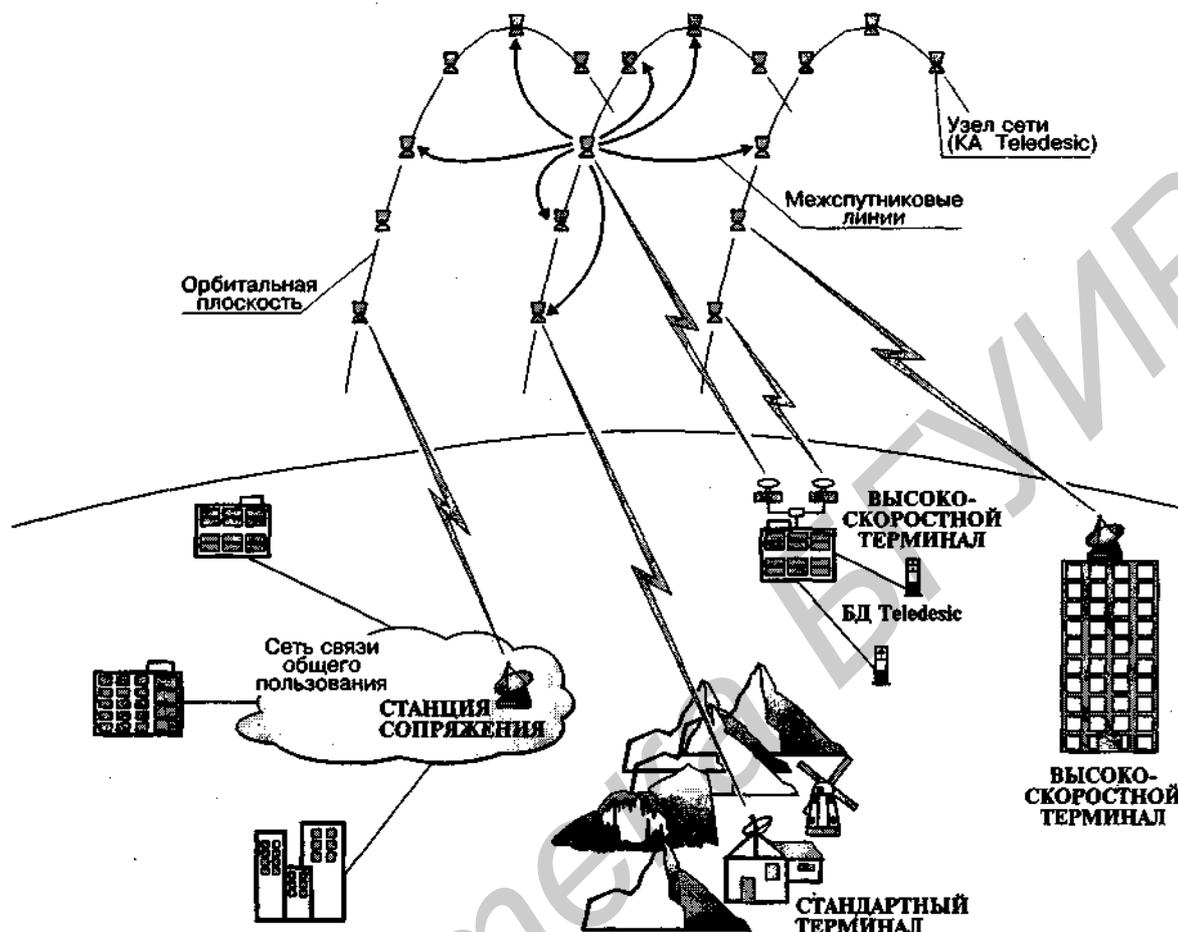


Рис. 5.1. Структура сети связи системы Teledesis

Каждый спутник является узлом сети с быстрой коммутацией пакетов. Он связан с 8 соседними КА с помощью межспутниковых линий. Как наглядно видно из рис. 5.1, с помощью межспутниковых линий в космосе создается 8-связная неиерархическая "геодезическая" (ячеистая) сеть связи. Поскольку положение каждого спутника неизменно относительно других КА в той же орбитальной плоскости, то конфигурация сети является хотя и жесткой, но достаточно устойчивой к возникновению отказов и локальным перегрузкам.

Топология сети связи, использующей низкоорбитальные КА, является динамически изменяемой. Выбор маршрута передачи пакета с минимальной задержкой обеспечивается за счет распределенного адаптивного алгоритма маршрутизации.

В сети Teledesis используется протокол без установления соединений (connectionless protocol). Пакеты данных могут проходить через сеть по различным маршрутам. Каждый узел независимо от других направляет пакеты по маршруту, который в данный момент обеспечивает их продвижение к месту назначения с наименьшей задержкой. Доставленные пакеты накапливаются в терминале. Адаптивный алгоритм маршрутизации позволяет восстановить первоначальную последовательность пакетов в терминале в случае, если нарушен порядок их следования.

Передача данных и речи осуществляется в виде коротких пакетов фиксированной длины (512 бит). Пакеты передаются со скоростью 16 кбит/с по базовому (B-каналу) и связанному с ним служебному каналу (D-каналу), предназначенному для сигнализации и управления со скоростью 2 кбит/с. Для повышения скорости передачи 8 базовых каналов могут быть сгруппированы в стандартный поток, широко используемый в ISDN - типа "2B+D" со скоростью

передачи 144 кбит/с (128+16), т.е. 9 каналов по 16 кбит/с, один из которых является служебным.

### **Земной сегмент**

Все стационарные станции системы, включая и абонентские, работают в Ка диапазоне. В линии "Земля-спутник" предусматривается динамическая регулировка выходной мощности передатчика. Мощность будет минимальной при отсутствии осадков и может динамически увеличиваться для компенсации ослабления сигналов во время дождя.

В системе предполагается задействовать несколько типов терминалов с различной скоростью передачи данных. Терминалы могут работать со скоростью от 16 кбит/с (базовый канал) до 2048 кбит/с (эквивалентно 128 базовым каналам). Наряду со стационарными, в переспективе предполагается использовать и возимые терминалы.

Средняя мощность излучения передатчика может изменяться в пределах от 0,01 Вт до 4,7 Вт в зависимости от диаметра параболической антенны (от 16 см до 1,8 м), скорости передачи данных и климатических условий, причем для обеспечения устойчивой связи, как показывают расчеты, достаточна мощность излучения 0,3 Вт при максимальных размерах антенны. В пределах своей зоны обслуживания каждый КА сможет обеспечить работу терминалов с суммарной пропускной способностью, эквивалентной 100 000 одновременно работающих "базовых каналов".

Для пользователей, которым требуются высокоскоростные услуги, предусмотрена возможность работы в стандарте OC-3 (155,52 Мбит/с), а при сложении пропускной способности отдельных каналов со скоростью стандарта OC-24 (1,24416 Гбит/с). При тех же размерах антенн излучаемая мощность может изменяться в пределах от 1 Вт до 49 Вт в зависимости от скорости передачи и климатических условий региона. Для устранения замираний радиосигналов, обусловленных потерями в осадках, предполагается использовать пространственное разнесение антенн.

Терминалы с высокой скоростью передачи могут обеспечить сопряжение с сетями общего пользования, станциями управления сетью, базами данных сети Teledesic, включая центры оперативного управления и контроля сети (NOCC) и центры оперативного управления и контроля спутниковой группировкой (SOCC).

## **5.1.2. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ В СИСТЕМЕ TELEDESIC**

### **Фиксированная сотовая структура на поверхности Земли**

Одним из преимуществ небольших размеров зон, создаваемых на поверхности Земли, является возможность обслуживания каждым спутником всей территории в пределах его зоны при помощи нескольких узконаправленных сканирующих лучей, нацеливаемых в определенный момент времени на единственный малоразмерный элемент сотовой структуры.

Малые размеры элемента позволяют обеспечить эффективное повторное использование частот, высокую плотность каналов и малую мощность излучения передатчиков. Однако, если эта сотовая структура будет смещаться относительно поверхности Земли вместе со спутником (приблизительно со скоростью 25000 км/с), то терминал будет обслуживаться в пределах одного и того же сотового элемента только несколько секунд. После чего необходимо будет производить "переназначение" канала на следующий элемент. Известно, что частое "переназначение" каналов приводит к неэффективному их использованию. Для сведения к минимуму потери пропускной способности из-за частого "переназначения" каналов в Teledesic предлагается использовать сотовую структуру, фиксированную относительно поверхности Земли.

Всю поверхность Земли предлагается разделить сеткой приблизительно из 20000 неподвижных сотовых "суперэлементов", каждый из которых, в свою очередь, состоит из 9-ти сотовых элементов. Каждый суперэлемент представляет собой квадрат размером 160x160 км. Сотовые суперэлементы сгруппированы в пояса, параллельные экватору. В поясе, размещенном на экваторе, должно содержаться приблизительно 250 сотовых суперэлементов, причем их количество уменьшается с увеличением географической широты. Поскольку количество суперэлементов в поясе не является постоянным, их границы в направлении "север-юг" не будут совпадать.

В зону на поверхности Земли, обслуживаемую спутником связи, могут входить максимум 64 суперэлемента или 576 сотовых элементов. Фактическое количество элементов, находящихся в зоне радиовидимости КА, будет изменяться в зависимости от его положения на орбите и расстояния до соседних КА. В общем случае, управление обслуживанием суперячейки возлагается на ближайший к ее центру спутник. По мере прохождения спутника он пе-

ренацеливает лучи диаграммы направленности своей антенны на фиксированные сотовые элементы в пределах его зоны обслуживания.

При этом лучами антенны компенсируется движение КА относительно поверхности Земли и ее вращение. Аналогией является звено гусеницы бульдозера, которое остается в контакте с одной и той же точкой, в то время как бульдозер продвигается над ней.

Ресурсы каждого канала связи (частоты, интервалы времени) закреплены за определенным элементом сотовой структуры. Пока терминал остается в пределах одного и того же фиксированного относительно поверхности Земли суперэлемента, он сохраняет назначенные параметры канала в течение всего сеанса связи, независимо от количества используемых КА и лучей диаграммы направленности. Переназначение каналов будет скорее исключением, чем правилом. Таким образом, будет устранена большая часть проблемы, связанная с управлением частотами и предоставлением каналов.

На борту каждого КА хранятся данные, которые задают тип обслуживания, который надо проводить в пределах каждого фиксированного относительно Земли сотового элемента. Небольшие размеры элементов сотовой структуры позволяют системе Teledesic эффективно решить проблему ЭМС в отдельных районах земного шара и привязать границы обслуживаемых участков поверхности к национальным границам. Ту же задачу трудно было бы решить при больших размерах сотовых элементов или при их перемещении по поверхности вместе со спутником.

### **Метод многостанционного доступа**

Для обеспечения эффективного использования выделенного спектра частот в системе Teledesic будет использоваться комбинация методов многостанционного доступа с пространственным (SDMA), частотным (FDMA) и временным (TDMA) разделением каналов. Каждому сотовому элементу в пределах суперэлемента будет выделяться один из 9 временных интервалов. Данные передаются во всей полосе частот в течение выделенного временного интервала. Передающий и приемный лучи антенны спутника будут периодически сканировать все 9 сотовых элементов. В результате в пределах одного суперэлемента обеспечивается временное разделение-каналов. Методы многостанционного доступа показаны на рис. 5.2.

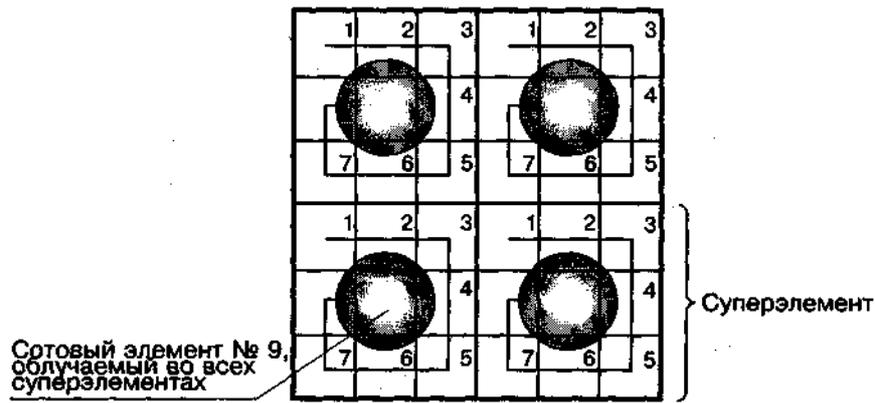
Передача данных с борта КА синхронизируется таким образом, чтобы элементы с номером  $N$  ( $N=1...9$ ) всех суперэлементов принимали сигнал в одно и то же время. Это позволяет скомпенсировать задержку, обусловленную разным временем распространения сигнала. Передача данных от терминалов на спутник также будет синхронизирована так, чтобы с элементов сотовой структуры под одним и тем же номером всех суперэлементов из зоны обслуживания она проходила одновременно. Применение пространственно-временного разделения в сочетании с разделением лучей с левосторонней и правосторонней поляризацией позволит устранить взаимные помехи между элементами, сканируемыми в один и тот же момент времени в смежных суперэлементах. Наличие защитных интервалов устранил перекрытие сигналов, получаемых от следующих по времени элементов.

В пределах выделенного временного интервала для передачи в направлении "Земля-спутник" используется разделение по частоте, а в направлении "спутник-Земля" - асинхронное разделение по времени.

Для передачи в направлении Земля-спутник терминалу выделяется один или несколько частотных интервалов. В каждом периоде сканирования, равным  $T = 23,111$  мс, в выделенном временном интервале передается один пакет. Общее количество выделенных интервалов определяет максимальную скорость передачи данных терминала. В общей сложности стандартному терминалу выделяется 1440 временных интервалов на период сканирования  $T$  по одному сотовому элементу.

В направлении связи спутник-Земля в течение интервала времени сканирования луча по каждому элементу спутник передает серию пакетов, адресованных терминалам, расположенным в пределах зоны сотового элемента. В заголовке каждого пакета указан адрес терминала. Стандартному терминалу, работающему со скоростью 16 кбит/с, требуется один пакет на интервал времени сканирования. Скорость передачи в линии "вниз" составляет 1440 пакетов на сотовый элемент в течение периода сканирования  $T$ . Спутник ведет передачу только в течение того времени, которое необходимо для отправки всех пакетов, находящихся в очереди на отправку.

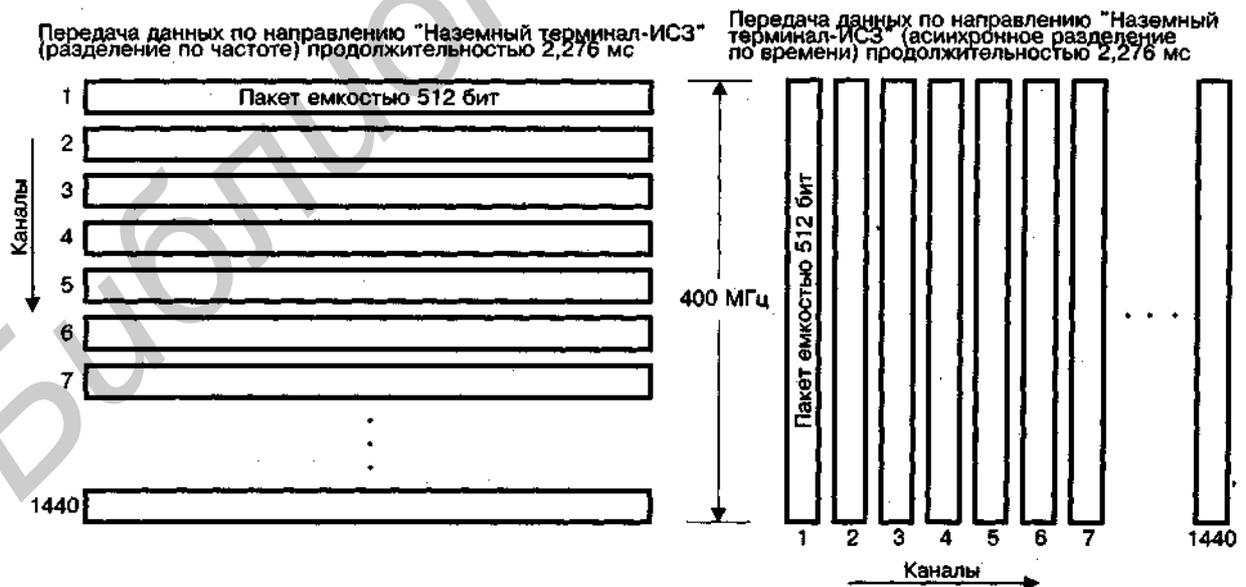
Сочетание жесткой фиксации сотовой структуры относительно поверхности Земли и различных методов многостанционного доступа дает возможность с большой эффективностью использовать выделенный спектр частот. Система Teledesic будет повторно использовать свой выделенный спектр свыше 350 раз на континентальной части США и 20000 раз - на поверхности Земли.



### ИЗОБРАЖЕНИЕ СКАНИРОВАНИЯ ЛУЧА ПО СОТОВОМУ ЭЛЕМЕНТУ



### ЦИКЛ СКАНИРОВАНИЯ ПО ЭЛЕМЕНТАМ



### МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ КАНАЛОВ В ЭЛЕМЕНТЕ

Рис. 5.2. Принцип организации многостанционного доступа в системе Teledesic

## **Управление системой**

В Teledesic используется децентрализованное управление, распределенное среди элементов сети связи. Терминалы и другие элементы системы используют пакетный протокол, аналогичный D-каналу стандарта ISDN и системе сигнализации №7 МККТТ. Передача и прием этих "служебных" пакетов осуществляется аналогичным образом, как и информационных пакетов.

Наиболее сложные проблемы управления связаны с рассредоточенными наземными средствами, которые через высокоскоростные терминалы связаны со спутниковой аппаратурой. В наземной базе данных содержится информация о возможностях терминалов (абонентов), режимах их обслуживания, идентификаторах и кодовых ключах, маршрутах прохождения сигналов и другая информационно-управленческая информация.

В системе Teledesic предусмотрены три уровня управления. Высший уровень обеспечивают станции сопряжения (СС). Процессор СС контролирует прохождение вызовов и внутри-сетевые переговоры. В станции сопряжения разделяется служебная (пакеты управления) и полезная информация. На процессор поступают только пакеты управления, а пакет с полезной информацией - на коммутатор СС, который обрабатывает входящие вызовы. Далее пакеты с полезной информацией передается через сеть по маршруту, обеспечивающему наименьшую задержку.

Находящийся на спутнике коммутатор осуществляет функции контроля переговоров на среднем уровне. Он обеспечивает назначение каналов, контроль за их состоянием, отключение каналов в контролируемой им зоне обслуживания и передает данные на другие КА. В случае, если достоверность передачи данных в каналах снижается, то вырабатывается команда на включение режима контроля мощности в направлении связи Земля-спутник.

И, наконец, абонентские терминалы выполняют некоторые функции контроля на низшем уровне. В число этих функций входят: идентификация абонента, регистрация его местоположения и др.

### **Сроки создания и финансирование**

В марте 1997 г. получена лицензия FFC США на создание многоспутниковой группировки и последующей эксплуатации системы. Планируемый срок реализации проекта 2002 г.

Общая стоимость проекта 9 млрд.долл, хотя оценки экспертов показывают, что стоимость проекта явно занижена - в действительности потребуется значительно больше средств, а окупаемость проекта ожидается не раньше, чем через 9-10 лет.

## **5.2. СИСТЕМА CELESTRI**

### **5.2.1. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ CELESTRI**

Еще не закончилось полное развертывание системы Iridium, как компания Motorola сделала следующий шаг, объявив о новом проекте интегрированной глобальной спутниковой системы с предоставлением каналов по требованию (bandwidth-on-demand), который получил название Celestri (небесный).

Система создается как широкополосная сеть связи, использующая КА на низких и геостационарной орбитах. В качестве головного разработчика спутников и бортовых комплексов определена ведущая европейская компания Matra Marconi Space (соучредители - Lagardere, Франция и General Electric), известная в мире как разработчик семейства космических платформ Eurostar.

В состав системы Celestri будет входить три спутниковых сегмента, которые будут интегрированы в единую широкополосную сеть.

Основу космического сегмента Celestri составит низкоорбитальная подсистема (Celestri multimedia LEO system), которая будет состоять из 63 КА на орбите высотой 1400 км. Подсистема будет обеспечивать широкополосной связью телекоммуникационные компании, коммерсантов малого и среднего бизнеса, индивидуальных пользователей. Одним из основных режимов работы системы будет режим интерактивной связи (конференц-связь, интерактивные игры, групповой опрос).

Геостационарный сегмент системы (Celestri GEO system) предназначен для предоставления широкоэмитательных услуг и распределенного телевизионного вещания в заданном географическом регионе. Орбитальная группировка будет состоять из 9 геостационарных КА, обеспечивающих охват наиболее населенных районов земного шара. Каждый геостационар-

ный КА будет формировать 4 глобальных и 84 узких луча и обеспечит пропускную способность - 2,8 Гбит/с.

И, наконец, третьим компонентом системы Celestri будет проект глобальной спутниковой системы M-Star, в котором предполагается использовать негеостационарную орбиту. Связь в M-Star будет осуществляться в диапазоне частот 40/50 ГГц. Система будет предоставлять высокоскоростные услуги для наземных служб подвижной радиосвязи, включая услуги для сотовых систем связи третьего поколения. Кроме того, система M-Star позволит создать широкополосные стволы, которые свяжут между собой базовые станции транкинговой системы, расположенные в различных уголках мира.

Архитектура глобальной широкополосной системы Celestri позволяет реализовать следующие виды услуг:

а) связь типа "точка-точка" в реальном времени по симметричным каналам со скоростью от 64 кбит/с до 155 Мбит/с;

б) связь типа "точка-точка" по асимметричному каналу в пакетном режиме со скоростью до 16 Мбит/с, когда в разных направлениях связи передаются неодинаковые потоки информации;

в) широкоэмиттерные и групповые режимы в разных зонах вещания и с различной скоростью передачи;

г) интерактивные широкоэмиттерные службы.

Таким образом, архитектура Celestri обеспечивает весь спектр услуг передачи данных с широким набором абонентских скоростей от 64 кбит/с до 155 Мбит/с, мультимедиа, предоставление пользователям широкополосных каналов по требованию.

Прием информации будет осуществляться на домашние бытовые приемники с параболической антенной, аналогичной НТВ антенне, но с меньшими размерами. Антенны предполагается установить на крыше зданий. Motorola планирует объединить все три системы в единой информационное пространство, так что пользователи одной системы могли бы беспрепятственно пользоваться услугами другой.

#### **В чем отличие низкоорбитальной системы Celestri от Iridium?**

Хотя низкоорбитальный сегмент системы Celestri содержит примерно такое же количество КА (63), что и в Iridium (66), однако системы ориентируются на различные рынки. Celestri предназначена для обслуживания стационарных пользователей, Iridium - мобильных. В Iridium используется речевой канал с вокодерным качеством (алгоритм VSELP, скорость 2(4 кбит/с), в Celestri передается высококачественная речь и аудиоинформация со скоростью 64 кбит/с. В Iridium используется двухрежимный терминал, совмещенный с сотовым телефоном, в Celestri основной вид услуг - мультимедиа.

Полная сетевая связность между КА, также как и в Iridium, организуется с помощью межспутниковых линий, однако их число в Celestri увеличено с 4 до 6. МСЛ соединят данный КА с двумя соседними спутниками, расположенные спереди и сзади него в той же орбитальной плоскости. Еще четыре дополнительных МСЛ используются для соединения с двумя КА в каждой из двух соседних плоскостей. Скорость передачи в межспутниковой линии увеличена почти в 200 раз - с 25 Мбит/с (Iridium) до 4,5 Гбит/с

Данные, передаваемые по каналам Iridium, являются низкоскоростными (пейджинг, данные о местоположении объектов, факсимильные сообщения). В Celestri же предполагается передача высокоскоростной коммерческой информации, организации спутниковых каналов для локальных и территориальных вычислительных сетей, передачи мультимедийных данных.

Таким образом, каждая из рассматриваемых систем ориентируется на свой рынок: Iridium на предоставление узкополосных услуг для персональных пользователей, Celestri же ориентируется на рынок услуг широкополосной связи в интересах стационарных пользователей службы ФСС.

### **5.2.2. КОСМИЧЕСКИЙ И ЗЕМНОЙ СЕГМЕНТЫ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ CELESTRI**

#### **Состав и структура системы**

В состав системы Celestri входят основной и резервный центры управления полетами МОСС (Mission Operations Control Center), один или несколько распределенных сетевых администраторов DVNM (Distributed Virtual Network Manager) и несколько модификаций абонентских устройств CPE (Customer Premises Equipment). Центр МОСС, в свою очередь, разделен на две подсистемы: центр управления спутниковой группировкой SOCC (Satellite Operations

Control Center) и центр управления сетью NOCC (Network Operations Control Center). Резервный MOCC работает в пассивном режиме - функции управления ему передаются лишь в случае отказа основного центра. Центр управления связан с 6 антенными постами, которые будут осуществлять прием телеметрической информации и передачу команд на КА, находящиеся в зоне радиовидимости. Два антенных поста планируется разместить в непосредственной близости от MOCC, а четыре из них, названные RAF (Remote Antenna Facilities), будут удаленными.

Предоставление услуг будет обеспечиваться с помощью сетевых администраторов DVNM. Достаточно всего одного DVNM, чтобы обеспечить поддержание всей сети в работоспособном состоянии, однако ожидается, что провайдеры услуг будут иметь собственные сетевые администраторы.

Доступ в систему осуществляется через абонентские устройства CPE, обеспечивающие широкий набор стандартных интерфейсов. Пользовательский сегмент системы Celestri проиллюстрирован на рис 5.3.

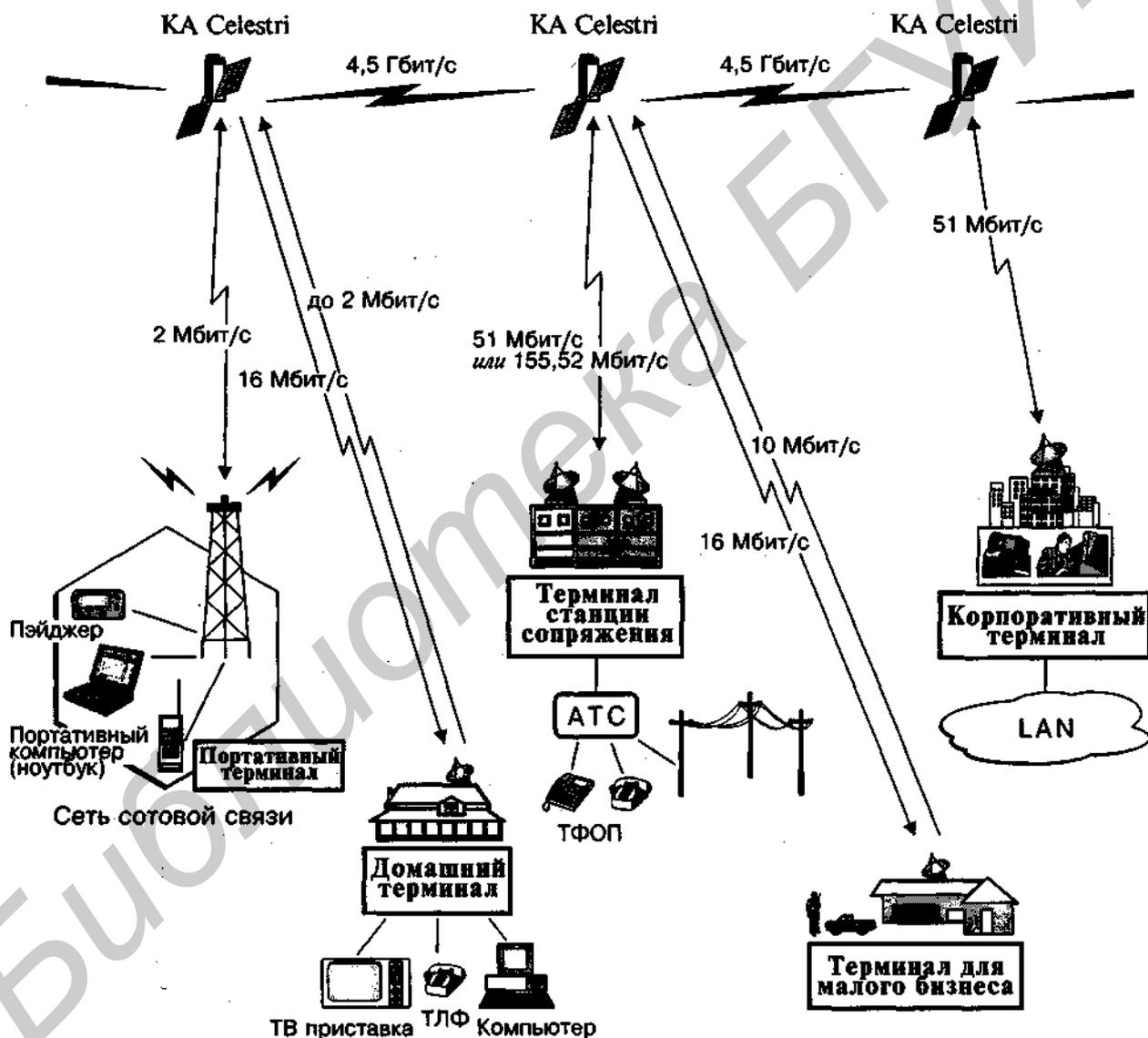


Рис. 5.3. Пользовательский сегмент системы Celestri

Связь в системе Celestri предполагается организовать в Ka диапазоне частот. В каждом направлении связи выделяется полоса частот в 1 ГГц (2 участка по 500 МГц); в линии "Земля-

спутник" - 28,6-29,1 ГГц и 29,5-30,0 ГГц и в линии "спутник-Земля" - 18,8-19,3 ГГц и 19,7-20,2 ГГц<sup>2</sup>.

Маршрутизация потоков в Celestri осуществляется с помощью АТМ коммутаторов, которые установлены на борту низкоорбитальных КА. Максимальная скорость обмена информацией в часы пиковой нагрузки достигает 17,5 Гбит/с, включая потоки, поступающие из абонентских и межспутниковых линий.

Спутники Celestri будут способны динамически переконфигурировать ресурсы приемников и коммутаторов, чтобы обрабатывать различные потоки информации (2048 Мбит/с, 10 Мбит/с, 51,84 Мбит/с и 155,52 Мбит/с). Обозначение излучений в линиях связи системы Celestri приведено в табл. 5.2.

**Таблица 5.2.** Условные обозначения излучений в линиях связи системы Celestri

Скорость передачи, Мбит/с	Тип линии	Обозначение излучения
2,048	Линия "вверх"	4M10G1W
10,0	Линия "вниз"	20MOG7W
16,384	Линия "вниз"	32M8G7W
51,84	Линия "вверх" Линия "вниз"	104MG1W 104MG7W
155,52	Линия "вверх" Линия "вниз"	311MG1W 311MG7W
0,1 (ТТ&С)	Командная линия Телеметрическая линия	300KG7D 300KG1D
4500,0	Межспутниковая линия	нет

### Орбитальная группировка

При выборе структуры космического сегмента Celestri и количества КА, необходимого для организации глобальной широкополосной связи, Motorola исходила из следующих критериев.

Во-первых, орбитальная группировка должна обеспечивать разделение частотного ресурса с другими негеостационарными системами, и не должны создаваться помехи для систем на геостационарной орбите.

Во-вторых, должна быть обеспечена глобальная зона покрытия, охватывающая наиболее населенные районы земного шара, а связь обеспечиваться только под относительно высокими рабочими углами над горизонтом, что необходимо для повышения ее надежности для конечного пользователя.

В-третьих, система должна быть эффективна по критерию "стоимость-эффективность", т.е. ее характеристики должны быть реализованы при меньшем числе КА и количестве запусков, т.е. система не должна содержать такого большого количества спутников, как в системе Teledesic.

И, наконец, в-четвертых, пропускная способность каждого КА должна быть достаточной, чтобы обеспечить трафик в наиболее густонаселенных районах Земли.

Указанным критериям, по мнению разработчиков системы, удовлетворяет орбитальная группировка, состоящая из 63 низкоорбитальных КА, выведенных на орбиту высотой 1400 км над поверхностью Земли. Спутники распределены в 7 равноудаленных друг от друга орбитальных плоскостях по 9 КА в каждой плоскости. Дополнительно в каждой плоскости размещается по одному резервному КА.

Основные параметры орбитальной плоскости: наклонение - 48°, аргумент перигея - 0°, эксцентриситет - 0,0013, шаг фазирования спутников - 51,3° (на экваторе), средняя аномалия первого КА в каждой плоскости - +28,57°, период обращения КА - 6825 с (1,9 ч).

Спутники связаны между собой с помощью межспутниковых линий, образуя глобальную сетевую инфраструктуру в космосе. Орбитальная группировка из 63 КА с наклонением 48° обеспечит для северных и южных широт между 18° и 48° двойное покрытие в 99% времени. В

<sup>2</sup> Все перечисленные диапазоны выделены на первичной основе для фиксированных спутниковых служб FCC (Федеральная комиссия по связи США). Что же касается негеостационарных орбит, то для NGSO FCC определены диапазоны частот: 18,8 -19,3 ГГц и 28,6-29,1 ГГц на первичной основе, а 19,7-20,2 ГГц и 29,5-30,0 ГГц - на вторичной основе.

эту область входит вся континентальную часть США и многие населенные пункты в Европе и Азии. Три КА на этих широтах находятся в зоне радиовидимости абонента более, чем в 50% времени. Однократное покрытие земной поверхности под углами места не ниже 16° обеспечивается в зоне между 60° ю.ш. и 60° с.ш, при этом медианное значение угла места около 30°. Обслуживание пользователей на более высоких широтах (65° и более) возможно лишь под малыми углами радиовидимости КА.

### Космический аппарат Celestri

В КА Celestri используется трехосная стабилизация, его габаритные размеры: длина -3 м, ширина -2 м, высота -5 м. Стартовая масса КА - 3100 кг (сухая масса - 2500 кг). Пиковая мощность системы электропитания - 13600 Вт (в конце САС), средняя - 4600 Вт. Срок службы КА - 8 лет, а с учетом наземной отработки - не менее 10 лет. Внешний вид КА Celestri приведен на рис. 5.4.

КА выполнен с обработкой информации и маршрутизацией каналов на борту. В состав бортового комплекса входят две фазированные антенные решетки (ФАР), преобразователи частоты, ПЧ коммутаторы, аппаратура уплотнения и разделения каналов, бортовой маршрутизатор и 6 каналов межспутниковой связи.

В системе используются спектрально-эффективные методы модуляции, динамическое перераспределение каналов и динамическая регулировка мощности. На спутнике применяется ФАР, бортовая обработка сигналов и технология коммутации лучей, что необходимо для обеспечения высокой спектральной эффективности и гибкости системы. Для того, чтобы повысить эффективность использования бортовых ресурсов, минимизировать уровень помех и обеспечить защиту от осадков, используется динамическая регулировка мощности. Основные параметры передающих устройств приведены в табл. 5.3

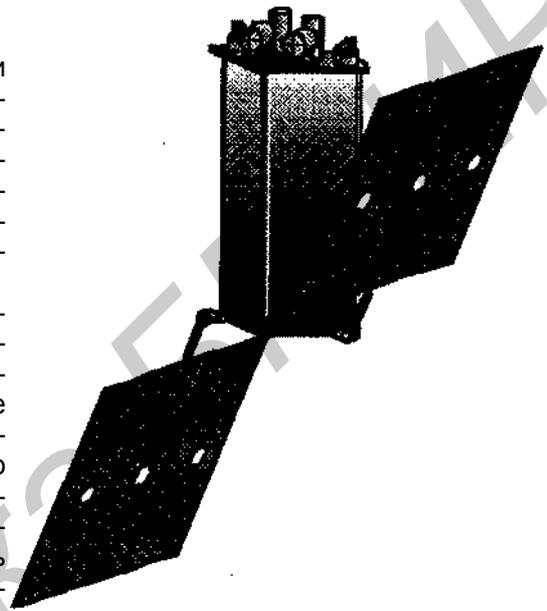


Рис. 5.4. Внешний вид КА Celestri

Таблица 5.3. Выходная мощность и ЭИИМ бортового ретранслятора

Скорость передачи	Вид модуляции	Ширина полосы на канал, МГц	Мощность (пик), Вт	ЭИИМ (мак), дБВт
16,384 Мбит/с	QPSK	32,152	15,8	44,8
51,84 Мбит/с	QPSK	97,421	8,7	40,6
155,52 Мбит/с	8PSK	205,67	5,0	42,9
100 кбит/с (ТТ&С)	BPSK	н/Д	3,5	5,4

В системе Celestri используется метод многостанционного доступа - FDMA/TDMA. Для разделения смежных лучей используют различные частоты (метод FDMA), а в каждой парциальной зоне - формат TDMA. Для того, чтобы обеспечить требуемую пропускную способность в 1 ГГц парциальные лучи абонентских линий объединяются в группы по 7 лучей в каждой. Для каждого из лучей выделяется своя рабочая частота. Каждая 7-лучевая структура обеспечивает возможность многократного использования частот. Развязка между лучами антенны и пространственное разделение спутников, обслуживающих один и тот же регион, позволяет реализовать 35-кратное повторное использование частот.

Бортовые ФАР будут генерировать сотни лучей, чтобы охватить полную зону радиовидимости КА. Кроме того, применение ФАР в Ка диапазоне позволяет отказаться от использования ЛБВ, а, следовательно, повысить надежность ретранслятора. Приемная ФАР создает на поверхности Земли 432 фиксированных луча в двух участках спектра по 500 МГц каждый. Пе-

редающая ФАР образует 260 фиксированных зон обслуживания также в двух участках спектра по 500 МГц каждый. Лучи фиксированы относительно КА.

Гибкий протокол DAMA позволит с высокой эффективностью перераспределять каналы среди большого числа пользователей. Основные параметры бортовых приемных устройств приведены в табл. 5.4.

**Таблица 5.4.** Характеристики бортовых приемных устройств

Скорость передачи, Мбит/с	Вид модуляции	Полоса на канал, МГц	G/T, дБ/К
2,048	QPSK	4,244	7,16
10,0	QPSK	20,31	7,16
51,84	QPSK	97,421	7,16
155,52	8PSK	205,67	12,77

Как известно, уровень плотности потока мощности (ППМ) должен обеспечиваться в любой точке зоны обслуживания, в том числе и на ее краю, при минимальных углах  $\theta$  радиовидимости КА. В соответствии с международными рекомендациями уровень ППМ в КА диапазоне не должен превышать  $-115$  дБВт/м<sup>2</sup> при  $0^\circ \leq \theta < 5^\circ$  и  $-105$  дБВт/м<sup>2</sup> при  $\theta \geq 25^\circ$  в полосе 1 МГц. Как видно из табл. 5.5, расчетные значения ППМ, создаваемой на поверхности Земли передатчиками Celestri, удовлетворяют международным требованиям при минимальном угле места  $\theta = 16^\circ$ .

**Таблица 5.5.** Плотность потока мощности на поверхности Земли

Тип приемного терминала	Скорость передачи, Мбит/с	Плотность потока мощности дБВт/м <sup>2</sup> /МГц	
		В ясную погоду	В дожде
Домашний	16,384 (QPSK)	-113,64	-113,84
Для малого бизнеса	16,384 (QPSK)	-123,62	-122,69
Корпоративный	51,84 (QPSK)	-127,05	-126,13
Межсетевой	155,52 (8PSK)	-127,92	-126,65

#### **Командно-телеметрическая (ТТ&С) радиолиния**

Передача команд управления КА и прием телеметрических сигналов осуществляется в том же диапазоне, что и при обмене полезной информацией. В штатном режиме работы на КА используется слабонаправленная антенна. Однако в нештатных ситуациях предусмотрена возможность приема сигналов на антенну с более высоким коэффициентом усиления.

Скорость передачи информации в командной и телеметрической радиолиниях - 100 кбит/с (BPSK). Для связи с КА на наземной станции используется параболическая антенна диаметром 3 м. Все функции по управлению и контролю КА обеспечиваются с помощью (ТТ&С) подсистемы.

#### **Виды услуг**

В системе Celestri все пользователи условно разделены на две категории. В первую входят те, которым услуги предоставляются через сеть фирм-провайдеров услуг. К их числу относятся:

- персональные пользователи и люди, занимающиеся индивидуальной трудовой деятельностью;
- коммерсанты, занимающиеся малым бизнесом, но которым требуются услуги высокоскоростной передачи данных и мультимедиа;
- корпоративные и ведомственные пользователи, которые хотели бы выйти на телекоммуникационный рынок из любого уголка мира.

Для этой категории пользователей требуется: радиотелефонная связь, доступ к удаленным базам данных, доступ в Internet, видеоконференц-связь, обмен деловой корреспонденции, а также сфера домашних развлечений, телеобучение и телемедицина. Перечисленные

виды услуг планируется обеспечивать в реальном времени с предоставлением канала по требованию со скоростью до 10 Мбит/с.

Во вторую категорию входят корпоративные пользователи, средние и мелкие компании, а также телекоммуникационные компании во всем мире, которым необходимо расширить сферы своего влияния, но в настоящее время они не имеют такого вида услуг. Для этой категории пользователей необходимы высокоскоростные каналы со скоростью передачи 155,52 Мбит/с, принятые в сетях синхронной цифровой иерархии (SDN).

#### Аппаратура, размещаемая в помещении пользователей

Разработчики системы Celestri определили стандартные протоколы и интерфейсы, которые позволят фирмам-изготовителям разрабатывать различные модификации абонентской аппаратуры, которые будут совместимы друг с другом. Абонентские терминалы CPE будут иметь вводы для программируемых SIM-карт.

В качестве базовых фирма Motorola предлагает разработать 4 модификации:

- межсетевой терминал (gateway terminal), обеспечивающий интерфейс с телефонной сетью общего пользования и поддержку протоколов ATM, TCP/IP и Frame Relay;
- корпоративный терминал (corporate terminal), предназначенный для объединения локальных сетей в единую территориальную сеть;
- терминал для малого бизнеса (small business terminal), предназначенный для подключения удаленных пользователей к компьютеру местной (локальной) сети;
- домашний терминал (direct-to-home terminal), являющийся наиболее распространенной моделью и предназначенный для предоставления услуг мультимедиа и телекоммуникационных услуг непосредственно на дому.

Терминалы предполагается оснастить антеннами диаметром от 0,3 до 1 м. Во всех моделях терминалов будут использованы остронаправленные антенны, формирующие, по крайней мере, два луча, что необходимо для обеспечения перехода с одного спутника на другой без перерыва связи (make-before-break handoffs). Основные характеристики рассмотренного выше семейства терминалов Celestri приведены в табл. 5.6.

**Таблица 5.6.** Основные характеристики семейства терминалов Celestri

Основные характеристики	Тип терминала			
	Межсетевой	Корпоративный	Для малого бизнеса	Домашний
Скорость в линии, Мбит/с Передача Прием	51,84/155,52 155,52	до 51, 84 51,84	10 16,384	2,048 16,384
Вероятность ошибки на бит	$10^{-9}$	$10^{-9}$	$10^{-9}$	$10^{-9}$
Коэффициент усиления антенны, дБ Передача Прием	51,9 48,4	48,4 44,9	45,9 42,4	35,6 32,8
Выходная мощность, Вт	20	20	5	5
ЭИИМ, дБВт В дожде В ясную погоду	60,4 50,8	58,7 48,5	52 39,8	39 33,2
С/Г, дБ/К	24,3	19,5	15,1	6,5
Надежность связи	99,99	99,9	99,9	99,9

Для повышения надежности связи до 99,99 в межсетевом терминале предполагается использовать разнесенный прием. Домашний терминал будет портативным и относительно недорогим. Его предполагается оснастить малогабаритной антенной с электронным управлением, устанавливаемой непосредственно на крыше помещения пользователя. По утверждению компании Motorola, установка спутникового терминала займет существенно меньшее время, чем современной телевизионной "тарелки".

Большинство моделей терминалов будут обеспечивать широкий набор информационных скоростей, позволяющих работать в канале с асимметричным трафиком. В зависимости от

типа используемого терминала в линии связи будет использоваться следующие виды модуляции:

- QPSK - для скоростей передачи 51,84 Мбит/с и ниже, отношение  $E/N_0 = 5,9$  дБ;
- 8PSK - для скорости передачи 152,52 Мбит/с, отношение  $E/N_0 = 11$  дБ.

#### **Пропускная способность**

Пропускная способность пучка из семи лучей может варьироваться в пределах от 3600 до 5300 эквивалентных каналов по 64 кбит/с в зависимости от режимов работы терминалов. Трафик может быть сконцентрирован в пределах одной городской зоны или распределен по территории целого штата, например, Калифорнии.

Над континентальной частью США будет постоянно находиться от 3 до 5 КА. Суммарный трафик системы в этом регионе равен 395 000 эквивалентных каналов по 64 кбит/с. Общее же количество эквивалентных каналов по 64 кбит/с, которое теоретически сможет обеспечить Celestri в глобальной зоне - 1800 000 по 64 кбит/с. По оценкам разработчиков, суммарная пропускная способность LEO сегмента составит не менее 80 Гбит/с.

#### **Финансирование и сроки реализации проекта**

Стоимость проекта оценивается в 12,9 млрд. долл. Стоимость терминала в простейшей конфигурации - 750 долл. Корпоративный терминал будет иметь более высокие характеристики и стоить в 20 раз дороже.

Фирма Motorola планирует развернуть систему Celestri в 2002 году, а полностью ввести ее в эксплуатацию в 2003 году.

### **5.3. СИСТЕМА SPACEWAY**

О своих планах создания системы глобальной спутниковой связи Spaceway компания Hughes Communications Inc. (HCI), Лонг Бич, шт. Калифорния заявила в начале 90-х годов. В декабре 1993 г. HCI обратилась в FCC США за лицензией, а в июне 1994 года было принято решение о создании глобальной системы связи в составе 9 КА на геостационарной орбите.

В мае 1997 г. компанией HCI получена новая лицензия FCC США на развертывание системы связи, состоящей из 20 геостационарных КА. Однако в конце 1997 г. руководство компании HCI заявило об изменении первоначальной концепции построения системы и приняло решение об уменьшении количества спутников на ГСО и создании в рамках проекта системы Spaceway новой орбитальной группировки из 20 КА, размещенных на средневысотных орбитах, аналогичных орбитам в системах ICO и Odyssey [58].

Система Spaceway может быть использована для наращивания наземной инфраструктуры связи, ориентируясь преимущественно на стационарных пользователей, которые находятся в труднодоступных местах или удаленных районах. Она предназначена для обеспечения радиотелефонной связи и передачи данных, высокоскоростного доступа к сетям Internet, локальным и глобальным вычислительным сетям, доступа удаленных пользователей к базам данных и других видов услуг.

#### **Космический сегмент**

Для глобального покрытия Земли предполагается создать орбитальную группировку из 28 КА, которые будут расположены как на геостационарной, так и на средневысотной орбитах:

- субгруппировка Spaceway EXP, состоящая из 8 КА (первоначально планировалось 20 КА), расположенных на геостационарной орбите;
- субгруппировка Spaceway NGSO, состоящая из 20 КА, выведенных на средневысотную круговую орбиту высотой 10352 км.

С помощью геостационарного фрагмента система Spaceway планирует предоставлять услуги в четырех регионах: Северной Америке, Азиатско-тихоокеанском, Латинской Америке и Европе, Африке и на Ближнем Востоке. Для указанных регионов определены точки стояния: 117° з.д., 69° з.д., 26,2° з.д. и 99° в.д.

В субгруппировке Spaceway NGSO спутники планируется разместить в 4 орбитальных плоскостях по 5 КА в каждой. Угол наклона орбиты к плоскости экватора - 55°, период обращения КА - 6 часов. Такая орбитальная группировка обеспечит глобальный охват всей поверхности Земли, включая полярные районы. Вследствие перекрытия зон соседних КА в каждой точке Земли будут видны под высокими углами места одновременно 3-4 КА.

Космический аппарат системы Spaceway будет построен на базе самой последней и наиболее технологичной модели космической платформы HS-702. Расчетный срок активного существования КА - 15 лет. По сравнению с предыдущей моделью HS-601, на базе которой создаются 12 КА ICO, платформа HS-702 позволяет увеличить вес полезной нагрузки до 1000 кг (HS-601 - 600 кг), а также повысить почти в 2 раза пропускную способность КА. В результате замены кремниевых солнечных элементов на галлий-арсенидные, потребляемая мощность возрастет до 11 кВт. Количество стволов, размещаемых на HS-702, будет увеличено до 90 по сравнению с 48 в базовой модели HS-601. В системе Spaceway платформа HS-702 будет использована как на геостационарной, так и на средневысотной орбитах.

На борту КА будут применены многолучевые антенны, цифровая обработка, обеспечивающая коммутацию "межлучевого" трафика, и межспутниковые линии<sup>3</sup>. Сигнал, принятый в одном луче, может быть непосредственно ретранслирован в том же луче или через межспутниковые линии.

Бортовой комплекс состоит из приемных и передающих активных антенн, формирующих 48 лучей. Схема организации связи обеспечит 12-кратное повторное использование частот. На платформе HS-702 планируется разместить 64 передатчика, из которых 16 будут резервными. Средняя выходная мощность в одном стволе около 100 Вт.

Ретрансляторы спутников будут работать на частотах Ka диапазона (17,7/30 ГГц). Максимальная ЭИИМ бортового ретранслятора в одном луче равна 61 дБВт, минимальная ЭИИМ на краю зоны - 56 дБВт. Ширина полосы частот в луче составляет 125 МГц.

Метод многостанционного доступа - FDMA/TDMA. Скорость передачи информации в линии "спутник-Земля" - 92 Мбит/с (скорость в радиоканале - 108 Мбит/с). Эквивалентное число каналов на один КА - 276 480 по 16 кбит/с, при этом суммарный цифровой поток, проходящий через КА, равен 4,4 Гбит/с.

### Семейство терминалов Spaceway

В состав земного сегмента системы входят несколько модификаций абонентских терминалов. Различные модификации отличаются размерами антенн и скоростью передачи информации, изменяемой в пределах от 16 кбит/с до 6 Мбит/с (линия "терминал-спутник"). Максимальная скорость приема информации во всех моделях одинакова и равна 108 Мбит/с. В системе Spaceway предполагается использовать 3 базовых модели терминалов: стандартный USAT, предназначенный для установки у персональных пользователей, USAT с расширенными возможностями и ширококвещательный терминал. Характеристики семейства терминалов Spaceway приведены в табл. 5.7.

**Таблица 5.7.** Характеристики семейства терминалов Spaceway

Типы терминалов	Скорость информационного обмена		Диаметр антенны, м
	Передача, Мбит/с	Прием, Мбит/с	
Стандартный USAT	0,384	108	0,66
USAT с расширенными возможностями	1,5	108	1,2
Широковещательный	6	108	3,5

Все типы терминалов обеспечивают возможность двусторонней связи с использованием модуляции QPSK. В зависимости от модели терминала размеры антенны изменяются в пределах от 0,66 м до 3,5 м. В широкополосном терминале обеспечивается вероятность ошибки на бит -  $10^{-10}$ .

Указанные модификации терминалов обеспечивают следующие виды услуг:

- радиотелефонную связь - узкополосная (4,8 кбит/с), среднескоростная (16 кбит/с) и высокоскоростная с качеством ISDN (64 кбит/с);
- электронная почта со скоростью 9,6 кбит/с и более;
- видеоконференц-связь (144 кбит/с);
- доступ в Internet (384 кбит/с);

<sup>3</sup> В системе Spaceway, аналогично системам Iridium и Teledesic, предполагается использовать межспутниковые линии, однако их тип и характеристики еще не определены.

- обмен видео и графической информацией (1544 кбит/с);
- видеoinформация с качеством, не хуже телевещательного (6 Мбит/с);
- доступ к удаленным базам данных в интерактивном режиме (10 Мбит/с);
- телевидение высокой четкости HDTV (25 Мбит/с);
- прием магистральных потоков (50 Мбит/с и более).

Общая стоимость проекта системы Spaceway оценена в 6,6 млрд. долл. Стоимость стандартного USAT терминала не превысит 1 тыс. долл. Плата за трафик составит 5-10 центов/мин, что существенно ниже, чем у других систем персональной спутниковой связи.

Систему планируется развернуть в 2 этапа. Вначале создается геостационарный фрагмент системы Spaceway EXP, а затем развертывается субгруппировка Spaceway NGSO. Планируется начать предоставление услуг в первом регионе (Северная Америка) - с 2001 г. Сроки окончания работ по второму этапу (20 КА на средневысотных орбитах) еще не определены.

## 5.4. СИСТЕМА SKYBRIDGE

Глобальную систему связи с широкополосным доступом Skybridge разрабатывает компания SkyBridge LP (учредитель - французская компания Alcatel Espace). В разработке и финансировании проекта Skybridge принимают участие Aerospatiale, CNES, Loral, Mitsubishi, Sharp, Spar (Канада), SRIW (Бельгия) и др.

Работы по созданию европейского проекта Skybridge (прежнее название Sativod) проводятся с 1993 г. В 1996 г. компанией Alcatel Espace разработан системный проект и определен облик системы. Срок введения системы в эксплуатацию (1 этап) - 2001 г.

Система Skybridge предназначена для обеспечения высокоскоростного доступа к сети Internet, расширения услуг локальных и глобальных вычислительных сетей, организации доступа удаленных пользователей к базам данных, высококачественной видеотелефонии и видеоконференц-связи, телемедицины и предоставления мультимедийных услуг в интерактивном режиме по асимметричному каналу. Планируется также предоставить каналы для объединения между собой удаленных базовых станций в сетях сотовой связи, а также расширения услуг существующих узкополосных служб связи (речь, данные, неподвижные изображения).

Предоставление широкополосных интерактивных услуг в перспективе будет обеспечиваться как с помощью геостационарных, так и низкоорбитальных КА. Однако, говоря о двухуровневой структуре, авторы проекта Skybridge не подразумевают создание межспутниковых линий, аналогичных проектам Teledesic и Celestri. Речь идет лишь об объединении в единое информационное пространство каналов обеих систем, а также совместное решение вопросов электромагнитной совместимости. Низкие орбиты, по мнению авторов проекта, гарантируют задержку при распространении сигналов не более 20 мс, что позволяет достичь сходные характеристики с наземными сетями и использовать те же протоколы и стандарты связи.

### Космический сегмент

Орбитальная группировка Skybridge будет состоять из 64 низкоорбитальных КА, выведенных на круговые орбиты высотой 1457 км. Создание орбитальной группировки предлагается проводить в два этапа. На первом этапе создается основная субгруппировка из 32 КА. Спутники будут размещены в 8 орбитальных плоскостях по 4 КА в каждой. Наклонение орбиты - 55°, период обращения КА - 115 мин.

Расстановка КА в орбитальной группировке Skybridge иллюстрируется на рис. 5.5. Плоскости орбит равномерно распределены в пространстве через 45°, причем в каждой из них спутники отстоят друг от друга на 90°. Дополнительную субгруппировку из 32 КА предполагается строить аналогично основной, но со смещением положения: угла восхождения каждого КА на - 10°, средней аномалии - на +14° (см. рис. 5.5).

Резервирование предполагается осуществить за счет четырех запасных КА Skybridge, выведенных на промежуточную орбиту высотой около 940 км. Запуск этих КА предполагается осуществить лишь после развертывания основного фрагмента системы и ввода его в эксплуатацию.

Стартовая масса КА Skybridge - 800 кг (масса полезной нагрузки - 300 кг), максимальная мощность солнечных батарей - 3000 Вт (1600 Вт в номинальном режиме). Точность поддержания КА на орбите - не хуже 0,5°.

Предложенная орбитальная группировка, по утверждению авторов проекта, малочувствительна к деградации орбиты КА. Включение двигателей маневрирования потребуется не чаще, чем 1 раз в два месяца. При этом максимальное изменение скорости движения КА за весь срок активного существования КА будет не более нескольких метров в секунду. Управление маневрированием КА осуществляется по командам с Земли.



Рис. 5.5. Расстановка КА в орбитальной группировке SkyBridge

Спутник рассчитан на эксплуатацию в течение 8 лет. Расчетная надежность КА - 0,85, в том числе подсистем управления КА - 0,92 и полезной нагрузки - 0,92.

В качестве средств вывода КА на орбиту предполагается использовать ракетносители серии Ariane: Ariane 4 (6 КА за запуск) или Ariane 5 (12 КА за запуск). Для восполнения орбитальной группировки будут применены легкие носители, обеспечивающие выведение двух КА за запуск.

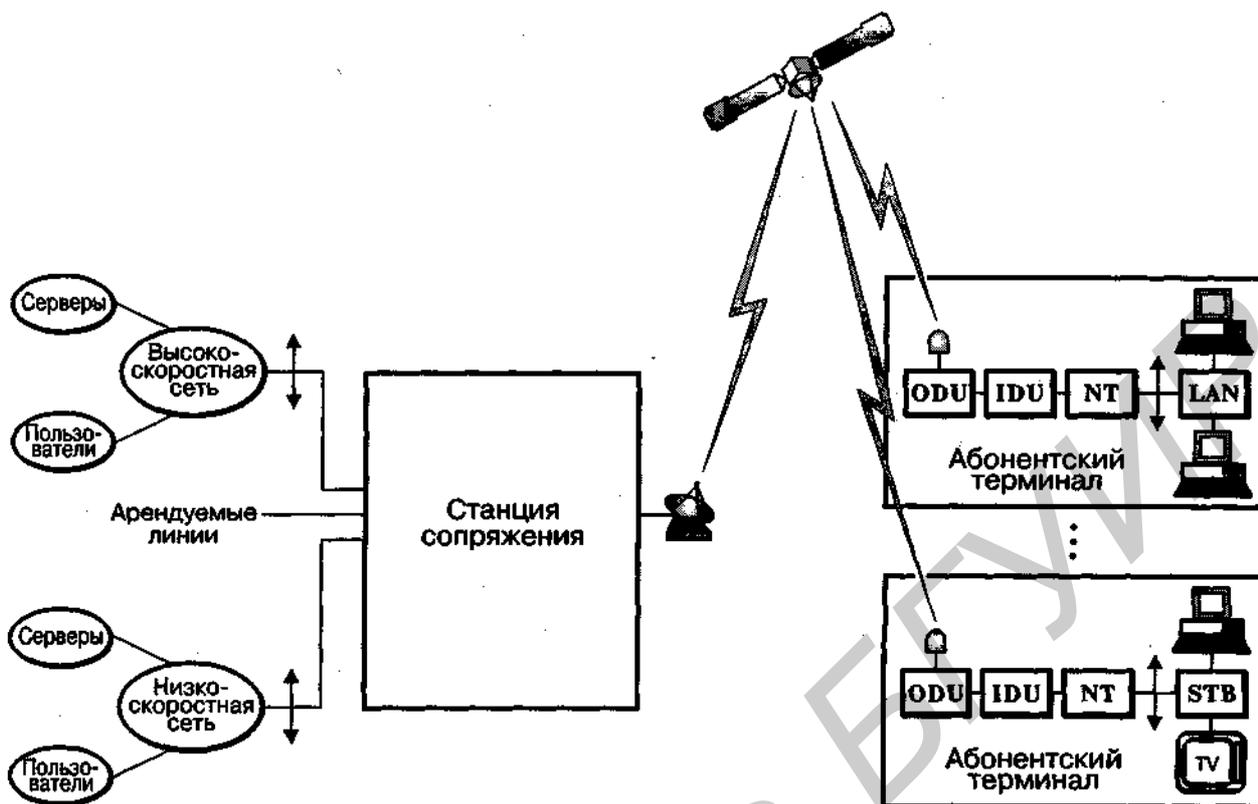
Ретрансляторы в системе Skybridge выполнены без обработки информации (типа bent-pipe) и межспутниковых линий связи. На борту КА используется активная антенная система, обеспечивающая формирование 45 лучей. Усиление и форма лучей подобраны таким образом, чтобы у поверхности Земли формировалась многосотовая зона покрытия.

Размеры зоны обслуживания одного КА при рабочих углах места терминала не более  $10^\circ$  - около 6000 км, диаметр зоны парциального луча - 700 км. На КА используется следающая антенна с перенацеливаемой диаграммой направленности во время движения КА. Все абоненты, расположенные в одной парциальной зоне, обслуживаются одной станцией сопряжения. Как только КА начинает выходить из зоны радиовидимости, станция сопряжения автоматически переключается на другой КА. Таким образом, зона на поверхности Земли будет как бы неподвижной во время движения КА по орбите, что сокращает требуемое количество переключений абонентских каналов в одной зоне по сравнению со случаем, когда луч скользит по поверхности земли. Для глобального покрытия всей поверхности суши достаточно 426 узких фиксированных лучей.

Полномасштабная орбитальная группировка Skybridge (из 64 КА) обеспечит глобальное обслуживание на широтах от  $68^\circ$  ю.ш. до  $68^\circ$  с.ш., поскольку в зоне радиовидимости наземной станции сопряжения будет находиться, по крайней мере, один КА. Что же касается средних широт, то там в зоне радиовидимости СС присутствуют одновременно 2-3 КА даже без учета КА, временно выведенных из эксплуатации (например, для технического обслуживания) или находящихся под низкими углами (ниже  $10^\circ$ ). Станции сопряжения должны размещаться только в обжитых районах Земли, где существует наземная инфраструктура. Для обеспечения глобального обслуживания необходимо примерно 400 станций сопряжения.

### Состав и структура системы

Система широкополосной связи Skybridge построена в виде двух выделенных сетей связи (рис. 5.6). Одна из них является высокоскоростной и предназначена для передачи больших массивов данных конечному пользователю по его требованию. В другой сети передаются относительно низкоскоростные потоки данных в интерактивном режиме для запроса определенного вида услуг. В каждой из сетей имеются свои пользователи и серверы. Объединение каналов высокоскоростной и низкоскоростной сетей происходит на станции сопряжения.



**Рис. 5.6.** Структура системы Skybridge (ODU - наружный блок, размещаемый вместе с антенной, IDU - внутренний (комнатный блок), NT - сетевое окончание, STB - телевизионная приставка)

Для передачи информации используются два асимметричных широкополосных канала:

- высокоскоростной со скоростью кратной  $n \times 20,5$  Мбит/с;
- низкоскоростной со скоростью кратной  $n \times 2,56$  Мбит/с.

В состав наземной сети Skybridge будет входить 400 (200 - на первом этапе) станций сопряжения и различные терминалы пользователей. Максимальная пропускная способность станции - 2,5 Гбит/с. При таком трафике станция способна обслужить от 10 до 400 тысяч абонентов, расположенных на территории диаметром около 700 км.

Структурная схема станции сопряжения приведена на рис. 5.7. Станция поддерживает большинство из современных стандартов и протоколов широкополосной связи. Процедура переключения с одного КА на другой является прозрачной для АТМ коммутатора.

В системе Skybridge используются два типа терминалов: профессиональные и персональные (домашние). Базовый абонентский терминал конструктивно выполнен из двух блоков: наружного (outdoor unit) и комнатного (indoor unit). В состав наружного блока входят: антенна, ВЧ модуль, модем и устройство управления.

Комнатный (связной) блок обеспечивает интерфейс с различной аппаратурой пользователя: ПК, телевизионной приставкой (TV set-top box), телефоном типа Webphone и др. Основные характеристики абонентских терминалов приведены в табл. 5.8.

**Таблица 5.8.** Характеристики терминалов Skybridge

Тип терминала	Профессиональный терминал	Домашний терминал
Скорость передачи, Мбит/с	$n \times 2,56$	до 2,56
Скорость приема, Мбит/с	$n \times 20,5$	20,5
Диаметр антенны, см	80	50
Услуги	Доступ в LAN Коллективный доступ	Доступ в Internet Телеработа, теледоступ

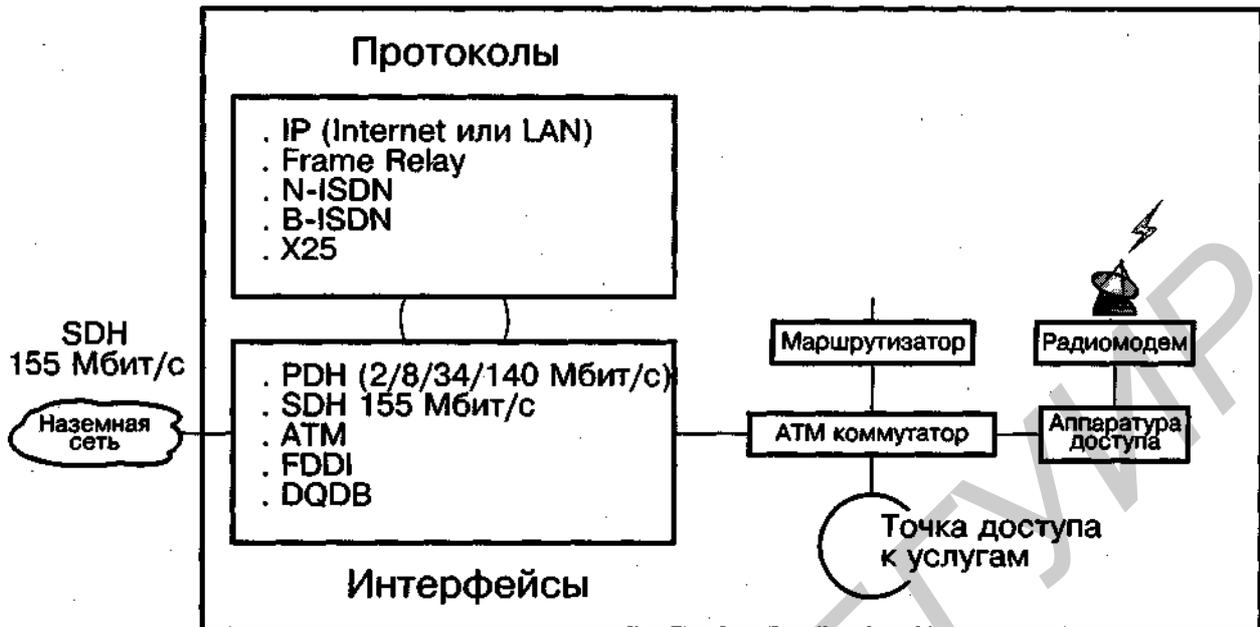


Рис. 5.7. Структурная схема станции сопряжения системы Skybridge

#### Проблема совместимости с геостационарными системами

Для передачи информации в системе Skybridge предполагается использовать Ku диапазон частот, в котором у компании Alcatel Espace уже имеется большой опыт по созданию бортовой аппаратуры для геостационарных КА. Для работы системы требуется, как минимум, участок спектра 1,05 ГГц (как в линии "вверх", так и линии "вниз"). Выбор конкретных номиналов частот находится в стадии рассмотрения.

В соответствии с существующими международными нормами уровень плотности потока мощности (ППМ) жестко ограничен. Поскольку работу системы Skybridge планируется организовать в том же Ku диапазоне частот, что и у геостационарных систем, то к ней предъявляются повышенные требования по электромагнитной совместимости. Так, уровень ППМ должен быть:

- допустимый уровень  $pdf$  (power density flux) в любой точке на поверхности Земли в Ku диапазоне частот 12,2-12,75 ГГц, должен удовлетворять условию:

$$pdf = -148 + 0,5 (\theta - 5),$$

где  $5^\circ \leq \theta < 25^\circ$  (в полосе 4 кГц);

- эквивалентный уровень  $epdf$  (equivalent pdf), на входе ЗС, работающих через геостационарные КА, не должен превышать величины:

$$epdf = \sum pdf_i \frac{G(\theta_i)}{G_{max}},$$

где  $G(\theta_i)$  - диаграмма направленности антенны ЗС;

суммарный уровень  $apdf$  (aggregate pdf), создаваемый излучением терминалов на геостационарной дуге, не должен превышать величины:

$$apdf = \sum pdf_i \frac{G'(\theta_i)}{G'_{max}},$$

где  $G'(\theta_i)$  - диаграмма направленности антенны геостационарного КА.

Методы повторного использования спектра в системе Skybridge основаны на ограничениях по epdf и apdf, регламентируемых статьей S22.2 WRC-97 (табл. 5.9).

**Таблица 5.9.** Ограничения по использованию диапазонов частот в разных регионах<sup>4</sup>

Тип линии	Диапазон частот, ГГц	Регион 1	Регион 2	Регион 3
Линия "вверх"	12,75-13,25	C	C	C
	13,75-14,5	-	-	-
	17,3-17,8	N	-	N
Линия "вниз"	10,7-10,95	C	C	C
	11,2-11,45	C	C	C
	11,7-12,2	N	C	N
	12,2-12,5	N	N	C
	12,5-12,7	C	N	C

C - разрешенные WRC-97 к использованию системами NGSO FSS (epdf и apdf - ограничены);  
N - новые диапазоны для системами NGSO FSS (apdf - ограничена).

Одна из наиболее сложных проблем, решаемых системой Skybridge, как уже говорилось ранее, является обеспечение электромагнитной совместимости с геостационарными КА, работающими в том же Ku диапазоне частот. Решение этой проблемы достигается за счет ряда технических решений.

Во-первых, работа станций сопряжения и КА в каждом географическом регионе жестко регламентирована. Параметры КА контролируются не реже одного раза в сутки. Работа абонентских терминалов запрещена до тех пор, пока не будет принят сигнал с КА.

Во-вторых, ни один КА, ни одна станция сопряжения и ни один терминал не излучают в зоне  $\pm 10$  град вокруг каждой ЗС, работающей через геостационарные КА.

В-третьих, чтобы исключить взаимные помехи, предлагается отключать низкоорбитальные КА в случае их прохождения через лучи геостационарных КА.

При отношении помеха/шум, равным I/N = -10 дБ, координационное расстояние между ЗС ГСО и терминалом NGSO составляет 7,2 км. Дальнейшее сокращение координационного расстояния до 1 км возможно лишь за счет использования дополнительных методов защиты, например, ВЧ экранов.

#### **Структура получения прибыли в системе Skybridge**

Для предоставления услуг в системе Skybridge планируется развернуть широкую сеть местных сервис-провайдеров. Имея лицензию на операторскую деятельность, они будут осуществлять эксплуатацию системы в различных регионах мира, взаимодействуя с операторами станций сопряжения. Последний, в свою очередь, должны заключить контракт с владельцем космического сегмента и оператором всей системы компанией SkyBridge LP. Структура получения доходов и перечень необходимых лицензий приведен в табл. 5.10.

**Таблица 5.10.** Структура получения доходов в системе Skybridge

Владелец и оператор	Владелец и оператор космического сегмента	Владелец и оператор станции сопряжения	Местный сервис-провайдер
Требуемый тип лицензии	Разрешение на использование частот	Лицензии на установку СС, взаимодействие с местной сетью и работы в данном регионе	Лицензия на ведение операторской деятельности
Источник доходов	Доходы от использования космического сегмента	Доходы от использования пропускной способности КА Skybridge	Оплата от конечных пользователей

Потенциальный рынок системы Skybridge - жители сельской местности и районов с малой плотностью населения. Ориентировочное количество пользователей в мире - от 15-20 млн. Общая стоимость проекта - 5,1 млрд. долл.

<sup>4</sup> Регионы: 1 - Европа, Африка, территория бывшего СССР; 2 - Северная и Южная Америка; 3 - Азиатско-тихоокеанский регион.

## 5.5. СИСТЕМА SECOMS

Проект региональной европейской системы SECOMS (Satellite EHF Communications for Multimedia Mobile Services) разрабатывает итальянская компания Alenia Spazio в рамках европейской космической программы ESA совместно с Alcatel Espace (Франция), Nuova Telespazio и др. Система SECOMS предназначена для предоставления услуг мультимедиа для стационарных и подвижных абонентов.

### Архитектура системы

Разработке проекта предшествовал цикл испытаний условий прохождения радиоволн в Ka диапазоне с помощью KA Italsat, а также через псевдоспутник (самолет, вертолет) в EHF диапазоне. Результаты испытаний позволили обосновать возможность создания малогабаритных портативных терминалов типа palmtop, laptop и размером с "дипломат", а также мобильных терминалов, предназначенных для установки на автомобиле, судне, поезде, самолете, и обеспечивающих передачу информации со скоростью от 64 кбит/с до 2,048 Мбит/с в Ka (20-30 ГГц) диапазоне и со скоростью 64 кбит/с в EHF (40-50 ГГц) диапазоне. Для связи с абонентами предусмотрены 2 градации информационных скоростей: 32 кбит/с (TDMA) - преимущественно для стационарных пользователей и 4 кбит/с - для мобильных.

Система SECOMS строится на базе нескольких геостационарных КА, связанных между собой с помощью межспутниковых линий (ISL) в диапазоне частот 60-63 ГГц. В зону обслуживания геостационарного КА с точкой 12° в.д. попадают территория Европы и Средний Восток.

Упрощенная структурная схема системы SECOMS приведена на рис. 5.8. Функционально система разделена на две подсистемы, работающие в Ka и EHF диапазоне. В состав каждой из подсистем входит центр управления MCS (Master Control Centre) и станция сопряжения (GTW).

Для обеспечения полносвязной сети скорость передачи для станции сопряжения и MCS в линии "Земля-спутник" выбирается равной  $n \times 32,768$  Мбит/с (в Ka диапазоне) и 1,024 Мбит (в EHF диапазоне). Скорости передачи в линии "спутник- Земля" составляют соответственно 32,768 Мбит/с (в Ka диапазоне) и 256 кбит (в EHF диапазоне). Надежность связи в фидерной линии - 99,9%, что обеспечивается за счет использования разнесенного приема на станции сопряжения (на 15-20 км).

Пользовательский сегмент системы Secoms включает 4 модификации абонентских терминалов:

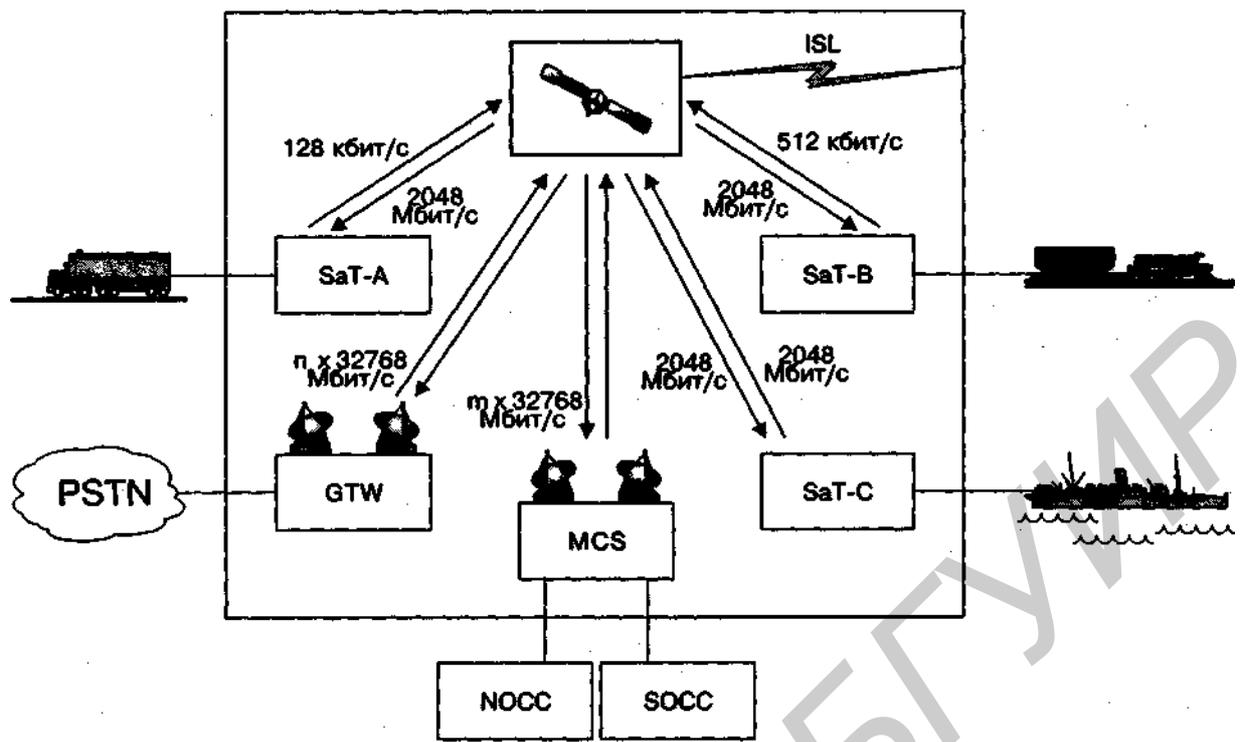
- Стандарт A (SaT-A) - скорость передачи 128 кбит/с (Ka диапазон);
- Стандарт B (SaT-B) - скорость передачи 512 кбит/с (Ka диапазон);
- Стандарт C (SaT-C) - скорость передачи 2,048 Мбит/с (Ka диапазон);
- Стандарт D (SaT-D) - скорость передачи 64 кбит/с (EHF диапазон).

Во всех моделях терминалов Ka диапазона прием данных, поступающих с борта КА, осуществляется со скоростью 2,048 Мбит/с, в EHF диапазоне - 64 кбит/с.

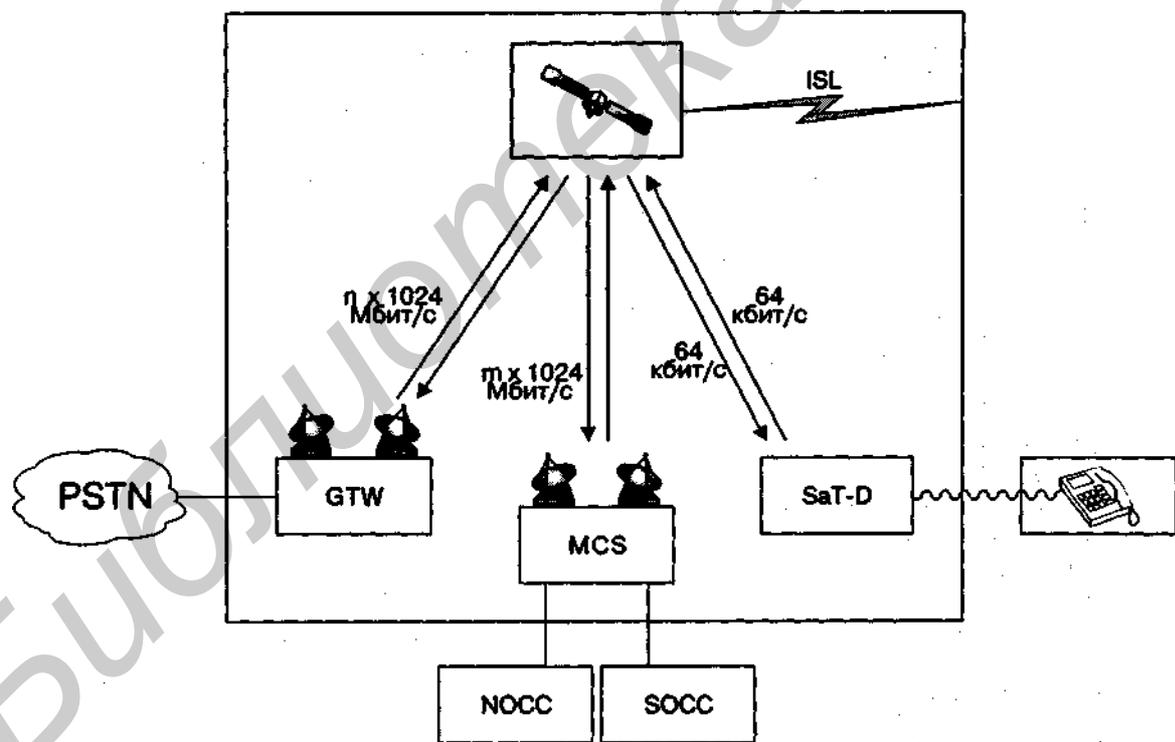
### Космический аппарат

КА SECOMS выполнен с обработкой информации и маршрутизацией каналов на борту. В ретрансляторе используется многолучевая антенна, формирующая 32 узких луча в Ka диапазоне и 64 луча в EHF диапазоне. Общая пропускная способность КА адаптивно перераспределяется между парциальными лучами.

Оптимизация бортовых ресурсов КА обеспечивается за счет использования эффективных методов многостанционного доступа MF-TDMA/TDM или CDMA/CDM. Основное преимущество MF-TDMA/TDM - высокая спектральная эффективность, простота технической реализации, а также то, что он уже опробован в ряде систем. К достоинствам CDMA/CDM относятся легко реализуемая совместимость с другими системами, высокая помехозащищенность от сосредоточенных помех, возможность адаптивного перераспределения трафика, повышенная скрытность передачи информации. Однако применение обработки CDMA сигналов на борту КА связано с увеличением потребляемой энергии и его аппаратным усложнением. Выбор метода многостанционного доступа будет окончательно произведен только после их сравнительного анализа. Основные характеристики бортовых подсистем Ka и EHF диапазонов приведены в табл. 5.11.



а) подсистема Ка диапазона



б) подсистема EHF диапазона

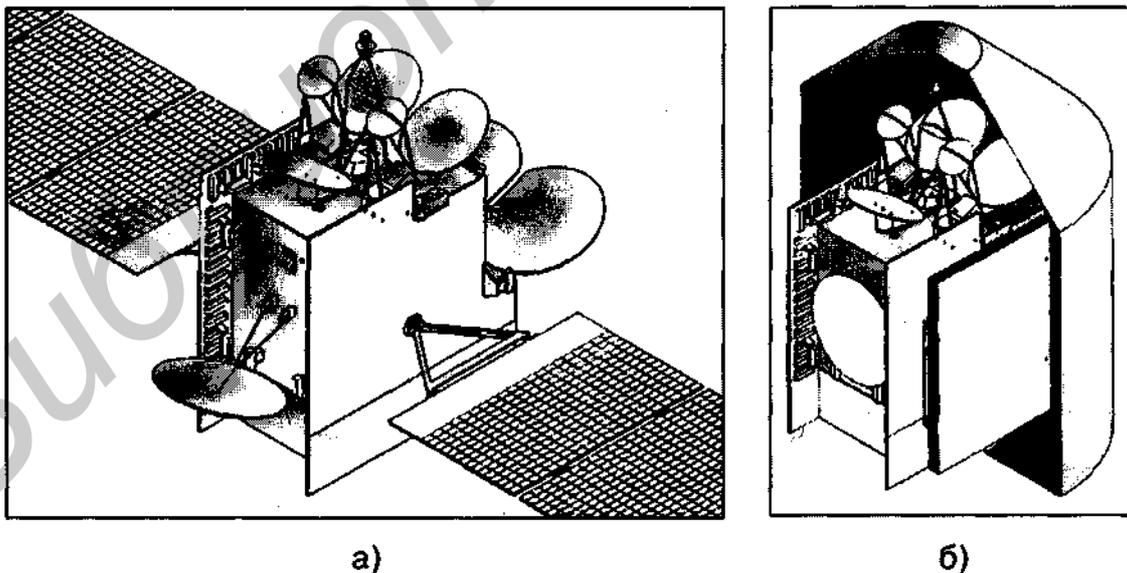
Рис. 5.8. Архитектура системы SECOMS (Ка и EHF подсистемы)

**Таблица 5.11.** Характеристики бортового комплекса системы SECOMS

Характеристики	Ка диапазон	EHF диапазон
Точка стояния на ГСО	12° в.д.	12° в.д.
Диапазоны частот, ГГц Линия "Земля-спутник" Линия "спутник-Земля"	30-31 20,2-21,2	45 40
Диапазон частот межспутниковой линии, ГГц	63 (прием), 60 (передача)	
Метод многостанционного доступа	MF-TDMA/TDM или CDMA/CDM	
Количество лучей	32	64
Ширина луча по уровню 3 дБ	0,7°	0,49°
Поляризация	Круговая	Круговая
ЭИИМ, дБВт Мобильные терминалы Стационарные терминалы	55,8 42,0	54,0 41,7
Г/Т, дБ/К	16,3	18,5
Количество симплексных каналов на борту КА	100000 (по 32 кбит/с)	52000 (по 4 кбит/с)
Пропускная способность на КА	4 Гбит/с	260 Мбит/с

КА SECOMS строится на базе платформы КА Italsat с использованием трехосной инерциальной системы стабилизации. Все основные подсистемы КА: командно-телеметрические, ориентации и управления объединены в единый блок, получивший название ICDS (Integrated Control and Data Subsystem). Обработка всей информации, поступающей с датчиков, осуществляется в бортовом ICDS процессоре.

Стартовая масса КА - 3500 кг. Мощность солнечных батарей изменяется в пределах от 7900 до 8600 Вт в зависимости от степени солнечной освещенности в различное время года. Максимальная мощность полезной нагрузки - 7400 Вт. В качестве буферного источника питания на борту планируется использовать 2 никель-водородные аккумуляторные батареи общей емкостью 202 А/ч. Срок активного существования КА - 12 лет. Вывод на орбиту предполагается осуществлять с помощью РН Ariane 4 или Ariane 5. Внешний вид КА SECOMS в рабочем состоянии и его размещение в Ariane 5 приведены на рис. 5.9.



**Рис. 5.9.** Внешний вид КА SECOMS в рабочем положении (а) и его размещение в ракете носителя Ariane 5 (б)

### Абонентские терминалы

Как указывалось ранее, в системе SECOMS планируется использовать 4 модификации терминалов. Их основные характеристики приведены в табл. 5.12. По своему функциональному назначению мобильные терминалы разделяются на две группы, которые могут быть адаптированы к различным видам обслуживания: персональному (автомобиль, яхта) или групповому (самолет, корабль, поезд).

В портативных абонентских терминалах Ka диапазона планируется использовать недорогие пассивные антенны с механическим или электронным управлением: грубое наведение антенны по азимуту осуществляется механически, а точное - автоматически по принимаемому сигналу. На подвижных объектах будут установлены активные антенные решетки, обеспечивающие автоматическое наведение антенны на КА.

В абонентских терминалах всех модификаций используется QPSK модуляция и помехоустойчивое кодирование, основанное на сочетании кода Рида-Соломона (204,188) и сверточного кода(1/2)<sup>5</sup>.

**Таблица 5.12.** Семейство портативных и мобильных терминалов системы SECOMS

Тип терминала	Портативный терминал			Мобильный терминал		
	SaT-D	SaT-A	SaT-B (C)	SaT-A	SaT-B	SaT-C
Модель терминала						
Исполнение	Palmtop	Laptop	Дипломат	Автомоб.	судовой, вагонный, самолетный	
Скорость передачи, кбит/с	64	2048	2048	2048	2048	2048
Линия "вверх"	64	128	512 (2048)	128	512	2048
Линия "вниз"						
ЭИИМ, дБВт	30	33,9	40 (45,7)	33,9	40	45,7
G/T, дБ/К	8,2	2,4	11,2	2,4	11,2	11,2
Габаритные размеры, см	15x20x3	25x23x7	40x35x10	d=30 см	45x18	
Масса, кг	< 1	<2,5	<5	<5	<8	< 10
Коэффициент усиления антенны, дБВт	28,2	27,5	36,2	27,5	36,2	36,2
Требования к. наведению	АВТ	РГ/АТ	РГ/АТ	АВТ	АВТ	АВТ
Режим обслуживания	ПР	ПР	ПР	ПР	ПР/ГР	ГР
Обозначения: АВТ - автоматический режим наведения; ГР -групповое обслуживание; ПР -персональное обслуживание; РГ/АТ - ручное наведение грубое, автоматическое тонкое.						

Разработка системы осуществляется в 2 этапа. На первом этапе (2000 г.) начнет предоставлять услуги фрагмент системы, работающий в Ka диапазоне частот. На втором этапе (2005 г.) планируется развернуть подсистему, работающую в EHF диапазоне.

<sup>5</sup> В линии "Земля-спутник" Ka диапазона (терминалы Стандарта А, В, С) используется только код Рида-Соломона (204,188).

## ЧАСТЬ 2

# ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА ДАННЫХ

## 6. СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ С КА НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ

Прогресс в развитии систем традиционной подвижной спутниковой связи за последние 10 лет впечатляет. Так, масса земных станций изменилась с 300 до 3-5 кг, уменьшались размеры антенн, и, наконец, что самое главное, был полностью пересмотрен подход к профессиональной подготовке операторов.

В настоящем разделе рассмотрены проекты систем мобильной персональной радиотелефонной связи и передачи данных со спутниками на геостационарной орбите (ГСО). Системы Inmarsat-M, "Марафон", AMSC, MSAT, OPTUS, ACeS предназначены преимущественно для обеспечения радиотелефонной связи, а системы Inmarsat-C, Omnitrack, Euteltrack, Prodat, ориентированы, главным образом, на низкоскоростную передачу данных.

### 6.1. СИСТЕМА INMARSAT

Международная организация морской спутниковой связи Inmarsat создана в 1979 г. В ее состав входят 79 государств. Наиболее значительная доля инвестиций различных стран составляет: США - 22,35%, Великобритания - 11,14%, Япония - 9%, Норвегия - 7,83%, Франция - 5,24%, Германия - 4,58%, Россия - 4,43% и Канада - 2,73%. Эксплуатация системы для морских пользователей началась с 1982 г.

В соответствии с международным соглашением, задачей организации является обеспечение безопасности мореплавания и охраны человеческих жизней на море, оповещение о бедствиях, радиоопределение местоположения судов, координации поисково-спасательных работ на море, повышения эффективности плавания судов и организация коммерческой морской связи. По мере развития системы и роста пропускной способности, были разработаны различные модификации терминалов и реализованы также услуги воздушной и сухопутной службам. По оценкам потребности рынка, к 2000 г. число абонентских терминалов системы Inmarsat достигнет [28]: 300 тыс. - плавучие объекты, 18 тыс. - самолеты, 180 тыс. - персональные пейджеры, 300 тыс. - сухопутные ПО, персональные терминалы, т. е. к указанному сроку число "сухопутных" терминалов примерно в 1,5 раза превысит число мобильных морских и авиа терминалов

#### 6.1.1. СОСТАВ, ВИДЫ УСЛУГ И ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ

В состав системы Inmarsat входят:

- космический сегмент, состоящий из рабочих и запасных геостационарных КА с ретрансляторами и командно-измерительного комплекса (наземных станций слежения и ДР.);
- наземный сегмент, включающий в себя береговые земные станции (БЗС), координирующие сетевые станции (КСС) и эксплуатационный контрольный центр (ЭКЦ);
- парк земных станций и терминалов: мобильные (морские суда, самолеты), носимые и стационарные; терминалы используются как для коллективного, так и индивидуального пользования.

Работа системы Inmarsat осуществляется в диапазонах частот, выделенных на первичной основе для подвижной спутниковой службы. Для связи с подвижными абонентами ис-

пользуется L диапазон частот: 1626,5-1660,5 МГц (линия "Земля - спутник") и 1525,0-1559,0 МГц (линия "спутник - Земля"). Работа фидерных линий осуществляется в С диапазоне: 6425-6450 МГц (линия "Земля - спутник") и 3600-3623 (3600-3630) МГц (линия "спутник - Земля").

Контроль за работой полномасштабной системы осуществляет эксплуатационный контрольный центр. ЭКЦ обеспечивает прием и обработку информации о состоянии работоспособности всех элементов системы, контролирует характеристики космического сегмента, реализует планы ввода в эксплуатацию новых технических средств.

Береговые земные станции служат промежуточными звеньями между спутниками системы Inmarsat и береговыми абонентами, с которыми они могут соединяться по международным и национальным телефонным и телеграфным сетям. Связь объектов в системе Inmarsat осуществляется только через БЗС. Все береговые станции системы Inmarsat обеспечивают для судов, терпящих бедствие, возможность быстрого соединения по телефонному или телексному каналу со службами, участвующими в поисково-спасательных работах.

В каждой подспутниковой зоне Inmarsat работают несколько стандартных БЗС, одна из которых выполняет функции координирующей сетевой станции. КСС следит за работой спутниковой сети в данном регионе, распределяет пропускную способность ретранслятора между береговыми станциями. В функции КСС входит передача сообщений абонентам сети на основной (1537,750 МГц) или резервной (1538,475 МГц) вызывных частотах, а также ретрансляция ряда других категорий специальных сообщений.

### Космический сегмент системы Inmarsat

На первых этапах создания системы Inmarsat связь организовывалась через арендуемые у других организаций спутники Marisat, Marecs и Intelsat-5MSC. В настоящее время орбитальная группировка системы Inmarsat состоит из 6 КА Inmarsat (4 КА типа Inmarsat-2 и 2 КА типа Inmarsat-3) и 7 КА старого поколения (типа Marisat и Intelsat-5MCS).

Подспутниковая зона орбитальной группировки системы Inmarsat охватывает четыре океанических региона: Атлантический восточный (АОР-В), Атлантический западный АОР-З, Индийский (ИОР) и Тихоокеанский (ТОР). Над каждым из океанических регионов находятся по одному действующему и по два запасных спутника, что обеспечивает покрытие практически всей поверхности Земного шара, за исключением приполярных районов. В табл. 6.1 приведен состав космического сегмента и точки стояния КА системы Inmarsat.

**Таблица 6.1.**

Океанический регион	АОР-В	АОР-З	ИОР	ТОР
Основные КА	Inmarsat-2F4 (55° з.д.)	Inmarsat-2F2 (15,5° з.д.) Marecs B2 (15,2° з.д.)	Inmarsat-2 F1 (64,5° в.д.)	Inmarsat-2 F3 (178° в.д.)
Резервные КА	Intelsat MCS-B (50° з.д.)	Intelsat MCS-A (66° в.д.) Marisat F2 (72,5° в.д.)	Intelsat MCS-D (180° в.д.) Marisat F1 (106° з.д.)	Marisat F3 (176,5° в.д.)

Спутники третьего поколения размещаются в следующих орбитальных позициях: 64,5° в.д. (Inmarsat-3F1) и 180,5° з.д. (Inmarsat-3F2).

### Космические аппараты Inmarsat-2 и Inmarsat-3

Разработку и изготовление спутника Inmarsat-2 провели фирма British Aerospace (Великобритания) совместно с фирмами Hughes Aircraft (США) и Matra (Франция). Конструкция спутника Inmarsat-2 базируется на стандартной платформе Eurostar со стабилизацией по трем осям. Ретрансляционная аппаратура спутников Inmarsat-2 использует стандартные для подвижной морской связи диапазоны частот L (1,6/1,5 ГГц) и С (6/4 ГГц).

Ретранслятор выполнен без обработки информации на борту, т.е. осуществляет прием, усиление и перенос сигналов по частоте. Диаграмма направленности антенных систем оптимизирована для облучения поверхности соответствующего региона Земного шара. Стартовая масса спутника составляет 1200 кг, масса на орбите - 860 кг.

Спутники третьего поколения Inmarsat-3 организуют в L диапазоне один глобальный луч и 5 остронаправленных лучей с высокой ЭИИМ (до 46 дБВт), один глобальный луч для

GPS/"Глонасс" и 2 остронаправленных луча в С - диапазоне, что позволяет уменьшить габариты и существенно снизить требования к ЭИИМ подвижных терминалов. Этот ствол в сочетании с более широкой полосой частот (до 29 МГц) позволил увеличить пропускную способность КА до 1000 телефонных каналов. Основные характеристики КА Inmarsat-2 и Inmarsat-3 приведены в табл. 6.2. Наряду со связным оборудованием, на борту КА Inmarsat-3 установлены навигационные приемники GPS/"Глонасс" сигналов, а также дополнительное оборудование, обеспечивающее ретрансляцию навигационных сигналов, подобные сигналам систем GPS/"Глонасс" (более подробно этот вопрос будет рассмотрен в разделе 12).

**Таблица 6.2.** Основные характеристики космических аппаратов и ретрансляторов системы Inmarsat

Тип спутника	Inmarsat-2	Inmarsat-3
Спутниковая платформа	Eurostar	Satcom 4000
Размах панели с солнечными батареями, м	15,23	20
Масса КА, кг	1200	1900
Мощность СЭП, Вт	1200	1670 (общая) 1440 (L) + 115 (C)
Количество лучей	4 (С диапазон) 1 (L диапазон)	1 глобальный (L диапазон) 5 узких (L диапазон) 2 узких (С диапазон) 1 глобальный (GPS/"Глонасс")
ЭИИМ (L - диапазон)	39	46
Количество эквивалентных телефонных каналов	250 (судно - берег) 150 (берег - судно)	1000
Срок службы, лет	10	13
Стоимость КА, млн. долл.	73	80

## 6.1.2. ЗЕМНЫЕ И АБОНЕНТСКИЕ СТАНЦИИ

### Береговые земные станции

В настоящее время в системе Inmarsat функционируют 40 береговых станций, расположенных в различных странах мира, в том числе и на территории СНГ (Одесса и Находка). Эти станции обслуживают абонентов в Атлантическом, Индийском и Тихоокеанском регионах. Береговые станции находятся во владении тех стран, на чьей территории они находятся. Их эксплуатация осуществляется уполномоченными на это организациями национальных администраций.

Алгоритмы работы БЗС и их основные тактико-технические параметры должны находиться в строгом соответствии с требованиями организации Inmarsat. Каждая БЗС имеет закрепленную за ней несущую, которая уплотняется 22 телеграфными каналами. Телефонные каналы не закреплены за конкретными станциями, а находятся в "общем пользовании". Береговые станции имеют выход в национальные и международные сети телефонной и телексной связи.

Работа абонента, имеющего аппаратуру определенного стандарта, через береговую станцию может осуществляться только в случае, если БЗС имеет соответствующее оборудование. В частности, все БЗС оснащены оборудованием, поддерживающим связь со станциями Стандарта Inmarsat-A. Что же касается высокоскоростного режима передачи данных, то он осуществляется только через некоторые из них. Аналогичная ситуация происходит и с оснащением БЗС оборудованием других стандартов. Так, протоколы Стандарта Inmarsat-C поддерживает около 20 БЗС, причем на территории РФ таких станций нет. Услуги Стандартов Inmarsat-M и Inmarsat-B предлагаются еще меньшим числом БЗС, в основном вновь создаваемыми береговыми станциями.

На береговых станциях используются параболические антенны, с диаметром 12-15 м. Стоимость береговой станции в зависимости от комплектации составляет 1,0 - 2,5 млн. долл.

### Парк абонентских станций

В системе Inmarsat подвижные объекты оснащаются разными типами оконечного абонентского оборудования, которое должно удовлетворять специфическим требованиям отдельных категорий пользователей, известным как Стандарты. Наибольшее распространение получили следующие виды стандартов.

**Стандарт Inmarsat-A.** ЗС этого стандарта предназначены для работы в сетях телефонной, факсимильной, телексной и телеграфной связи. Станция оснащена параболической антенной диаметром 0,8 - 1,2 м. Связь устанавливается после набора номера в автоматическом режиме. К настоящему времени выпущена 71 модель станций, разработка новых станций этого стандарта прекращена.

**Стандарт Inmarsat-B.** Цифровая ЗС, предлагающая расширение функциональных услуг Стандарта А с одновременным снижением их стоимости. Передача речи и данных осуществляется со скоростью 24 кбит/с с использованием модуляции типа QPSK со сдвигом фазы. Размеры антенны те же, что и для станций Стандарта А. В коммерческую эксплуатацию эта подсистема введена в 1994 г. Планируется, что в ближайшие годы ЗС Стандарта В постепенно заменят существующий парк станций Стандарта А. Модели наземных ЗС могут быть размещены в 1 - 2 чемоданах или же установлены непосредственно на транспортных средствах.

**Стандарт Inmarsat-C.** Малогабаритная станция персональной связи с ненаправленной или слабонаправленной антенной, обеспечивающая передачу информации в пакетном режиме. Обмен данными, в том числе короткими сообщениями, осуществляется со скоростью 600 бит/с. Организацией Inmarsat уже одобрено 12 моделей станций Стандарта С в морском исполнении и 8 моделей для других служб. В настоящее время ни в РФ, ни в странах СНГ серийное производство станций Стандарта С не освоено.

**Стандарт Inmarsat-M.** Малогабаритная станция спутниковой связи, обеспечивающая радиотелефонную и факсимильную связь, передачу данных. Передача информации осуществляется со скоростью 8 кбит/с (данные) с использованием модуляции типа QPSK. Используется антенна диаметром 40 - 50 см, а также ФАР для подвижных наземных объектов.

**Стандарт Inmarsat-Mini-M.** Малогабаритная станция, предназначенная для радиотелефонной и пейджинговой связи.

Основные характеристики морских и сухопутных терминалов Стандартов А, В, С, М и Mini-M приведены в табл.6.3.

**Таблица 6.3.** Основные характеристики морских и сухопутных терминалов системы Inmarsat

Стандарт	А	В	С	М	Mini-M
Год начала эксплуатации	1976	1992	1991	1993	1997
Скорость передачи, кбит/с	до 64	24 (речь) до 64 (данные)	0,6	ДО 8	4,8 (речь) 2,4 (данные)
Модуляция	ЧМ	QPSK	BPSK	QPSK	BPSK, OQPSK
G/T, дБ/К	-4	-4	-23	-12...-10	н/д
ЭИИМ, дБВТ	36	33	14±2	27	11-17
Полоса, кГц	50	20	. 5	10	10
Стоимость терминала, долл.	25000	25000	5000	15000-25000	4000
Стоимость услуг, долл. /мин	8-12	5,5	1 долл. за 1 кбит	5,5	3

В системе Inmarsat используется несколько типов самолетных станций, предназначенных для обеспечения следующих видов услуг:

- *Inmarsat-Aero-H* - 6-канальная, работающая в режимах: радиотелефонная связь, факс, телекс, высокоскоростная передача данных - для обслуживания экипажей воздушных судов и пассажиров на международных авиалиниях;

- *Inmarsat-Aero-I* - 4-канальная, работающая в режимах: радиотелефонная связь, факс, телекс, высокоскоростная передача данных - предназначена для обслуживания экипажей воздушных судов и пассажиров на международных авиалиниях;
- *Inmarsat-Aero-L* - одноканальная, режим низкоскоростной передачи данных для обеспечения безопасности полетов воздушных судов;
- *Inmarsat-Aero-C* - одноканальная, режим низкоскоростной передачи данных, удовлетворяющая требованиям Стандарта Inmarsat-C.

Основные параметры терминалов, предназначенных для воздушных судов, приведены в табл. 6.4.

**Таблица 6.4.** Основные параметры самолетных терминалов стандарта Aero

Стандарт	Aero-H	Aero-I	Aero-L	Aero-C
Число каналов (макс)	6	4	1	1
Скорость передачи, кбит/с,	2,4...9,6	2,4...4,8	1,2	0,6
ЭИИМ, ДБВТ	22,5-25,5	22,5	13	12-14
G/T, дБ/К	-13	-19	-26	-23
Стоимость, тыс. долл.	250-500	до 250	до 100	н/д

### 6.1.3. СИСТЕМА INMARSAT-M

Система цифровой спутниковой телефонной связи Inmarsat-M является первой среди подобного класса систем, которая предоставляет возможность установления и ведения речевого обмена без участия оператора связи. Терминал Inmarsat-M находится в личном пользовании абонента.

Система Inmarsat-M обеспечивает двухстороннюю телефонную связь (до 8 кбит/с) и передачу данных или факсимильных сообщений (группа G3) со скоростью 2,4 кбит/с. Основная область применения - предоставление услуг пользователям, удаленным от наземных телефонных сетей общего пользования. Система Inmarsat-M также обеспечивает интерфейс для обмена данными в сетях пакетной коммутации (X.25) и электронной почты (X.400).

Для абонентов Inmarsat-M предоставляются следующие дополнительные виды услуг:

- введение индивидуальных идентификационных номеров для абонентов, коллективно использующих станцию Inmarsat-M;
- автоматическая регистрация длительности занятия канала станции с выводом данных на дисплей или принтер;
- доступ к спутниковому каналу по кредитной карточке и др.

Комплект станции для установки на подвижных объектах включает приемо-передающий терминал и легкую, разворачиваемую на остановке антенную решетку, которую наводят на геостационарный спутник.

Протоколы работы системы Inmarsat-M поддерживают около 20 береговых ЗС. Серийное производство станций освоено более чем 10 фирмами в различных регионах мира.

Особенно привлекательна для персональных пользователей последняя модификация станции (Стандарт Mini-M). Масса станции составит 3-5 кг. Стоимость терминала - около 4000 долл., тариф - 3 долл/мин.

В системе Inmarsat-M возможно установление соединений не только с абонентами сетей общего пользования, но также и двух абонентов системы между собой с использованием двойной ретрансляции через береговые ЗС.

Для сухопутных пользователей разработаны два базовых варианта исполнения станции Стандарта-M: "кейс-дипломат" и переносной контейнер.

Терминал типа "кейс-дипломат" представляет собой облегченный вариант носимой, станции, ориентированной преимущественно для персональных пользователей, совершающих деловые поездки. В кейс-дипломат, кроме собственно антенны, размещаемой в крышке, может дополнительно укладываться миниатюрный факс-аппарат или малогабаритное печатающее устройство.

Основные характеристики автомобильного терминала модели CAPSAT TT-3062 (фирма Thrane & Thrane): скорость передачи - 5,6 кбит/с (OQPSK) или 3 кбит/с (BPSK), напряжение питания - 10,5-32 В постоянного тока, телефонный интерфейс - RJ-11, масса - 3 кг (масса

приемопередатчика - 1,3 кг). Время развертывания и подготовки терминала к работе не более 1 мин.

Контейнерный вариант терминала предназначен для эксплуатации в полевых условиях или для установки на подвижные объекты, включая летательные аппараты. Он имеет значительно больший вес и габариты, его отличает промышленный дизайн и возможность автономного электропитания. Так, терминал Стандарта-М фирмы NEC имеет массу порядка 16 кг.

#### 6.1.4. СИСТЕМА INMARSAT-C

Система Inmarsat-C предоставляет пользователям следующие виды услуг:

- **Автоматический сбор данных с транспортных средств или судов.** Центр управления может опрашивать подвижные терминалы периодически (через фиксированные промежутки времени) или же в заранее определенные моменты времени.
- **Определение местоположения.** Передаваемые данные о местоположении могут быть получены от наземных систем Decca и Loran-C, спутниковых систем GPS/Глонасс и Transit или другого навигационного оборудования, установленного на подвижном объекте.
- **Координация поисково-спасательных работ.** Система обеспечивает передачу заранее запрограммированных сообщений (путем нажатия одной или нескольких кнопок). Записанные в память терминала аварийные сообщения указывают на последнее местоположение подвижного объекта.
- **Отслеживание угона транспортных средств.** В случае угона, вмонтированные в транспортное средство датчики посылают аварийный сигнал на терминал, к нему добавляется информация о местоположении, и сообщение излучается в эфир. Принимаемая информация поступает на станцию наблюдения, связанную с соответствующими службами обеспечения безопасности.

#### Организация связи в системе INMARSAT-C

Абонентские станции системы Inmarsat-C осуществляют связь с диспетчерскими центрами соответствующих служб через региональные береговые ЗС, выполняющих функции станций сопряжения сети. Структурная схема сети связи системы Inmarsat-C представлена на рис. 6.1.

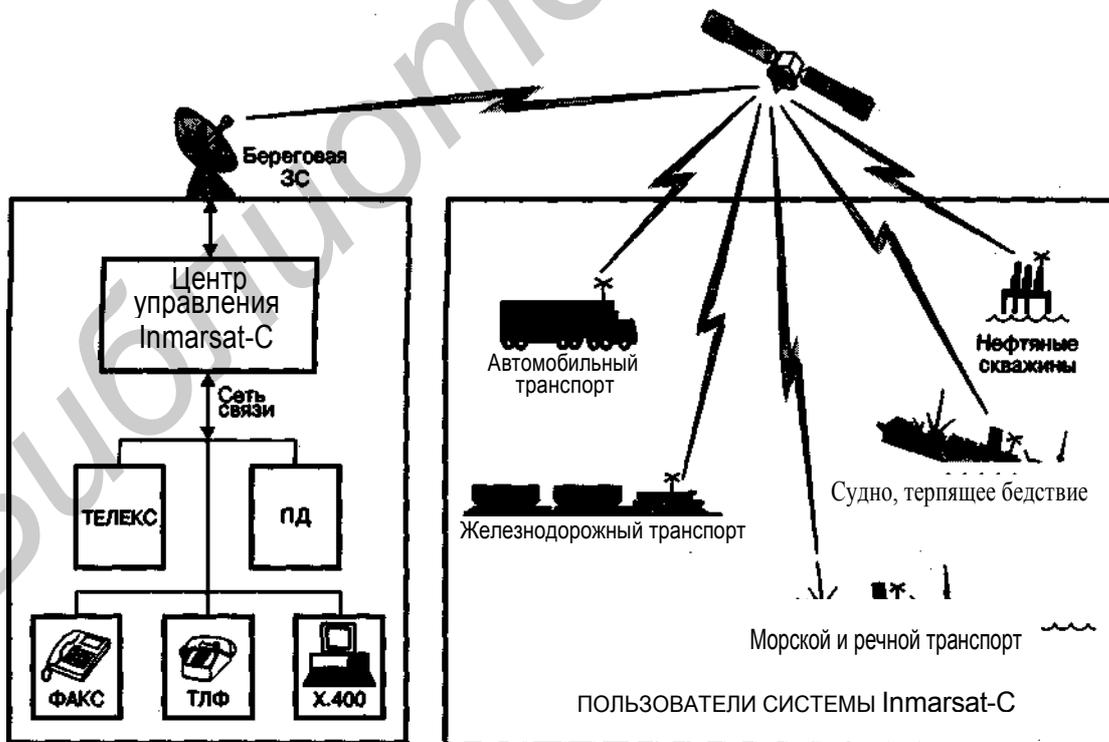


Рис. 6.1. Структурная схема сети связи системы Inmarsat-C

Сообщения, полученные из наземных сетей, сначала запоминаются на станции сопряжения, а затем преобразуются из исходного формата (телекс, данные и др.) в удобную для передачи в системе Inmarsat-C форму. На процедуру накопления и передачи уходит обычно несколько минут. Однако приоритетные сообщения, типа аварийных, обрабатываются в течение нескольких секунд.

Передача данных в радиоканал осуществляется с использованием фазовой манипуляции и помехоустойчивого кодирования (сверточный код  $r=1/2$ ,  $k=7$ ). Метод многостанционного доступа - синхронная Алоха. Длительность кадра - 8,6 с.

Абонентская станция стандарта Inmarsat-C, оборудованная встроенным GPS приемником, позволяет автоматически передавать данные о местоположении объекта в диспетчерский центр.

### **Дополнительные виды услуг системы Inmarsat-C**

**Служба FleetNET.** Сеть циркулярной связи, позволяющая передавать сообщения неограниченному числу заранее определенных абонентов. FleetNET используется для учета абонентской платы, передачи информационно-справочных данных, организации диспетчерской связи.

Этим перечень услуг не ограничивается. Любая организация может стать провайдером услуг. Пользователям предоставляется возможность модифицирования или изменения параметров группового вызова. Данный вызов может быть осуществлен через ТфОП, по телексу, видеотекстовому терминалу или с ПК, имеющего соответствующее программное обеспечение.

**Служба SafetyNet.** Выделенная сеть для распространения информации о морской безопасности используется гидрографическими, метеорологическими, береговыми службами безопасности и администрациями, координирующими деятельность поисково-спасательных бригад. Она сходна с FleetNET, но имеет дополнительную возможность автоматического выхода на технические средства района бедствия.

Предоставляемые сетью SafetyNet услуги включают передачу информации по обеспечению безопасности мореплавания, метеосводки и навигационные предупреждения для управления флотом.

### **Терминал Inmarsat-C**

В системе используется несколько моделей терминалов, отличающихся своими функциональными возможностями и конструктивным исполнением. Дополнительное оборудование, включающее навигационные и телеметрические устройства, может входить в состав терминала или подключаться к нему с использованием стандартного интерфейса.

Терминалы Inmarsat-C морского исполнения оснащены специальной аварийной системой, которая генерирует и автоматически посылает сообщения о бедствии, включающие данные о местоположении и другие сведения.

Конструктивно терминал состоит из связного модуля и малогабаритной всенаправленной антенны. Основные параметры приемопередатчика: ЭИИМ -  $14 \pm 2$  дБВт (для углов места  $5^\circ$ ), добротность  $G/T = -23$  дБ/К, модуляция - QPSK.

В терминале используются следующие интерфейсы:

- Стандартный интерфейс терминала - рекомендация МККТТ V.24/28, 9-штырьковый D-разъем, скорость 110-9600 бит/с, код ITA-5, максимальная длина кабеля 100 м.
- Стандартный интерфейс принтера - параллельный типа Centronics, 25-контактный D-разъем, максимальная длина кабеля 4 м.

Сравнительные характеристики двух базовых моделей терминалов Inmarsat-C приведены в табл. 6.5.

### **6.1.5. СИСТЕМА ПЕЙДЖИНГОВОЙ СВЯЗИ INMARSAT-D**

Система глобальной односторонней пейджинговой связи Inmarsat-D введена с 1995 г. Она является естественным расширением наземной сети пейджинговой связи. Основные услуги, предоставляемые службой пейджинговой связи, следующие:

- передача тонального оповещения (до 4-х видов сигналов);
- передачу цифровых сообщений длиной 32 символа;
- передача буквенно-цифровых сообщений длиной до 128 символов;
- прозрачная служба передачи данных - до 400 символов (напр., иероглифов);
- передача групповых вызовов.

**Таблица 6.5.** Сравнительные характеристики терминалов Inmarsat-C

Тип терминала	TT-3022D [60]	TNL-7001, Galaxy [62]
Изготовитель	Thrane & Thrane, Дания	Trimble Navigation, США
Размеры (Wx Lx H)	50x180x165	215x245x60
Масса приемопередатчика	1,3 кг	2,9кг
Масса антенны	0,75 кг	2 кг
Объем ЗУ	512 Кбайт	-
Диапазон частот	1525-1559 МГц 1660,5-1575,42 МГц	1530-1545 МГц 1626,5-1645,5 МГц
Шаг сетки частот	1,25/2,5/5 кГц	-
Источник питания	10-32 В	12-24 В (+30% -20%)
Потребление: передача прием	81 Вт 4,8 Вт	105 Вт 12 Вт
Режим энергосбережения (Sleep mode)	1,14 Вт (15 мин) 570 мВт (30 мин) 280 мВт (1 час) 140 мВт (2 часа) 60 мВт (5 часов) 30 мВт (10 часов)	-
Рабочие температуры	от -25° С до +55° С	от -25° С до +55° С
Основные характеристики встроенного GPS приемника		
Число каналов	8	8
Период обновления данных	1 с	1 с
Навигационный интерфейс	NMEA 0183	NMEA 0183

Доступ к спутниковой службе принципиально не отличается от существующей схемы организации связи в наземных сетях пейджинговой связи. Короткое буквенно-цифровое сообщение может передаваться пользователю как с диспетчерского пункта, так и непосредственно с терминала пользователя.

Для организации такого вида связи предполагается создать в различных регионах службы пейджинговой связи, в которых будут регистрироваться пользователи. В случае пребывания в другой стране или регионе абонент должен информировать об этом своего оператора. Возможна передача пейджинговых сообщений одновременно в несколько регионов, однако стоимость такой услуги будет выше.

Пользователь может установить различные атрибуты персонального вызова: число повторов сообщений, время их передачи, категорию срочности. В системе установлены следующие категории срочности: приоритетный (экстренный), срочный, обычный и несрочный. Защита от потери информации осуществляется за счет повторной передачи данных. Все передаваемые сообщения имеют пометки о времени передачи данных и пронумерованы для облегчения поиска.

Наряду с сообщениями персонального вызова, по каналу пейджинговой связи передаются обновляемые данные финансового рынка, информация о погоде, бюллетень новостей.

Пейджер может быть встроен в терминалы Inmarsat-A, B, C и -M. Он способен оповещать о вызове в случае, если даже терминал выключен или не готов к работе.

Первым спутниковым пейджером глобального действия является устройство GP 1600 (стандарт Inmarsat-D). Компактный, легкий (масса менее 200 г) приемник персонального вызова способен принимать буквенно-цифровые сообщения длиной до 64 знаков. Он имеет достаточную память для хранения сообщений. Пейджер обеспечивает индикацию уровня принимаемого сигнала, в нем предусмотрен режим энергосбережения.

### 6.1.6. СИСТЕМА INMARSAT-E

Запуск технически более совершенных и мощных спутников, характеризующихся использованием многолучевых антенн на борту, позволил организовать ретрансляцию данных от аварийных радиомаяков с использованием КА на геостационарной орбите.

Аэрокосмический научно-исследовательский институт связи в Oberpfaffenhofen (Германия) разработал систему аварийной радиосвязи, работающую в L - диапазоне через спутники системы Inmarsat. Система прошла предварительные испытания на борту нескольких кораблей в районе Атлантического океана (АОР-В). Учитывая, что зоны обслуживания системы Inmarsat охватывают все основные океанические регионы (АОР-В, АОР-3, ИОР и и ТОР), то сообщения с радиобуя могут быть немедленно доставлены на одну из береговых станций. Сбор и обработку аварийных сигналов предполагается осуществить на наземной станции, находящейся в Германии.

Радиобуй Inmarsat-E, наряду с радиобуями системы "Коспас-Сарсат" (система "Коспас-Сарсат" описана в разделе 8.1), предназначен для оснащения крупнотоннажных морских судов (с водоизмещением более 300 тонн).

В системе Inmarsat-E используется радиобуй типа EPIRB. Срабатывание радиобуя происходит автоматически при погружении его в воду. Радиобуй передает аварийное сообщение, в котором содержатся координаты места катастрофы и другие сведения об объекте, на котором он установлен. Среднее время ожидания с момента приведения радиобуя в активное состояние до приема сообщения составляет не более 2 мин. Масса радиобуя - 5 кг.

### 6.2. СИСТЕМЫ OMNITRACS И EUTELTRACS

Система Omnitracс разработана компанией Qualcomm Inc., Сан-Диего, шт. Калифорния. Европейская система аналогичного назначения Euteltracs создана международной организацией Eutelsat.

Omnitracс и Euteltracs являются первыми коммерческими системами, предоставляющими пользователям такие виды услуг, как двусторонний обмен информацией и определение местоположения подвижного объекта. Обе системы имеют сходные протоколы обмена данными и различаются лишь конкретным парком используемых средств и зонами обслуживания.

Идея создания системы Omnitracс зародилась в 1985 г, когда компания Qualcomm (США) разработала для сотовых систем аппаратуру многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA). Начиная с 1988 г. система Omnitracс, работая через спутниковые каналы Ku диапазона, обеспечивает коммерческие услуги подвижной связи, включая двухсторонний обмен данными, отслеживание местоположения транспортных средств и др. Система покрывает континентальную часть США.

Введенная на коммерческой основе в 1991 г., система Euteltracs, аналогичная по услугам системе Omnitracс, предназначена для обслуживания регионов европейской части территории, Северной Африки и Ближнего Востока.

#### Структура системы Omnitracс и Euteltracs

В состав системы входят 3 основных компонента: центр управления системой (ЦУС), двустольный ретранслятор и подвижные терминалы.

Весь сетевой трафик проходит через центр управления системой, расположенный в Сан-Диего, США. В его состав входят центральная земная станция, работающая в Ku диапазоне, процессоры прямого и обратного каналов. В качестве центральной станции используется ЗС с антенной диаметром 7,6 м. По наземным линиям центр связан с наземными узлами связи, в ведении которых находятся соответствующие транспортные средства (ТС).

Система использует два ретранслятора, размещенные на одном КА с точкой стояния 103° в.д. Один ретранслятор используется для передачи данных из центра ко всем подвижным терминалам. Второй ретранслятор на том же КА используется для приема данных от подвижных терминалов [9].

Центр управления сетью обеспечивает выполнение следующих функций:

- организация связи по прямому и обратному каналам;
- интерфейс со стационарными наземными пунктами по коммутируемым телефонным каналам, каналам передачи данных наземных сетей или по высокоскоростным спутниковым каналам;

- установление личности абонентов, чтобы исключить возможность несанкционированного доступа;
- автоматическое обновление информации о местоположении подвижных абонентов;
- идентификация сообщений посредством контроля номеров сообщений в прямом и обратном каналах;
- возможность передачи индивидуальных и групповых сообщений;
- периодическая передача сообщений о состоянии системы с целью контроля;
- передача учетных данных (имя пользователя, регистрационный номер и т.д.) с записью этих файлов на диск с целью подготовки справочно-учетной информации;
- контроль работы системы с пульта оператора;
- избирательное шифрование данных для обеспечения большей безопасности передачи сообщений;
- возможность смены шифровальных ключей и перенастройки ключей подвижных абонентов с целью обеспечения требований секретности.

В состав сети Euteltracs входят центральная станция (ЦС), станция маршрутизации (СМ), спутниковые диспетчерские пункты (СДП) и мобильные связные терминалы МСТ (Mobile Communication Terminal). Схема организации диспетчерской связи в системе Euteltrack приведена на рис. 6.2.

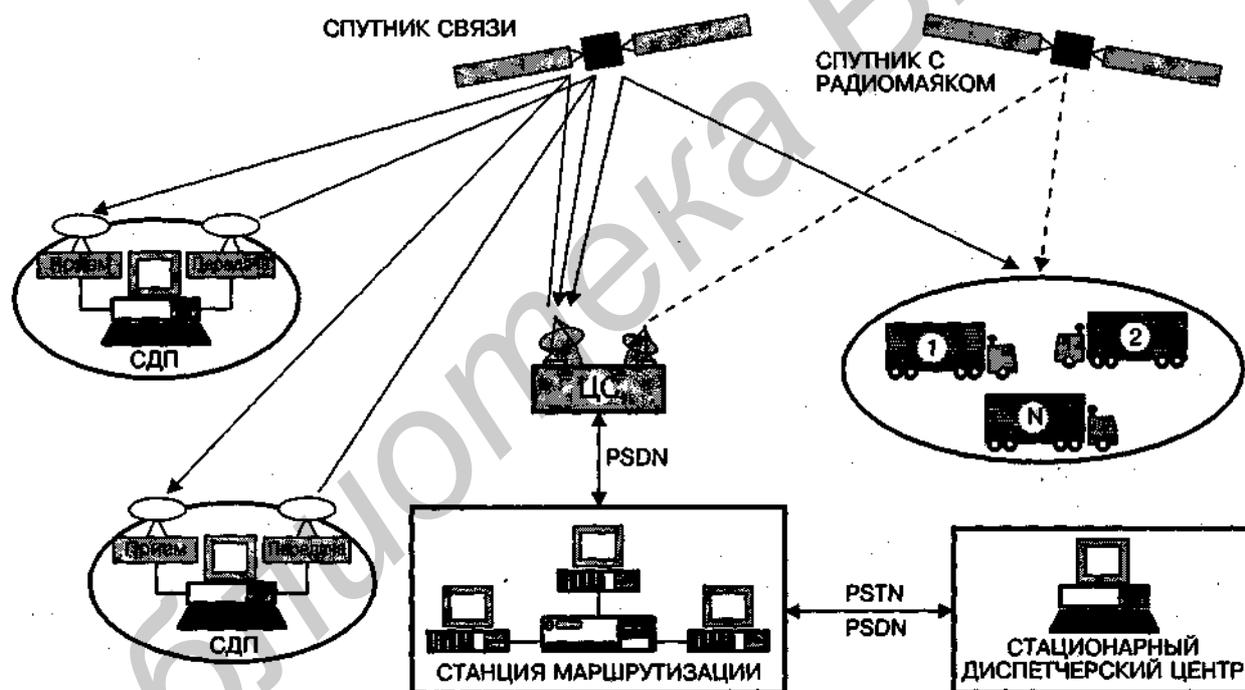


Рис. 6.2. Схема организации диспетчерской связи в системе Euteltrack

Весь информационный поток сети связи замыкается на ЦС, расположенную во Франции. В непосредственной близости от ЦС располагается станция маршрутизации (СМ), являющаяся фактически почтовым ящиком ЦС. Маршрутизатор производит анализ всех принимаемых сообщений и выдает разрешение на установление соединения.

В сети могут быть размещены несколько спутниковых диспетчерских пунктов (СДП). С их помощью устанавливается непосредственная связь с абонентами. Переговоры между СДП и подвижным абонентом начинается с запроса статуса исходящих и входящих сообщений, накопившихся у абонента.

К станции маршрутизации сообщений подключен стационарный диспетчерский центр (СДЦ). Связь между СДЦ и СМ осуществляется через телефонные сети общего пользования

(PSTN) или сети передачи данных (PSDN). СДЦ может запросить копию любого сообщения и идентифицировать местоположение любого абонента сети.

При двух ретрансляторах система Euteltracs способна предоставить услуги по перевозке грузов до 45 000 транспортных средств. В настоящее время число потенциальных пользователей Euteltracs уже достигло 10000. В их числе такие крупные транспортные компании, как Westerman в Германии (600 TC), JP Vincent во Франции (125 TC) [10].

### **Методы формирования и обработки сигналов**

Системы Omnitracс и Euteltracs работают в Ku диапазоне частот (12/14 ГГц), выделенном на первичной основе для фиксированной спутниковой службы. В каждой из систем используются два ретранслятора, размещенные на одном КА. Один из ретрансляторов передает поток данных со скоростью 5-15 кбит/с от центральной станции ко всем подвижным терминалам, а другой - используется в качестве обратного канала.

Мобильный терминал обеспечивает ЭИИМ порядка 19 дБВт. Этот уровень мощности достаточен, чтобы передавать данные по обратному каналу с предельно низкой скоростью от 55 до 165 бит/с. В зависимости от допустимого энергетического запаса в линии связи скорость передачи для каждого отдельного терминала может динамически регулироваться. Ширина диаграммы направленности антенны мобильного терминала составляет приблизительно 6° вдоль орбитальной дуги. В результате существует опасность создания помех для соседних спутников на геостационарной орбите. Чтобы исключить эту ситуацию, предусматривается ряд мер, направленных на повышение помехозащищенности:

- широкополосная передача сигналов в полосе 1 МГц;
- псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ) в полосе частот от 5 до 48 МГц.

Передача данных в обратном канале осуществляется со скоростью 55,1 бит/с при скорости сверточного кодирования 1/3. Скорость передачи данных в линии связи равна 165,4 бит/с. В системах использован 32-позиционный частотный манипулятор (ЧМн), работающий со скоростью 33,1 бит/с. При 50% цикле передачи период повторения символов равен 15,1 мс.

Полоса частот сигнала 1 МГц скачкообразно перестраивается в суммарной полосе 48 МГц, однако возможно использование и более узкой полосы частот. Чтобы обеспечить адекватный запас в зоне с плохим отношением сигнал/шум, скорость может понижаться с 165,4 бит/с до 25,5 бит/с, за счет 3-кратного повторения информационных символов.

Передача данных в прямом канале осуществляется со скоростью от 4960 бит/с (BPSK, скорость сверточного кодирования 1/2, код Goleу) до 14880 бит/с (QPSK, скорость сверточного кодирования 3/4). Метод многостанционного доступа в прямом канале (центральная станция - подвижный объект) - TDMA. Пропускная способность - 25 каналов.

В результате всех этих мер обеспечивается возможность размещения на обслуживаемой территории большого числа абонентов без создания помех для служб ФСС. Так, система с двустольным ретранслятором способна обслужить от 50 до 100 тыс. абонентов в зависимости от средней длительности передаваемых сообщений. Нарращивание пропускной способности системы может быть осуществлено путем добавления спутниковых ретрансляторов.

### **Принципы организации связи**

Связь в системах Euteltracs и Omnitracс организуется следующим образом. Терминал находится в режиме дежурного приема до тех пор, пока не произойдет захват сигналов со спутника. В этот момент антенна должна быть наведена на спутник, что гарантирует достоверный прием сообщений.

После вхождения в связь терминал начинает передачу сообщения в полудуплексном режиме, т.е. передача осуществляется примерно в 50% времени. В результате обеспечивается непрерывное слежение за принимаемым сигналом в линии "абонент - спутник". Если в какой-либо момент времени произойдет пропадание принимаемого сигнала, то терминал прекращает передачу, чтобы не создавать помех.

За время одного сеанса может быть передано несколько сообщений. Во время регистрации абонентов извещают о том, что до окончания момента регистрации передача данных откладывается и, если передача все же состоялась, то эти сообщения могут быть возвращены обратно.

Безопасность системы требует, чтобы сообщения были переданы только после того, как произошла их регистрация. Регистрационное сообщение включает в себя учетный номер абонента и пароль. В центре управления производится сравнение принятых регистрационных

данных абонента с теми, которые хранятся в абонентском файле. После трех неудачных попыток вхождения в сеть линия автоматически разъединяется.

Неудачные попытки вхождения в сеть регистрируются и их статистика выводится на монитор. Только после установления подлинности абоненту предоставляется возможность принимать сообщения.

Когда абонент передает сообщения в центр управления, то последний подтверждает, что сообщение получено и ставит его в очередь на передачу. После того как сообщение передано через КА и успешно принято абонентом, посылается квитанция о том, что сообщение получено. Подтверждение сообщений, адресованных группе абонентов, не требуется.

В системах обеспечивается передача индивидуальных, групповых и системных сообщений (аварийных или экстренных). С целью повышения оперативности обмена данными водители и диспетчеры в качестве сообщений используют макросообщения, хранящиеся в ЗУ. Каждый индивидуальный абонент может иметь набор собственных макросообщений. Абонентская группа может иметь один набор макросообщений. Всего в системе используется 63 макросообщения в линии "вниз" и 63 сообщения в линии "вверх".

### **Мобильные терминалы**

В качестве оконечной аппаратуры используются мобильные и стационарные терминалы. Сообщения адресуются к индивидуальному терминалу или группе терминалов по одному и тому же каналу. В мобильном терминале применяется антенна с вертикальной поляризацией на прием и на передачу. Это обусловлено тем, что в системе используются два ретранслятора: один с горизонтальной, а другой - с вертикальной поляризацией.

В состав терминала Omnitracс входят 3 блока: наружный, связной и дисплейный. Терминал имеет дружелюбный к пользователю интерфейс и обеспечивает хранение в ЗУ большого числа сообщений. Длина стандартного сообщения - 1900 символов. Предусмотрена возможность хранения в памяти до 63 заранее подготовленных коротких сообщений.

Терминал выполнен с микропроцессорным управлением и обеспечивает все функции обработки сигналов, вхождения в связь и демодуляции. Антенна терминала Omnitracс имеет асимметричную диаграмму направленности, которая оптимизирована для работы в пределах континентальной части США. Сигнал излучается остронаправленной антенной с коэффициентом усиления 19 дБи. Ширина ДН по уровню 3 дБ составляет приблизительно 40° в угломестной плоскости и 6° в азимутальной плоскости. Управление ДН производится только по азимуту. Уровень боковых лепестков антенны не превышает -12 дБ относительно коэффициента усиления по оси диаграммы направленности. Линейный тракт приемника содержит малошумящий усилитель (МШУ) и преобразователь частоты. Выходная мощность передатчика - 1 Вт.

Связной блок системы Omnitracс содержит радиочастотный тракт, устройство обработки сигналов и приемник сигналов системы LORAN-C. Напряжение питания - 12 В, потребляемая мощность 35 Вт. Блок может быть размещен в любом месте салона автомобиля и не требует доступа.

Дисплей состоит из 4-строчного 40-символьного индикатора с клавиатурным полем типа ABCD или QWERTY. В дисплейном блоке предусмотрено несколько перепрограммируемых функциональных клавиш. Блок обеспечивает индикацию времени ожидания сообщения, синхронизацию с КА и индикацию выходной мощности. В нем предусмотрен режим проверки работоспособности и поиска неисправностей на месте эксплуатации изделия.

### **Рынки услуг Omnitracс и Euteltracс**

В настоящее время услугами Omnitracс пользуется несколько компаний в Бразилии, Северной Америке и Японии с общим числом пользователей свыше 60 тыс. В перспективе ожидается их рост до 80 тыс. Внедрение услуг Omnitracс в Мексике осуществляется через спутник Solidaridad.

Система Euteltracс обеспечивает обслуживание пользователей более, чем в 15 европейских странах, в том числе и России.

Фирма Qualcomm производит терминалы пользователей и программное обеспечение для них. Стоимость терминалов составляет 4 - 6 тыс. долл., а абонентская плата 50 долл./месяц.

## **6.3. СИСТЕМА PRODAT**

Система Prodat, разработанная под эгидой ЕКА, обеспечивает двусторонний обмен сообщениями между терминалами, предоставляя следующие виды услуг:

- связь между мобильными терминалами;
- связь между мобильным и стационарными абонентами, подключенными к системе через сети общего пользования;
- циркулярную передачу сообщений для групп мобильных абонентов.

Мобильный терминал выполнен с встроенным GPS приемником, однако предусмотрен интерфейс, обеспечивающий его сопряжение с другими навигационными системами, такими как "Глонасс" и Loran-C.

Данные о местоположении могут передаваться как в автоматическом режиме (с заданной периодичностью), так и по запросу (режим запрос/ответ).

### Требования к терминалам

Как показали экспериментальные исследования, проведенные ЕКА, требования к наземным подвижным терминалам и терминалам морского и воздушного базирования существенно образом отличаются друг от друга [8].

В случае мобильных средств морского и воздушного базирования определяющим фактором, ухудшающим условия приема сигналов, является сильная многолучевость. В то же время для наземных средств более сильными помехами, которые приводят к перерывам связи со спутником, являются искажения, обусловленные глубокими замираниями вследствие затухания радиоволн в рельефе местности или при движении в тоннелях.

Поэтому ЕКА приняло решение не проектировать единую систему передачи данных для всех трех областей применения: на море, в воздухе и на суше. В результате родилась идея создания системы Prodat, которая спроектирована именно для наземного применения. Протокол передачи данных в ней оптимизирован для типичных помех в канале спутниковой связи с сухопутными ЗС [12].

### Структура и состав системы

Система Prodat имеет достаточно простую архитектуру. Ее сердцем является центр управления, который, с одной стороны, связан со спутником в С - диапазоне частот, а с другой - с различными наземными сетями (телефонными, телексными и др.). Структурная схема системы Prodat представлена на рис.6.3.

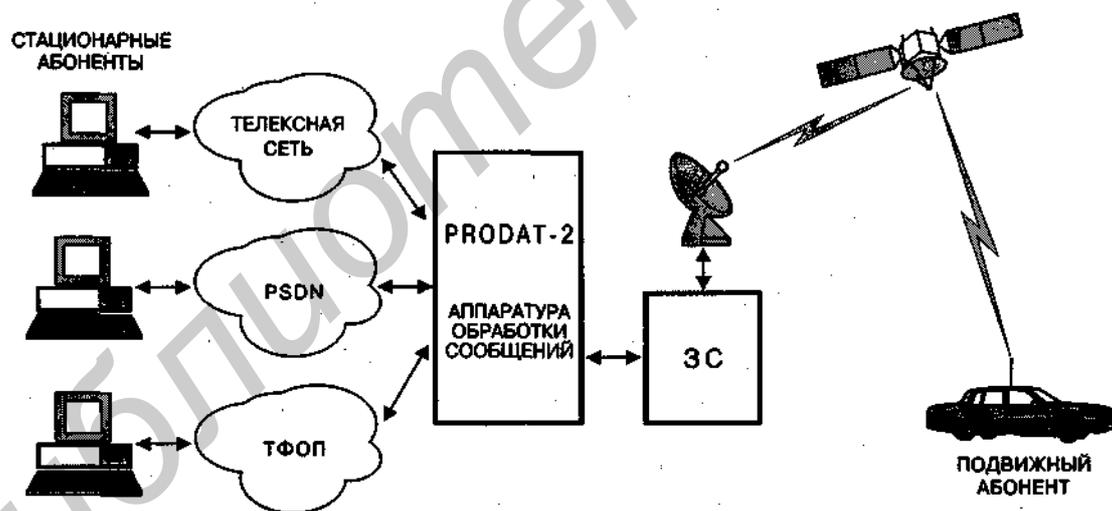


Рис.6.3. Структурная схема системы Prodat

На первом этапе связь в системе Prodat организуется через спутники MARECS-B2 и ITALSAT-2. Зона обслуживания ITALSAT-2 охватывают всю Европейскую часть территории до Урала. В дальнейшем планируется предоставление услуг с использованием КА ARTEMIS.

Использование системы Prodat открывает абонентам доступ к общеевропейской системе услуг в сфере телекоммуникаций. Она может быть легко интегрирована с существующими наземными системами связи. Многочисленные преимущества этих услуг включают оказание помощи водителю, составление оптимального расписания движения и сокращение пробега транспортных средств.

Система Prodat обеспечивает работу в двух диапазонах частот. Связь с мобильными терминалами в системе Prodat организуется в L диапазоне: 1631,5 - 1660,5 МГц (линия "Земля - спутник") и 1530 - 1559 МГц (линии "спутник - Земля"). Для связи с центральной станцией используется С диапазон.

В прямом канале (от ЦС к мобильному терминалу) информация передается по 32 каналам. Скорость передачи информации в каждом из каналов равна 1500 бит/с. Вид модуляции - BPSK.

В обратном канале (от мобильного терминала к ЦС) информация передается с кодовым разделением каналов и использованием широкополосных сигналов (метод SS-CDMA). Вид модуляции - OQPSK. Коэффициент сглаживания равен 0,4 от длительности передаваемой посылки.

Скорость передачи данных - 600 бит. Длина передаваемого сообщения - 384 бита, разделенные на 8 блоков по 48 бит в каждом. В системе используются короткие блочные коды Рида-Соломона. В перспективе разработчики системы Prodat планируют организовать передачу речи со скоростью 9,6 кбит/с.

### **Терминал Prodat**

Базовая конфигурация мобильного терминала Prodat состоит из 3-х основных блоков: внешнего радиочастотного блока (ODU) с антенной, внутреннего (связного) блока (IDU) и оконечного устройства пользователя.

Терминал содержит малогабаритную всенаправленную антенну с круговой правосторонней поляризацией. Масса антенны - 180 г, высота - 130 мм, диаметр - 105 мм. Антенна может быть установлена на крыше автомобиля, мачте корабля или кабине водителя.

Блок ODU включает в себя радиочастотную часть и может размещаться как внутри, так и снаружи транспортного средства. Он соединяется с антенной 1,5 - метровым кабелем. Масса блока ODU - 4,3 кг, размеры 250x110x113 мм. Рабочий диапазон температур от - 20° С до +60° С.

Терминал Prodat имеет ЭИИМ - 13 дБВт, добротность (G/T) - минус 24 дБ/К.

Блок IDU, располагаемый в помещении пользователя, состоит из микропроцессора и аппаратуры передачи данных. Он соединяется с внешним электронным блоком кабелем длиной 5 м. Масса блока IDU - 4,5 кг, размеры 335x170 x85 мм. Рабочий диапазон температур от 0° С до +50° С.

В качестве оконечного устройства пользователя используется специальная 60-клавишная клавиатура с встроенным ЖК - дисплеем (8 строк x 40 знаков) и малогабаритным принтером. Размеры клавиатуры: 220 x 210 x 90 мм, масса - 1,5 кг.

Кроме того, терминал может дополнительно быть оснащен малогабаритной 5-кнопочной клавиатурой, предназначенной для передачи "стандартных сообщений" (коротких сообщений, хранящихся в памяти микро-ЭВМ). Масса клавиатуры не превышает 150 г. Потребление терминала в режиме приема - не более 25 Вт.

Основными областями применения системы Prodat являются следующие:

- повышение эффективности управления автомобилями, в том числе в непредвиденных ситуациях (аварии, поломки), или для снижения холостого пробега за счет своевременного оповещения о попутных грузах;
- контроль состояния железнодорожных вагонов и перевозимого груза;
- автоматическая подача сигнала тревоги в случае аварий и связь со службами безопасности или полицией;
- сбор метеоданных, данных об экологической обстановке, контроль за состоянием трубопроводов или линий электропередач;
- подача сигналов гражданской обороны и развертывания временной сети аварийной связи;
- определение местоположения судна и состояния груза, координация транспортировки грузов, управление рыбацкими флотилиями.

## **6.4. СИСТЕМЫ AMSC И MSAT**

В настоящее время услуги мобильной связи в Северо-Американском регионе обеспечиваются с помощью двух региональных систем, использующих КА на геостационарной орбите: AMSC (США) и MSAT (Канада). Связь с подвижными абонентами обеспечивается в L диапазоне: 16315,1-1660,5 МГц (линия "Земля-спутник"), 1530-1559 МГц (линия "спутник-Земля").

Система AMSC (American Mobile Satellite Corp.) предназначена для обеспечения мобильной радиотелефонной связи и передачи данных на территории США, Пуэрто-Рико, Виргинских островов и 200-мильной зоны вокруг них. Служба Skycell Fleet Management, предоставляющая услуги на коммерческой основе для пользователей, была создана в 1992 г.

Первоначально для связи использовался арендуемый у организации Inmarsat спутник Marisat. Свой собственный спутник AMSC-1 был выведен на орбиту в апреле 1995 г. В настоящее время компания AMSC столкнулась с техническими трудностями на борту AMSC-1, что привело к снижению его пропускной способности.

Система MSAT (Mobile Satellite) ориентирована на организацию мобильной радиотелефонной связи и передачи данных в Канаде и других странах Северной Америки. Работы по созданию системы MSAT были начаты в 1988 г. по инициативе правительства Канады. Разработку проекта системы осуществила компания TMI Communications and Company Limited Partnership (Оттава, Канада). Космический аппарат изготовлен компанией Hughes Aircraft Company (США), а ретрансляционный комплекс - компанией Spar Aerospace Ltd (Канада). Первый КА MSAT 1 был выведен на орбиту в 1995 г.

На базе систем AMSC и MSAT в перспективе планируется создать единую сеть мобильной спутниковой связи, предназначенную для обслуживания Северной Америки.

### Космический сегмент

По своему построению космические аппараты систем AMSC и MSAT во многом аналогичны. Оба аппарата реализованы на базе платформы HS-601, имеют по 6 лучей, формируемых с помощью двух антенн с рефлекторами 6x5 м. Основные характеристики спутников AMSC и MSAT приведены в табл. 6.6. Пропускная способность системы с одним КА составляет порядка 400000 абонентов.

**Таблица 6.6.** Сопоставительные характеристики космических аппаратов AMSC и MSAT

Название системы	AMSC	MSAT
Орбитальная позиция КА	101° з.д.(AMSC-1)	106,5° з.д.(MSAT-1)
Тип платформы	HS-601 (bent-pipe)	HS-601 (bent-pipe)
Масса КА на орбите, кг	1500	1150
Мощность СЭП	3600	3300
Срок активного существования КА, лет	12	12
Количество лучей	6	6
Диапазоны частот абонентской линии: линия "Земля-спутник", МГц линии "спутник-Земля", МГц	1631,5-1660,5 1530-1559	1631,5-1660,5 1530-1559
Диапазоны частот фидерной линии: линия "Земля-спутник", ГГц линии "спутник-Земля", ГГц	13,0-13,5 10,75-10,95	13,025-13,245 10,73-10,89
ЭИИМ, дБВт: L диапазон K <sub>u</sub> диапазон	56,6 36	57,5-65,0 (лучи 1-4), 47,1 (5,6) 42,2
G/T, дБ/К L диапазон K <sub>u</sub> диапазон	-1...-2,3	-4 2,3
Плотность потока мощности в режиме насыщения, дБВт/м <sup>2</sup> (L диапазон)	-150 (в полосе 4 кГц)	

### Абонентские терминалы

В наземной сети MSAT используется те же земные станции, что и в системе AMSC. Первоначально, по контракту с фирмой Hughes, AMSC закупила 2000 комплектов терминалов типа Skellcell. В последнее время началось оснащение пользователей модифицированными терминалами Inmarsat-C с встроенным GPS приемником (модель Trimble Galaxy).

Радиотелефонные терминалы AMSC/MSAT обеспечивают работу со скоростью 2,4 кбит/с (модуляция QPSK) или 4,8 кбит/с (8PSK). Добротность абонентских станций подвижной связи - минус 22 дБ/К. Данные по стоимости терминалов различного назначения приведены в табл. 6.7.

**Таблица 6.7.** Стоимость абонентских терминалов, используемых в системах AMSC и MSAT

Тип терминала	Название терминала	Стоимость, тыс. долл.
Портативный	Omniquest	4,5
Судовой	Wavetalk	5,0
Мобильный	Fleettalk	5,5
Стационарный удаленный	Remotetalk	4,5
Самолетный	Calquest	250,0
Для грузовых перевозок	Trimble Galaxy	5,0

Терминалы Trimble Galaxy предназначены для установки на грузовые автомобили и железнодорожные вагоны. Абонентская плата в системе AMSC составляет 65 долл./месяц при условии передачи сообщений объемом не более 25 000 символов в месяц.

## 6.5. СИСТЕМЫ OPTUS И ACeS

Азиатско-тихоокеанский регион (АТР) является одним из самых динамичных по темпам развития персональной связи. Как показывает прогноз, в этом регионе наиболее высокие темпы роста числа абонентов, обслуживаемых наземными сетями персональной связи [43]. При этом обращает на себя внимание огромный дисбаланс, существующий между различными странами, по степени внедрения средств персональной связи: пять вместе взятых стран (Австралия, Китай, Япония, Корея и Тайвань) владеют более 75% емкости сотовой связи. Можно предположить, что аналогичная ситуация возникнет на рынке персональных ССС.

В настоящее время спутниковую связь в Австралии и прилегающих океанических странах осуществляет система Optus, организуя ее через КА на геостационарной орбите Optus-B1 и Optus-B3. Система Optus предназначена для обеспечения коммерческой телефонной связи с подвижными объектами (служба Mobilesat), передачи ТВ и радиопрограмм стандарта В-МАС, связи с самолетами гражданской авиации (служба УВД Австралии), а также организации связи в Юго-Западных районах Тихого океана, включая Новую Зеландию.

Одновременно в регионе планируется развертывание системы спутниковой связи ACeS (Asia Cellular Satellite System), которая предназначена для обеспечения персональной радиотелефонной связи в Индонезии, Индии, Китае и других южных районах Азии.

Разработку системы ACeS осуществляет консорциум азиатских стран, в который входят: PT Asia Cellular Satellite (Джакарта, Индонезия), Philippine Long Distance Telephone Co (Филиппины), Jasmine International PLC (Таиланд) и др.

### Космический сегмент

Существующая орбитальная группировка системы Optus состоит из двух КА, выведенных на ГСО в точки стояния 160° в.д. (Optus-B1) и 156° в.д. (Optus-B3). В системе используется прозрачный ретранслятор, созданный на основе базовой платформы типа HS-601 (Hughes, США). Масса КА на орбите - 1650 кг, мощность СЭП - около 3000 Вт. Срок активного существования - 13 лет. Стоимость КА серии Optus-B - 90 млн. долл.

Связь с подвижными абонентами осуществляется в L диапазоне частот: 1646,5-1660,5 МГц (линия "Земля-спутник") и 1545-1559 МГц (линия "спутник-Земля"). Основные характеристики космических аппаратов Optus и ACeS приведены в табл. 6.8.

Фидерная линия в системе Optus организуется в Ku диапазоне частот: 14,0-14,5 ГГц (линия "Земля-спутник") и 12,25-12,75 ГГц (линия "спутник-Земля"). Ретранслятор Optus имеет 20 стволов, из которых 5 - резервные. Выходная мощность бортового передатчика не превышает 50 Вт. На борту установлена многолучевая антенна Ku диапазона, которая формирует 3 приемных и 7 передающих лучей. Плотность потока мощности на поверхности Земли изменяется в пределах от -98 дБВт/м<sup>2</sup> до -71 дБВт/м<sup>2</sup> (в режиме насыщения).

Персональная связь в системе Optus обеспечивается с помощью малогабаритных терминалов (выходная мощность - 3 Вт, добротность - -18 дБ/К). Общая емкость сети Mobilesat составляет около 1000 каналов по 6,6 кбит/с (речь - 4,2 кбит/с).

В состав орбитальной группировки системы ACeS войдут 4 геостационарных КА: Garuda-1...Garuda-4 с точками стояния 80,5°, 118°, 123° и 135° в.д. Максимальная масса по-

лезной нагрузки - 450 кг. В отличие от КА Optus-B спутники нового поколения ACeS выполнены с цифровой обработкой сигналов на борту и межлучевой коммутацией. Пропускная способность ретранслятора гибко перераспределяется в зависимости от реальной загрузки в регионе. Количество эквивалентных каналов на КА - 11000. Общая стоимость проекта системы ACeS (включая разработку двух КА) - 900 млн. долл.

**Таблица 6.8.** Основные характеристики космических аппаратов Optus и ACeS

Название системы	Optus	ACeS
Название КА	Optus-B1, Optus-B3	Garuda-1, Garuda-2
Тип платформы	HS-601, прозрачный (bent-pipe)	A2100, регенеративный, процессор DSP
Масса КА, кг	3100	4400
Мощность СЭП, Вт	3000	4000
Срок активного существования КА, лет	13	12
Количество лучей	3 (приемные), 7 (передающие)	140
ЭИИМ, дБВт: L диапазон Ku диапазон	55 47-52 (узкие) 42-45 (широкие)	73
G/T, дБ/К (L диапазон)		15
Плотность потока мощности дБВт/м <sup>2</sup> (в режиме насыщения)	от -98 до -71	н/д

На первом этапе развертывания системы ACeS число абонентов ее наземного сегмента составит примерно 300 тыс. (100 тыс. - Индонезия, по 50 тыс. - Таиланд и Филиппины, 100 тыс. - другие страны региона), предполагается удвоение числа абонентов сети к 2000 году.

Наряду с рассмотренными системами в Азиатско-тихоокеанском регионе планируется ввести в эксплуатацию еще две крупные системы персональной спутниковой связи: ASC (Afro-Asian Satellite Communications) и AMPT (Asia Pacific Mobile Telecommunications Satellite). Разработка ASC проводится по инициативе Индии, а AMPT создается шестью крупными компаниями из Сингапура и Китая.

## 6.6. СИСТЕМА "МАРАФОН"

ПСС "Марафон" (Россия) разрабатывается АО "Информкосмос" в рамках программы "Марафон". Стратегическим партнером АО "Информкосмос" является фирма Nuova Telespazio (Италия).

В настоящее время связь с подвижными объектами в РФ обеспечивается с использованием орбитальной группировки "Горизонт". На базе стволов L диапазона КА "Горизонт" организованы сети связи "Волна" и "Море". Система "Волна" имеет пропускную способность 10 - 15 эквивалентных телефонных каналов. Количество судовых станций типа "Волна" не превышает 1000. Кроме того, данная система является специализированной и ориентируется исключительно на морскую спутниковую связь и предоставляет услуги только для определенных категорий пользователей.

### Назначение системы

Система "Марафон" предназначена для предоставления услуг радиотелефонной связи и передачи данных абонентам, имеющих в своем личном пользовании терминалы. Пользователи системы "Марафон" могут быть расположены как на территории России, так и за ее пределами. Основными задачами системы "Марафон" являются:

- создание ведомственных и корпоративных сетей связи с удаленными и подвижными объектами (судами, самолетами, автомобилями и т.д.);
- обеспечение связью органов государственного управления и предоставление услуг населению;

- создание сети связи с перевозимыми станциями, используемыми в чрезвычайных ситуациях или в труднодоступных районах.

Система работает в диапазоне частот: 6/1,5 ГГц (линия ЦС-АС) и 1,6/4 ГГц (линия АС-ЦС). Связь между ЦС и зональными станциями осуществляется в диапазоне частот 6/4 ГГц. По своему назначению система "Марафон" аналогична международной системе Inmarsat.

#### Космический сегмент

Орбитальная группировка системы "Марафон" будет состоять из 5 КА "Аркос" на ГСО и 3-4 КА "Маяк" на ВЭО, а также средств контроля и управления спутниками. Для КА "Аркос" планируются следующие точки стояния на ГСО: 160°, 13,5° з.д. и 40°, 90°, 145,5° в.д.

Выход на орбиту КА "Аркос" и КА "Маяк" будут осуществлен с помощью ракеты-носителя "Протон". Основные характеристики космического сегмента системы "Марафон" приведены в табл. 6.9.

**Таблица 6.9.** Основные характеристики космического сегмента системы "Марафон"

Наименование	"Аркос"	"Маяк"
Тип орбиты	ГСО	ВЭО типа "Молния"
Количество КА	5	3-4
Масса КА, кг	2500	2700
Мощность СЭП, Вт	2400	н/д
Количество стволов, шт	2	1
ЭИИМ, дБВт	35	41
L диапазон		
С диапазон	43	33
G/T, дБ/К	-11	-1
L диапазон		
С диапазон	-5	-3
Пропускная способность телефонных каналов	250 - 300	100

#### Земной сегмент

Система "Марафон" создается в основном для сетей, имеющих радиальную или радиально-узловую структуру, с большими центральной и базовыми станциями, обеспечивающими работу с подвижными ЗС. Потоки абонентских ЗС в этих сетях невелики, поэтому в них используются преимущественно одноканальные линии с предоставлением каналов по требованию.

Земной сегмент системы "Марафон" будет создан на базе:

- комплекса земных стационарных средств связи (центральные, базовые и координирующие станции);
- средств управления (центр управления и эксплуатации, центр кассовых расчетов, расположенные на центральных и базовых станциях);
- абонентских станций Стандартов А, В, С, М для морских и сухопутных пользователей;
- станций Стандарта-АЭРО для воздушных судов;
- парк абонентских терминалов PRODAT, EMSS и др.

Система "Марафон" обеспечит обслуживание до 20000 абонентских станций.

Основные характеристики ЗС подсистемы ПСС на базе КА "Аркос" приведены в табл. 6.10.

**Таблица 6.10.** Основные характеристики ЗС подсистемы ПСС на базе КА "Аркос"

Тип ЗС	Подсистема, служба	Диаметр антенны, м	Типы каналов, пропускная способность
Центральная	Все стандарты	12, параболическая	ТЛФ-12-24, ТЛГ-12-22 ПД-10-20
Базовая	Все стандарты	5, параболическая	ТЛФ-8-16, ТЛГ-12-22 ПД-5-10
Стандарт А	Морская Морская Сухопутная	1,2 0,9 0,9	ТЛФ, 50 бод (телекс), 2,4 кбит/с (ПД, факс)
Стандарт В	Морская	0,9	ТЛФ, 50 бод (телекс), до 9,6 кбит/с (ПД, факс)
Стандарт М	Морская Сухопутная	0,4	ТЛФ, 50 бод (телекс), 2,4 кбит/с (ПД, факс)
Стандарт С	Морская Сухопутная	Спиральная ДН - верхняя полусфера	Передача коротких сообщений 300 или 600 бит/с
Стандарт-АЭРО Класс - 1 Класс - 2	Авиационная Авиационная	Спиральная ДН - верхняя полусфера	Передача коротких сообщений 600 бит/с, ТЛФ, 9,6 кбит/с (ПД, факс)
Prodat	Сухопутная	Двоичная спираль	ПД - 1 канал (300 бит/с на передачу, 750 бит/с на прием)
EMSS	Сухопутная	Плоская	1 канал (ТЛФ, факс, ПД)

## **7. СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НА НИЗКИХ ОРБИТАХ**

В середине 90-х годов появилось много публикаций о проектах глобальных и региональных низкоорбитальных систем передачи данных [1-3]. Однако отсутствие устойчивого финансирования, жесткая конкуренция и ряд других неизвестных нам факторов не позволили продолжить работы по многим проектам. Среди зарубежных можно назвать такие нереализованные проекты, как TAOS (Франция), Temicon (Италия).

В России ряд предприятий, специализирующихся в области ракетно-космической и связанной техники, столкнувшись с резким сокращением государственных заказов, на основании имеющихся у них технологических и конструктивных заделов, предложили ряд проектов систем передачи данных через низкоорбитальные КА: "Курьер", "СПС-Спутник" и др. Дальнейшая судьба этих проектов также неизвестна.

В данном разделе рассматриваются низкоорбитальные системы, создаваемые на базе легких спутников (до 250 кг), работающие в диапазоне частот до 1 ГГц и ориентированные преимущественно на низкоскоростную передачу данных: "Гонец", Orbcomm, Starsys, Vitasat, Faisat, "Эликон-СТИП-М", а также ряд проектов систем передачи данных второго поколения (Leo One, GE-LEO, E-Sat, Gemnet). Рассматриваемые низкоорбитальные системы относятся к классу персональных и используют для передачи данных малогабаритные портативные терминалы.

Отличительными особенностями систем такого класса являются:

- пакетный режим передачи данных (короткие сообщения типа пейджинговых) с предоставлением каналов по требованию или групповой опрос;
- использование легких и портативных терминалов с ненаправленными антеннами;
- групповой вывод малых КА на орбиту;
- обеспечение стоимости услуг существенно более низкой по сравнению с другими классами систем персональной спутниковой связи.

### **7.1 .СИСТЕМА "ГОНЕЦ"**

Работы по созданию отечественной системы "Гонец" начались с 1991 г. Разработчиками системы являются российские предприятия, традиционно занимающиеся созданием и внедрением космических систем: НПО прикладной механики (Железногорск, Красноярский край) и НИИ точных приборов (Москва). С 1993 г. работы по системе "Гонец" были включены в Федеральную космическую программу России.

#### **7.1.1. СОСТАВ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ**

Система "Гонец" создается как цифровая пакетная сеть, обеспечивающая персональную связь в глобальном масштабе с подвижными или стационарными абонентами. Система ориентирована на создание профессиональных спутниковых сетей передачи данных, персональной связи с удаленными пользователями, отслеживание местоположения подвижных объектов, сбора телеметрической и экологической информации с необслуживаемых датчиков.

Система "Гонец" предназначена для передачи коротких сообщений, данных о местоположении, телексных и факсимильных сообщений, текста и глобального персонального вызова. В перспективе планируется также организовать диспетчерскую радиотелефонную связь, аналогичную той, которая существует в наземных транкинговых сетях.

В состав системы входят: космический и земной сегмент. Земной сегмент состоит из центра управления системой (ЦУС), двух центральных станций (ЦС), региональных станций (РС) и различных модификаций стационарных, персональных, мобильных и необслуживаемых терминалов. Управление системой осуществляется из ЦУС, расположенного в Москве (НИИ точных приборов). В системе предусмотрены две центральные станции, одна из которых совмещена с ЦУС, а другая расположена в Железногорске (НИИ точной механики).

ЦУС обеспечивает периодический контроль состояния бортовых систем КА, планирование и проведение работ по развертыванию и восполнению орбитальной группировки, определяет параметры орбит спутников, производит расчет зон радиовидимости. В число основных функций ЦУС также входит контроль за использованием связанных ресурсов и распределе-

ние частот с учетом структуры орбитальной группировки, внутрисистемной и межсистемной ЭМС.

В системе "Гонец" предполагается разработка региональных станций двух типов:

- станций общего пользования, обеспечивающих региональное обслуживание, коммутацию и маршрутизацию абонентских потоков, а также подключение абонентов системы "Гонец" к сетям общего пользования;
- станций ведомственных или корпоративных сетей, обеспечивающих сбор данных и управление работой выделенных сетей пользователей в отдельных регионах, например, диспетчерские службы управления грузоперевозками.

Архитектура системы "Гонец" предусматривает возможность одновременной работы с большим числом региональных станций. Однако на начальном этапе планируется иметь порядка 6-8 станций, которые будут находиться на территории России.

Региональная станция должна обеспечивать организацию связи в регионе (одновременная работа с 3 КА), расчет маршрута доставки срочных сообщений, сопряжения с сетями общего пользования, ведение списков абонентских терминалов, закрепленных за данной РС и др.

При региональной станции предусмотрена сервисная служба по обслуживанию терминалов региона. Эта служба должна производить установку терминала у пользователя, установку программного обеспечения, определяющего режим работы терминала в системе, установку уровня приоритетности пользователя. Сервисная служба должна осуществлять обслуживание и ремонт терминалов в процессе эксплуатации.

Терминалы системы "Гонец" обеспечивают прямой доступ к спутниковым каналам связи без использования наземных соединительных линий связи. Сеансы связи проводятся в автоматическом режиме без непосредственного участия пользователя. Терминал представляет собой малогабаритный радиомодем, обеспечивающий обмен со спутником, включая автоматическое вхождение в связь, подготовку и ведение сеансов связи, ввод и вывод информации. Он снабжен ненаправленной антенной, обеспечивающей беспоисковую и бесподстроечную связь, что позволяет использовать терминалы и на быстро перемещающихся объектах, включая летательные аппараты.

### **7.1.2. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ В СИСТЕМЕ "ГОНЕЦ"**

Основным элементом связного комплекса системы "Гонец" является базовая сеть обмена данными (БСОД). БСОД предоставляет пользователям сетевые услуги, обеспечивающие надежное транспортирование пакетов через спутниковые узлы. Управление БСОД осуществляет автоматизированная система управления связью (АСУС), территориально размещенная на ЦУС. В состав связного комплекса входят выделенные сети связи (ВСС) и абонентские терминалы отдельных групп пользователей. Структурная схема связного комплекса системы "Гонец" приведена на рис. 7.1.

#### **Базовая сеть обмена данными.**

БСОД строится как пакетная цифровая сеть, обеспечивающая транспортирование пакетов между средствами системы и терминалами пользователей через узлы связи, образуемые связной аппаратурой КА. Все узлы базовой сети выполняют функции распределенного предоставления каналов, маршрутизации, коммутации и промежуточного хранения транспортируемых пакетов данных. На КА эти функции выполняет бортовой вычислительный комплекс (БВК). В состав БСОД также входят магистральные каналы (спутниковые или наземные), арендуемые у других организаций.

Разработка связного комплекса ведется с учетом интеграции сети "Гонец" с другими сетями и службами, существующими в этих сетях. Объединение предполагается проводить с использованием промежуточной буферизации и принципа "вложения" конверта взаимодействующей сети в сетевой протокол "Гонец" без преобразования протокола сетевого уровня. Транспортные протоколы обеспечивают возможность доставки пакетов одного сообщения по разным маршрутам, т.е. через различные КА и РС с последующей сборкой сообщения в терминале получателя. Сетевые услуги, предоставляемые БСОД, обеспечивают надежную, достоверную доставку поступивших в нее пакетов, защиту от несанкционированного доступа.

На первом этапе создания системы "Гонец" предполагается развернуть сеть региональных станций, обеспечивающих полную связность системы только на территории РФ.

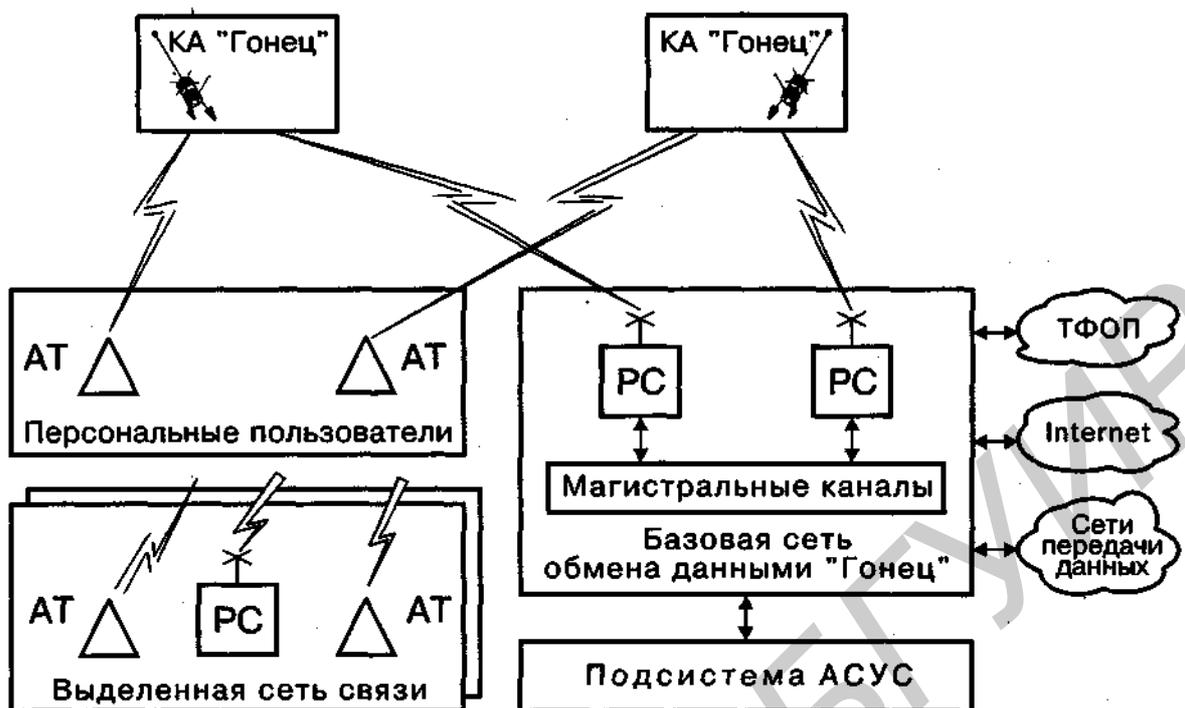


Рис. 7.1. Структурная схема связанного комплекса системы "Гонец"

#### Автоматизированная система управления связью.

АСУС не предназначена для непосредственного обслуживания пользователей. Она выполняет следующие функции: поддержание функционирования базовой сети, частотно-временное планирование, распределение частотных и временных ресурсов, выделяемых пользователям, анализ внутрисистемной и межсистемной ЭМС, отслеживание качества функционирования спутниковых каналов, ведение баз данных, тарификация услуг. Кроме того, подсистема АСУС обеспечивает генерацию ключей защиты от несанкционированного доступа, регистрацию абонентов, ввод их в систему, автоматический учет (биллинг) пользовательского трафика.

#### Выделенные сети связи

Выделенные сети связи, используя ресурсы базовой сети БСОД, образуют замкнутые абонентские группы. В состав таких сетей может входить одна или несколько ведомственных региональных станций, принадлежащих пользователю. При организации ВСС обеспечивается независимое циркулирование информационных потоков и раздельная оплата используемого ресурса.

ВСС могут иметь ведомственный, корпоративный или региональный статус, отличаться своей иерархической структурой, иметь собственные средства криптографической защиты.

Выбранная архитектура связанного комплекса "Гонец" и многоуровневая система протоколов обеспечат подключение отдельных сетей ВСС к базовой сети обмена данными "Гонец" на любом этапе эксплуатации системы. Выделение ресурсов для новых пользователей не потребует изменения принципа функционирования БСОД.

Все предоставляемые услуги обеспечивают конфиденциальность и гарантированную достоверность передаваемой информации. Засекречивание информации может производиться средствами, предусмотренными в системе, либо, по желанию абонента, его собственными средствами, что для ряда потребителей является более привлекательным.

#### Каналы сигнализации

Для организации доступа пользователей в систему "Гонец" используются так называемые каналы сигнализации. Со спутника по каналу сигнализации передаются маркерные сигналы (МС), квитанции, телеметрическая и другая технологическая информация. В МС содержится информация, необходимая для установления связи с КА и синхронизации работы бортовых и наземных средств. Для уменьшения эффекта накопления запросов на КА и ускорения доступа абонентов к каналам связи синхросигналы имеют большую скважность передачи.

Информационная часть МС содержит сведения, в которых указываются ограничения по режимам работы, частотным ресурсам и др.

В каналах сигнализации в линии "Земля - спутник" используется метод доступа типа синхронная Алоха (S-Aloha). Часть каналов выделяется для абонентов с более высоким приоритетом обслуживания. С абонентского терминала по каналам сигнализации передаются запросы на предоставление информационных каналов и другая служебная информация. В состав сигнала запроса входит адресная информация, информация о виде обслуживания, объеме сообщения и др. Кроме того, предусмотрена возможность передачи по каналам сигнализации коротких телеграмм, сообщений о местоположении и состоянии объектов.

### **Режимы информационного обмена**

После включения терминал прослушивает канал "спутник - Земля", ожидая появления КА в зоне гарантированной радиовидимости. После приема МС терминал передает запрос о предоставлении информационного канала. По получении с КА сообщения о выделении канала, терминал уточняет дальность, выставляет временные развертки и передает сообщение.

Передача сообщений по информационным каналам может производиться в нескольких режимах, основными из которых являются: режим высокооперативного предоставления каналов, режим передачи коротких пакетов, режим выделенных каналов (передачи длинных сообщений) и режим группового опроса с квитированием сообщений или без него.

В соответствии с данными режимами происходит функциональное разделение информационных каналов. Для обслуживания каждого режима на борту выделяется определенное число каналов.

**Режим группового опроса.** Терминалы работают в групповом сеансе по жесткой программе, определенной при вводе терминала в эксплуатацию. Для каждого типа группового сеанса задаются номера работающих терминалов, временной интервал их работы, объемы передаваемой информации и выполняемые операции. Все режимы группового обслуживания рассчитаны на завершение сеанса до очередного маркерного сигнала.

Географическое расположение РС, организующих групповые сеансы, должно быть таким, чтобы любой подвижный или стационарный терминал находился в общей зоне радиовидимости, хотя бы с одной региональной станцией. Режим группового опроса обеспечивает повышенную пропускную способность по сравнению с режимом персональной связи.

**Электронная почта.** Связь по принципу "электронной почты" осуществляется преимущественно для удаленных пользователей, т.е. когда отправитель и получатель сообщений не находятся одновременно в зоне радиовидимости КА. Абонент-отправитель передает сообщение на КА, когда последний появляется в зоне радиовидимости. Спутник принимает сообщение и записывает его в ЗУ. Наличие сообщения в ЗУ индицируется спутником в адресном слове, которое передается сразу же после маркерного сигнала. Получатель снимает это сообщение при появлении спутника в зоне его радиовидимости.

### **7.1.3. СИСТЕМА ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ "ГОНЕЦ-Д1"**

Орбитальный комплекс "Гонец-Д1" состоит из 6 КА. Он рассчитан на обслуживание 4-10 тыс. абонентов, передающих короткие сообщения.

Связь осуществляется в диапазоне частот 259-265 МГц. Метод многостанционного доступа в линии "Земля - спутник" - МДВР, в линии "спутник - Земля" - ВРК. Передача данных в системе осуществляется со скоростью 2,7 кбит/с. Каналы различных спутников разделены по частоте. Спутник производит полную обработку информации, что позволяет осуществлять ее хранение в течение всего времени доставки. На КА имеется 128 ЗУ, к каждому из которых обеспечен автономный доступ для записи и чтения информации. ЗУ может быть закреплено за определенным пользователем или группой пользователей. Эта группа может быть образована по ведомственному, корпоративному или региональному признаку.

Информация передается пакетами с объемом примерно 1 кбайт. Протоколы системы обеспечивают восстановление в терминале получателя сообщения из пакетов, переданных по разным маршрутам, в том числе через разные КА и РС. Сообщения имеют приоритеты по срочности доставки и обеспечивают возможность передачи экстренной информации.

Объем сообщения, передаваемого при однократном обращении к спутниковому ретранслятору, не превышает 12 кбайт. Сообщение может содержать данные о местоположении, состоянии объекта или любую буквенно-цифровую информацию. Местоположение подвижного объекта определяется с точностью 100 м с использованием встроенной в терминал платы GPS приемника.

Наличие КА в зоне радиовидимости определяется абонентским терминалом "Гонец-Д1" по маркерному сигналу. Период повторения МС - 1 мин. Маркерные сигналы различных спутников излучаются на одних и тех же частотах, но разнесены во времени.

Каналы доступа к спутниковым каналам разделены по времени. На каждом спутнике в минутном интервале организован 91 канал приоритетного доступа. Часть каналов доступа жестко закрепляется за отдельными абонентами, а незакрепленные каналы предоставляются по требованию для остальных абонентов.

Взаимодействие пользователя с абонентской аппаратурой максимально упрощено и не требует специальной подготовки. Фактически, пользователь только вводит сообщения, предназначенные для передачи, или обрабатывает принятые. Процедуры вхождения в связь и обмена данными полностью автоматизированы.

Электропитание терминала осуществляется от источников постоянного тока 12 В. Однако предусмотрен сетевой адаптер, обеспечивающий питание от сети переменного тока 220/127 В. Основные характеристики терминала "Гонец-Д1" приведены в табл. 7.1.

**Таблица 7.1.** Основные характеристики терминала "Гонец-Д1"

Характеристика	Значение
Выходная мощность	10 Вт
Чувствительность приемника	0,3 мкВ ( $P_{\text{ш}}=10^{-4}$ )
Динамический диапазон	30 дБ
Скорость передачи	2,7 кбит/с
Вид модуляции	ОФТ-2 со сглаживанием фазы
Потребляемый ток: прием передача	200 мА 3,5 А
Масса	700 г
Рабочий диапазон температур	-25 °С - +55 °С

В терминале "Гонец-Д1" могут быть использованы антенны двух типов: антенна с полупрозрачным листом в раскрыве и турникетная антенна.

Турникетная антенна представляет собой два ортогональных полуволновых вибратора, расположенных над отражающим экраном и питаемых в квадратуре, что обеспечивает вращение результирующего вектора поля. Диаграмма направленности оптимизирована под энергетические характеристики спутниковых радиолиний, т.е. увеличено усиление под низкими углами места. Усиление антенны составляет не менее 0 дБ в секторе углов 60° от зенита. Реализуется антенна в виде разворачиваемой "ажурной" конструкции.

Антенна с полупрозрачным листом в раскрыве представляет собой резонатор в виде параллелепипеда малой высоты, одна из широких стенок которого (раскрыв) выполнена из полупрозрачного листа - пластины искусственного диэлектрика, а все остальные грани цельнометаллические. В полости резонатора размещены элементы возбуждения двух ортогональных каналов. Коэффициент усиления антенны - не менее 4 дБ, усиление в рабочем секторе углов обзора 120° - не менее 0 дБ, коэффициент эллиптичности - не хуже 0,5, КСВН - не хуже 2,0.

В режиме GPS используется маловыступающая микрополосковая антенна, конструктивно совмещенная с МШУ. Антенна представляет собой цилиндр диаметром 66,8 мм и высотой 19,3 мм. Антенна выпускается как с магнитным, так и с механическим креплением.

При разработке абонентской аппаратуры выбран модульный принцип построения, благодаря чему в принципе не существует ограничений по созданию большого ассортимента терминалов и учета индивидуальных требований различных категорий пользователей. Все модификации терминалов выполнены на основе базового комплекта аппаратуры, а различаются по конструкции, условиям эксплуатации, вычислительным средствам и программному обеспечению. В системе разработаны три базовые модели терминалов:

- **Стационарный терминал** устанавливается непосредственно у персонального или коллективного пользователя, в том числе на диспетчерском пункте. Он может быть подключен к локальной сети типа Ethernet. Тип антенны - турникетная или плоская. В комплект входит антенный кабель с элементами крепления для установки снаружи помещения.

Электропитание - от сети 220 В, 50 Гц. Терминал может быть укомплектован источником бесперебойного питания (UPS).

- **Мобильный терминал** предназначен для установки на автомобили и другие подвижные объекты. Электропитание осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением 12 В. В качестве устройства ввода/вывода и хранения информации может использоваться персональный компьютер или клавиатура с дисплеем. Терминал работает в обслуживаемом и необслуживаемом режиме. Отдельные модификации терминала включают GPS приемник, что позволяет определить местоположение подвижного абонента с точностью 100м.
- **Необслуживаемый (автономный) терминал** предназначен для установки в неотапливаемые контейнеры, на нефте- и газопроводах, пунктах контроля экологической обстановки. Терминал допускает сопряжение с концентраторами сигналов датчиков и других внешних устройств по интерфейсу RS-232C.

#### 7.1.4. КОСМИЧЕСКИЙ СЕГМЕНТ СИСТЕМЫ "ГОНЕЦ"

Связь в системе "Гонец" будет осуществляться в диапазоне частот 300/400 МГц, который WARC-92 выделил на вторичной основе для низкоорбитальных систем. В отличие от демонстрационной ("Гонец-Д1"), полномасштабная система "Гонец" будет обеспечивать:

- повышение пропускной способности почти в 50 раз;
- дополнительный режим диспетчерской речевой связи с возможностью выхода в другие сети;
- обслуживание абонентов, которые уже вошли в сеть системы "Гонец-Д1", сохраняя в будущем выделенный для этого частотный диапазон.

Корректируемая (регулярная) орбитальная группировка обеспечивает максимальное покрытие обслуживаемых зон, сокращая время ожидания сеансов связи и доставки информации в режиме "электронной почты". Выбор орбитальной группировки системы "Гонец" производился с учетом следующих факторов:

- параметры орбит должны удовлетворять требованию преимущественного обслуживания территории РФ, которая расположена на широтах севернее 45° с.ш.;
- число КА должно быть не менее 45, что необходимо для глобального покрытия всей территории земной поверхности;
- связь должна организовываться в реальном времени, что необходимо для реализации режима диспетчерской речевой связи.

Варианты построения орбитальных структур в значительной степени ограничены средствами вывода КА на орбиту. Были рассмотрены следующие варианты:

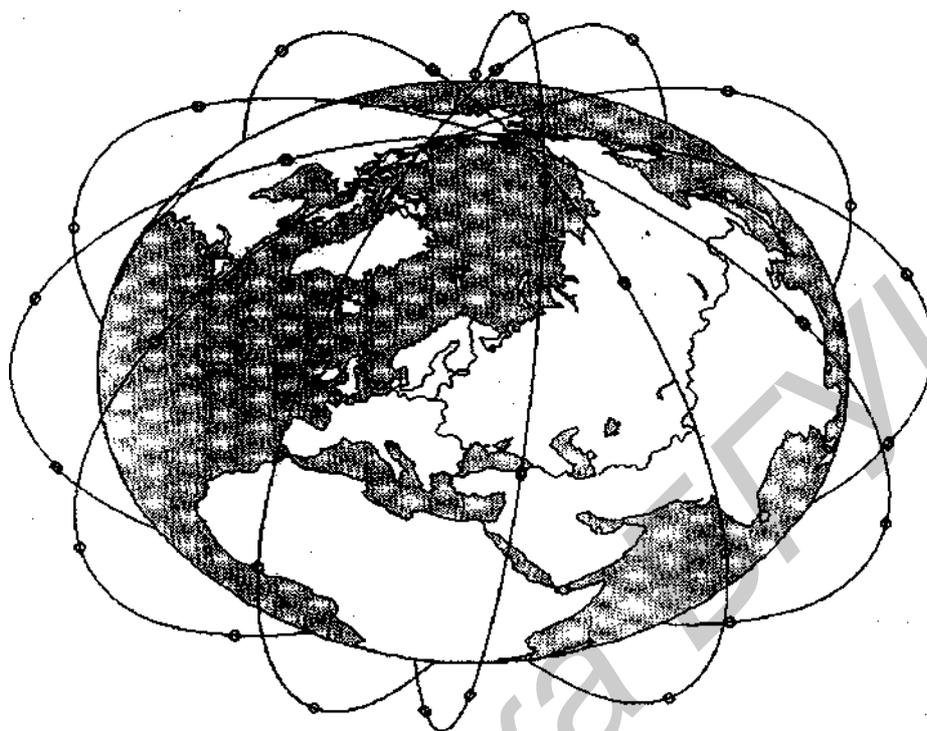
- Орбитальная структура из 45 КА в пяти плоскостях по 9 КА в каждой [1]. Орбитальные плоскости разнесены друг от друга на 36°. Запуск осуществляется с помощью РН "Русь" (9 КА за один запуск);
- Конфигурация из 48 КА (6 орбитальных плоскостей по 8 КА в каждой). Вывод на орбиту - с помощью РН "Рокот".

Из экономических соображений предпочтение было отдано второму варианту. Корректируемая орбитальная группировка из 48 КА обеспечивает возможность непрерывной глобальной связи при углах места 15° и более, практически в любой точке земного шара. Устойчивая работоспособность под данными углами была подтверждена в ходе испытаний системы "Гонец-Д1".

Создание орбитальной группировки предполагается проводить в несколько этапов. На первом этапе будет сформирована орбитальная структура из 3 плоскостей по 4 КА в каждой (система "Гонец-М"). Плоскости орбит будут разнесены равномерно относительно друг друга на интервале 0-180°. Фазирование КА в соседних плоскостях - через 22,5°. Среднее время ожидания на территории РФ составит не более 10 мин.

Виды обслуживания, требующие каналов реального времени (речевая связь) реализуются на первом этапе в пределах региона ( в общей зоне радиовидимости одного КА), а режимы работы, допускающие задержку и буферизацию информации, - в глобальном масштабе. По мере наращивания орбитальной группировки и земного сегмента зоны обслуживания, требующие каналов реального времени, будут расширяться.

Промежуточная орбитальная группировка из 24 КА, запускаемых в 6 орбитальных плоскостях по 4 КА в каждую, обеспечивает характеристики связи, близкие к характеристикам второго варианта - среднее время ожидания на территории РФ будет порядка 0,5 мин. Полная структура орбитальной группировки из 48 КА иллюстрирована на рис.7.2.



**Рис. 7.2.** Структура орбитальной группировки ССС "Гонец" второго этапа (6 x 8)

Время переноса информации в режиме почтового ящика практически не зависит от орбитальной структуры и может достигать 9 ч. Эффективно сокращает время переноса использование одной и более земных станций переретрансляции информации, расположенных в северных широтах, через зоны радиовидимости которых будут проходить все КА на каждом витке.

### **7.1.5. ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

КА "Гонец" предлагается строить на базе новой космической платформы, позволяющей создать низкоорбитальный спутник на уровне лучших зарубежных аналогов. Основные технические характеристики КА "Гонец": погрешность угловой ориентации  $\pm 0,25^\circ$ , точность поддержания КА на орбите не хуже  $0,2^\circ$ , масса КА - не более 250 кг. Разрабатываемый КА будет обеспечивать максимальную выходную мощность СЭП - не менее 500 Вт, при этом мощность, отдаваемая полезной нагрузке, будет порядка 400 Вт. Срок существования спутника возрастет до 7 лет. Общий вид КА в рабочем положении приведен на рис. 7.3.

В системе "Гонец" применяется частотно-временное разделение каналов: метод много-станционного доступа FDMA/TDM - в линии "Земля - спутник" и TDM в линии "спутник - Земля". Режим FDMA обеспечит прием данных одновременно от нескольких низкоскоростных источников информации. Для обеспечения требуемой пропускной способности в радиолинии "Земля - спутник" при обслуживании всех режимов с учетом эффективности протокола доступа типа синхронная Aloha в ретрансляторе необходимо иметь порядка 20 приемных устройств. Функциональное назначение приемных каналов и режимов работы может изменяться в процессе эксплуатации на основе анализа запросов абонентов, либо по командам с ЦУС.

В радиолинии "спутник - Земля" передача осуществляется в формате TDM одним-двумя передатчиками, работающими со скоростью: от 9,6 до 64 кбит/с в диапазоне частот 300/400 МГц и одним передатчиком в диапазоне частот системы "Гонец-Д1". Скорость передачи будет дискретно изменяться от 9,6 кбит/с до 64 кбит/с в зависимости от режима работы

системы. Предусмотрено также регулирование излучаемой мощности бортовых передатчиков дискретно в пределах от 5 до 35 Вт в зависимости от условий связи. Связь организуется с помощью трех антенн, установленных на борту КА: одной приемной и двух передающих.

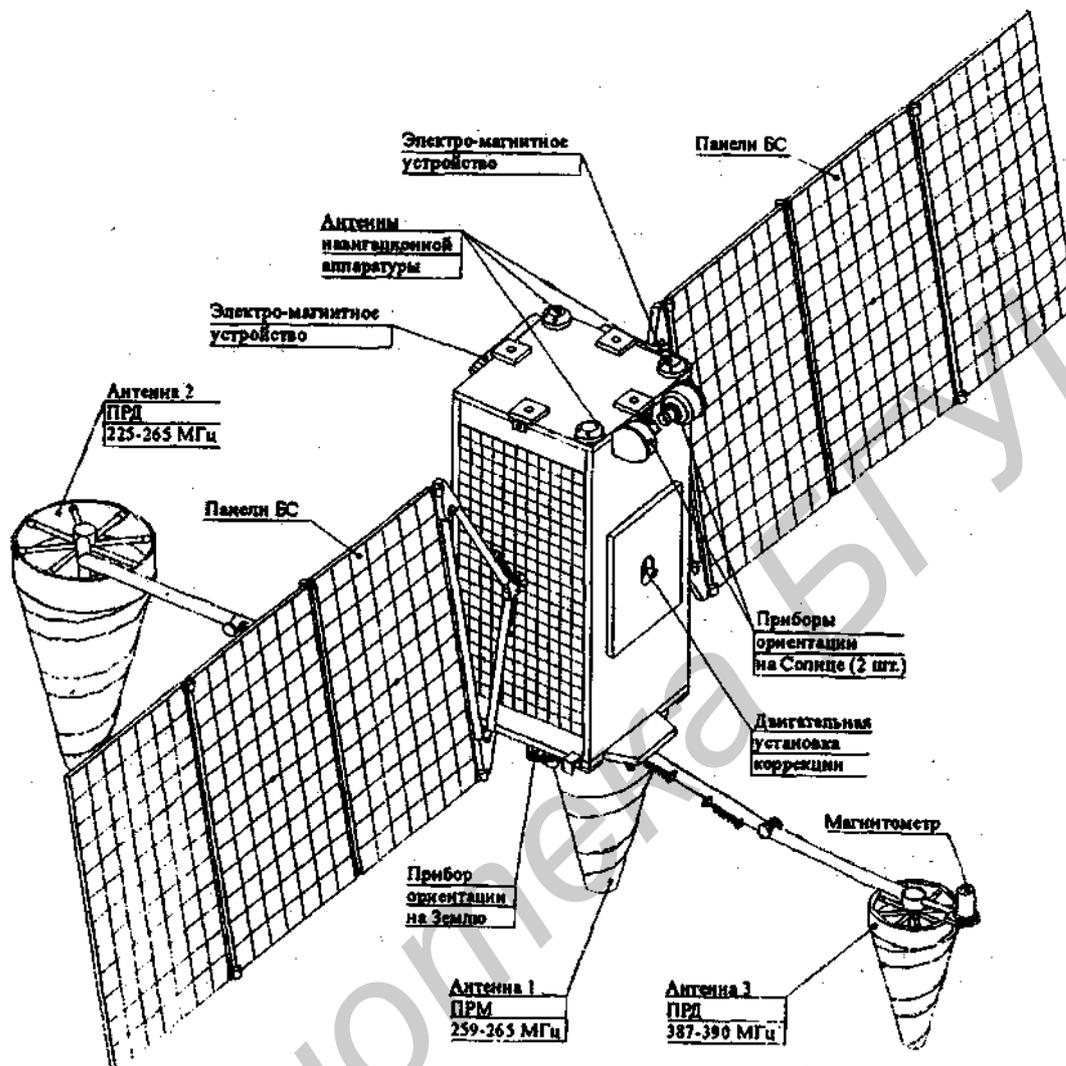


Рис. 7.3. Общий вид КА "Гонец" в рабочем положении

Пропускная способность одного КА при глобальном обслуживании составит 400 Мбит в сутки. Основные характеристики бортового ретранслятора приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3. Основные характеристики бортового ретранслятора

Наименование	"Гонец-Д1"		"Гонец"	
	"вверх"	"вниз"	"вверх"	"вниз"
Направление связи	"вверх"	"вниз"	"вверх"	"вниз"
Диапазон частот, МГц	259-265		387-390	312-315
Число частотных каналов на КА	1	1	до 20	2
Скорость передачи, кбит/с	2,7	2,7	2,4...9,6	9,6...64

Выведение КА на орбиту будет осуществляться РН "Рокот" (групповой запуск по 4 КА) с первоначальным формированием низкой опорной орбиты высотой около 200 км с последую-

щим перелетом на конечную круговую орбиту. Длительность цикла выведения на орбиту около 1,5 ч.

### 7.1.6. РЫНОК УСЛУГ И ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

Основные сегменты рынка услуг системы "Гонец" приведены в табл. 7.4.

**Таблица 7.4.** Сегменты рынка услуг системы "Гонец"

Сегмент рынка	Область применения	Тип сообщений
Связь с подвижными объектами	Двусторонний обмен данных с водителями	Сообщения средней длины
Перевозка грузов	Сбор данных о состоянии объектов (судно, автомобиль, вагон, контейнер и др.) Управление парком транспортных средств и диспетчерская связь	Короткие сообщения о состоянии объекта и перевозимого груза Географические координаты транспортного средства
Коммерческая связь	Пейджинг, электронная почта	Буквенно-цифровой пейджер Электронная почта (сообщения средней длины) Пейджинговые сообщения
Промышленный и экологический мониторинг Контроль состояния нефте- и газопроводов	Сбор данных и контроль состояния удаленных объектов (нефте- и газопроводов и др.) Сбор данных о местоположении подвижных объектов Автоматизированный учет расхода газа и электроэнергии	Короткие однопакетные сообщения Аварийные и экстренные сообщения
Обеспечение безопасности	Взлом охранной сигнализации Потерянный или угнанный транспорт Проведение поисково-спасательных работ	Короткие аварийные сообщения Оповещение о срабатывании охранной сигнализации Данные о местоположении
Глобальный пейджинг	Коммерсанты, путешественники, туристы и др.	Пейджинговые сообщения объемом до 0,15 кбайт
Диспетчерская речевая связь	Производственные и государственные структуры	Передача речевых пакетов (скорость передачи до 4,8 кбит/с)

На концепцию создания системы "Гонец", как впрочем и на все российские проекты, существенно повлияли радикальные экономические преобразования, произошедшие в нашей стране в последние годы и приведшие к резкому снижению объема финансирования. С учетом этого было принято решение о поэтапном создании системы. Вначале реализуется демонстрационный проект "Гонец-Д1", который позволит удовлетворить первоочередные потребности в персональной связи ряда государственных и коммерческих структур. В настоящее время завершены, хотя с задержкой, летные испытания и начинается этап опытной эксплуатации сети. Стоимость терминала "Гонец-Д1" - 1000-1500 долл. Абонентская плата составит от 50 до 300 долл. в месяц в зависимости от объема передаваемого трафика. Плата за трафик не предусматривается.

Развертывание системы "Гонец" 1 этапа планируется осуществить в 2000 г. На орбиту будет выведено 12 КА. Ожидается, что система сможет обслужить до 200 тыс. пользователей. В дальнейшем по мере пополнения орбитальной группировки планируется контингент пользователей увеличить до 1 млн.

Стоимость портативного терминала "Гонец" составит от 700 до 1200 долл. в зависимости от комплектации. При абонентской плате в 30 долл. в месяц, тариф за передачу 1 кбит данных не превысит 0,2 долл. и будет иметь тенденцию к постепенному снижению.

## 7.2. СИСТЕМА ORBCOMM

Владельцем и оператором системы Orbcomm является фирма ORBCOMM Global, L.P., Дуллес (шт. Вирджиния), учредитель - компания Orbital Sciences Corp., известная как разработчик ракет-носителей Pegasus XL и Taurus. В качестве основного инвестора выступает фирма Teleglobe (Канада).

Система Orbcomm предназначена для сбора данных с необслуживаемых объектов, передачи аварийных и экстренных сообщений, определения координат и двустороннего обмена данными (X.400, X.25).

По состоянию на апрель 1998 г. орбитальная группировка Orbcomm состоит из 8 штатных КА, выведенных на орбиту в декабре 1997 г., и двух демонстрационных КА, выведенных на орбиту в 1995 г. и уже практически израсходовавших свой орбитальный ресурс.

### 7.2.1. КОСМИЧЕСКИЙ И НАЗЕМНЫЙ СЕГМЕНТЫ

Космический сегмент системы Orbcomm состоит из 28 КА, запущенных в 5 орбитальных плоскостях. Основное покрытие земной поверхности должны обеспечить три орбитальные плоскости с наклоном  $45^\circ$ , в каждой плоскости будут находиться по 8 КА. Спутники будут выведены на орбиту высотой 825 км и равномерно распределены через  $45^\circ$  в каждой плоскости. Две дополнительные орбитальные плоскости с наклоном  $70^\circ$ , содержащие по 2 КА в каждой плоскости, предназначены для охвата высокоширотных районов. Эти плоскости разнесены между собой по долготе на  $180^\circ$ .

В случае, если развертывание основной группировки будет успешным, то оставшиеся 8 КА (по контракту их должно быть изготовлено 36) планируется также вывести на орбиту. Они должны образовать 6-ую орбитальную плоскость с наклоном  $45^\circ$ .

Орбитальная группировка из 28 КА обеспечит глобальное покрытие земной поверхности, включая высокоширотные районы. Для абонентов, расположенных до  $50^\circ$  северной широты, среднее время ожидания будет 3-4 мин при перерывах в обслуживании не более 20 мин. Для абонентов, расположенных на широте  $55^\circ$ , среднее время ожидания связи возрастет и будет равно 7-8 мин. При этом максимальная продолжительность перерывов в обслуживании увеличится до 96 мин. На более высоких широтах (более  $60^\circ$ ) абоненты смогут работать только с 4 полярными спутниками, а следовательно, ввиду их малого числа, характеристики обслуживания существенно ухудшатся. Так, на широте  $65^\circ$  среднее время ожидания сеанса связи составит 38 мин, а максимальная продолжительность перерывов увеличится до 5 часов.

#### Космический аппарат

КА Orbcomm создается на базе универсальной платформы Microstar, разработанной компанией Orbital Sciences Corp. На КА будут установлены 2 панели с солнечными батареями мощностью 160 Вт (в конце САС). Напряжение бортовой СЭП - 14 В. Питание электронной аппаратуры будет осуществляться от стабилизированного источника 5 В. Средневитковая потребляемая мощность ретранслятора - не более 70 Вт. Масса КА - 43 кг. Спутник рассчитан на эксплуатацию в течение 4 лет. Внешний вид КА Orbcomm приведен на рис.7.4.

На борту КА будут установлены 3 передатчика. Данные с КА на абонентские терминалы передаются по одному из 10 частотных каналов в диапазоне частот 137-138 МГц. Максимальная мощность передатчика абонентской линии равна 40 Вт, хотя для нормального функционирования в штатном режиме достаточно 20 Вт. Выходная мощность может изменяться на 5 дБ за счет дискретной регулировки с шагом через 1 дБ. Передатчик работает при коэффициенте загрузки не более 1/3.

Второй передатчик мощностью 5 Вт предназначен для передачи данных по фидерной линии. Для его работы выделен один частотный канал со скоростью передачи 57,6 кбит/с в формате TDM. Сигнал передатчика может приниматься одновременно несколькими наземными станциями.

Кроме того, на КА установлен специальный высокостабильный передатчик мощностью 1 Вт, работающий на частоте 400,1 МГц. Передатчик выполняет роль спутникового радиомаяка и предназначен для повышения точности оценки доплеровского сдвига на наземных станциях (за счет учета ионосферных поправок).

Прием данных от абонентов осуществляется по 6 каналам, каждый из которых может быть настроен на любую частоту в диапазоне 148,0-150 МГц. Дополнительный 7 канал служит для анализа помеховой обстановки. Прием данных от станций сопряжения осуществляет-

ся на частоте 149,61 МГц, ширина полосы - 50 кГц. Кроме того, на КА установлен GPS приемник. Частотный план в системе Orbscomm приведен в табл. 7.5.

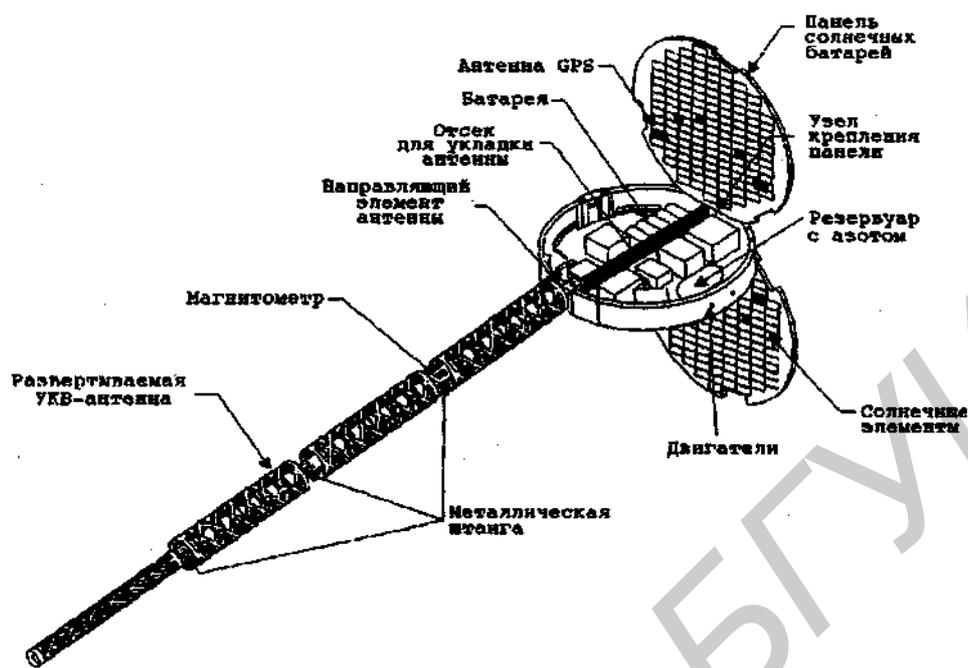


Рис. 7.4. Внешний вид КА Orbscomm

Таблица 7.5. Частотный план системы Orbscomm

Направление связи	Количество каналов	Диапазон частот	Скорость передачи
КА - абонент (линия "спутник-Земля")	1	137-138 МГц	4,8 кбит/с
КА - земная станция (линия "спутник - Земля")	1	137-138 МГц	57,6 кбит/с
Абонент - КА (линия "Земля - спутник")	6 (информационные) 1 (анализ помех)	148-150,05 МГц	2,4 кбит/с
Земная станция - КА (линия "Земля - спутник")	2	148-150,05 МГц	57,6 кбит/с
Спутниковый радиомаяк (линия "спутник - Земля")	1	400,1 МГц	

На КА установлены 3 антенны типа четырехзаходная спираль. Бортовой вычислительный комплекс содержит процессоры, обеспечивающие обработку данных. На КА осуществляется демодуляция пакетов данных и их уплотнение во времени. Потоки данных от станции сопряжения также демодулируются на борту и ретранслируются абонентам.

Анализ уровня помех в каналах приема осуществляется с помощью системы DCAAS (Dynamic Channel Activity Assignment System). Система периодически сканирует весь рабочий диапазон частот с шагом 2,5 кГц, измеряет уровень помех в каждом из каналов и производит выбор свободных от помех каналов. Период сканирования равен 6 с. Предполагается, что с вероятностью 0,95 до следующего момента сканирования данный канал будет свободен от помех.

#### Структура наземного сегмента

В состав наземного сегмента системы Orbscomm входят центр управления сетью NCC (Network Control Center), региональные центры управления GCC (Gateway Control Center), земные станции сопряжения GES (Gateway Earth Station) и терминалы пользователей. Структура системы Orbscomm приведена на рис. 7.5.

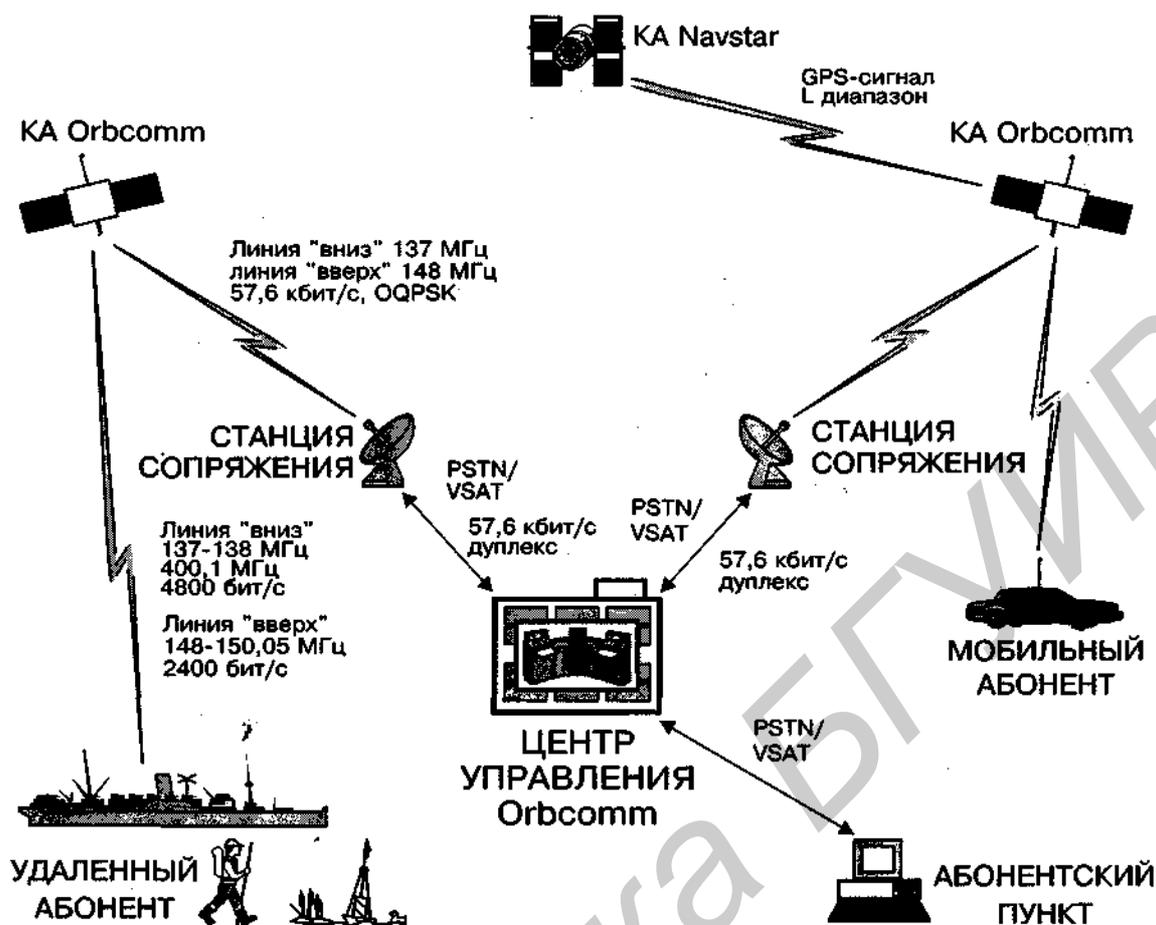


Рис. 7.5. Структура системы Orbcomm

**Центр управления сетью NCC.** Центр NCC предполагается разместить в штаб-квартире Orbcomm (шт. Вирджиния). Он будет обеспечивать управление и контроль работоспособности всех элементов системы. Центр NCC будет совмещен с одним из региональных центров управления GCS. Другие станции сопряжения GES на территории США планируется в штатах Аризона, Вашингтон, Джорджия и Нью-Йорке.

**Региональный центр GCS.** Центр GCS предполагается установить в каждой стране или регионе. В его функции входит обеспечение маршрутизации сообщений (через GCS проходит весь региональный трафик) и взаимодействие с другими сетями связи. Программно-аппаратный комплекс GCS будет обеспечивать обработку входящих и исходящих сообщений, перераспределять сообщения между земными станциями и сетями пакетной коммутации, обеспечивать переформатирование сообщений для стыковки с другими наземными сетями связи. Соединение с наземными абонентами будет производиться как по выделенным линиям, так и по каналам телефонной сети общего пользования.

**Станции сопряжения GES.** Станции GES в системе Orbcomm играют роль промежуточного звена между спутником и региональным центром GCS. Они отслеживают маршрут движения КА, основываясь на информации, получаемой из центра GCS и обеспечивают двусторонний обмен данными с абонентскими терминалами.

Каждая GES располагает 1-2 следящими антеннами с коэффициентом усиления около 17 дБ. Передача данных осуществляется на частоте 149,61 МГц, мощность наземного передатчика до 200 Вт. Скорость передачи данных 56,7 кбит/с (OQPSK), ширина полосы частот 50 кГц.

#### Организация связи

В линии "Земля - спутник" используется многостанционный доступ с частотным разделением каналов. Скорость передачи в линии "Земля - спутник" 2,4 кбит/с. Тип модуляции - SDPSK (smoothed differential phase shift keying).

В линии "спутник - Земля" используется комбинация временного и частотного разделения каналов. КА излучает одновременно на одной или двух частотах в указанном выше диапазоне частот. Скорость передачи данных в линии "спутник - Земля" - 4,8 кбит/с. Вид модуляции - SDPSK.

Для связи КА с региональной станцией сопряжения используются каналы со скоростью передачи 57,6 кбит/с в обоих направлениях. Тип модуляции - квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом (OQPSK).

### 7.2.2. ФОРМАТЫ СООБЩЕНИЙ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ

Соединение в системе Orbcomm может быть установлено по запросу пользователя или наземной станции GES. Станция может также инициировать опрос датчиков и передать команды на необслуживаемые объекты. Объем стандартных сообщений может составлять от 6 до 250 байт. В сети Orbcomm планируется организовать следующие режимы работы:

- **Режим DataNet.** Режим предназначен для обмена данными с необслуживаемыми терминалами. Сообщения либо хранятся в памяти терминала, либо автоматически считываются с необслуживаемых датчиков в момент нахождения КА в зоне радиовидимости данного терминала. Передача сообщений может быть как с подтверждением приема, так и без него. Терминалы, работающие в этом режиме, могут иметь интерфейс RS-232 для сопряжения с внешним оборудованием.

- **Режим MapNet.** Режим предназначен для сбора данных о местоположении объектов. Для этого в сети организуется режим группового опроса терминалов, находящихся одновременно в зоне обслуживания данного регионального центра управления сетью. Передача коротких сообщений о местоположении подвижного объекта осуществляется по запросу с КА. Прием таких сообщений, как правило, не требует подтверждения.

- **Режим SecureNet.** Режим предназначен для передачи экстренных и аварийных сигналов срабатывания устройств охранной сигнализации и др. Сообщения передаются с терминала, либо автоматически, либо при нажатии на нем специальной кнопки. Короткое экстренное сообщение передается до тех пор, пока не будет получена квитанция, подтверждающая его прием. Существует два вида подтверждений приема: квитанция о приеме сообщения системой Orbcomm и квитанция о доставке сообщения конечному пользователю (адресату).

- **Режим VitaNet.** Универсальный режим, включающий в себя все вышеперечисленные режимы. Терминал в этом режиме обеспечивает возможность двустороннего обмена короткими сообщениями. Для повышения надежности сообщения разбиваются на короткие пакеты. Пакет считается принятым, если получена квитанция, подтверждающая его прием. При недостоверном приеме передача пакета повторяется.

- **Электронная почта.** Этот режим предусмотрен для тех пользователей, зона перемещения которых не ограничивается рамками одного географического региона (морские суда, международные перевозки и т.п.). При нахождении подвижного объекта вне зоны досягаемости земных станций GES связь может быть организована в режиме электронной почты. В этом случае сообщения от удаленных пользователей в виде пакетов средней длины (256 бит) принимаются и запоминаются на КА. Сброс сообщений получателю осуществляется в момент появления КА в его зоне радиовидимости.

Пропускная способность на один КА составляет порядка 50 Мбит в сутки, причем в час наиболее интенсивного трафика (Североамериканский регион) через КА может быть передано несколько десятков тысяч коротких сообщений. При определении пропускной способности учитывалось время ожидания в очереди и потери пропускной способности на передачу служебной информации (заголовки пакетов и др.).

#### Определение местоположения

В системе Orbcomm каждый КА оборудован приемником системы GPS. Основные параметры спутника (координаты, скорость и время) рассчитываются непосредственно на борту КА и затем рассылаются всем пользователям. Терминал производит измерение принимаемой частоты и определяет доплеровский сдвиг. Один отсчет местоположения абонента определяется на основе учета доплеровского сдвига, времени, координат и скорости КА. После набора достаточного количества выборок производится определение географических координат абонента. Ожидается, что для 28-спутниковой орбитальной группировки точность определения координат будет не ниже 1 км (0,62 мили). При оснащении терминала приемником сигналов спутникового радиомаяка диапазона 400,1 МГц точность определения координат может быть увеличена (табл. 7.6).

**Таблица 7.6.** Точность определения координат подвижных абонентов

Рабочая частота	Время наблюдения (число спутников в зоне)			
	7 мин (1)	24 мин (2)	41 мин (3)	58 мин (4)
137 МГц	1100м	775 м	650 м	550м
400 МГц	371м	262м	214м	185м
137 /400 МГц	37м	26м	21 м	19м

Точность определения координат, указанная в табл. 7.6, определена для случая, когда объект не движется. При движении точность определения координат несколько снижается.

### 7.2.3. ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ СЕГМЕНТ

В системе предполагается использовать 2 базовых терминала: стационарный - для сбора данных и мобильный - для обеспечения двусторонней связи. В состав терминалов входит приемопередатчик с сигнальным процессором и источником питания. К терминалу может быть подключено внешнее устройство сопряжения с аналоговыми линиями ввода/вывода данных или внешний дисплей с клавиатурой.

Необслуживаемый стационарный терминал будет иметь встроенный источник питания. Терминал разработан с учетом возможности его использования в сложных условиях эксплуатации (расширенный диапазон рабочих температур, повышенная виброустойчивость и др). Масса терминала - 0,5-1 кг, размеры - не больше книги средних размеров.

Мобильный терминал представляет собой портативный приемопередатчик, оснащенный жидкокристаллическим дисплеем и алфавитно-цифровой клавиатурой. Основные характеристики приемопередающего блока для рассмотренных выше моделей терминалов приведены в табл. 7.7.

**Таблица 7.7.** Основные характеристики приемопередающего блока

Характеристика		Значение
Мощность передатчика		5 Вт
Динамический диапазон		38 дБ
Чувствительность приемника		-118 дБм( $10^{-5}$ )
Тип антенны		штырь (0,5-1 м)
Потребление:	режим "Sleep"	1 мА
	прием	100 мА
	передача	2А
Рабочий диапазон температур		-30 до +60°C
Интерфейс		RS-232C

Основываясь на базовых моделях, фирма Orbcomm запланировала выпуск большего числа модификаций терминалов. Фирма Torrey Science & Technology Corp. заявила о создании двух типов терминалов для работы в системе Orbcomm - Comcore 300В и Trakker 211. Ниже приведены основные сведения о модификациях терминалов.

- **Терминал Comcore 300В.** Терминал Comcore 300В предназначен для информационного обмена, а также сбора данных о состоянии удаленных объектов, в том числе об их местоположении. Устройство представляет собой радиомодем, соединяемый с оконечным оборудованием через последовательный асинхронный порт стандарта RS-232C. Терминал Comcore 300В способен обрабатывать сигналы спутника Orbcomm, производить расчет доплеровских поправок, необходимых для определения местоположения.

Для повышения точности определения местоположения терминал должен быть оснащен двухканальным приемником. В этом случае оценивание доплеровского смещения производится не только в канале "спутник - абонент", но и в канале "спутник - станция сопряжения".

Терминал Comcore 300В может быть также использован в системах автоматизированного сбора данных с необслуживаемых объектов. Для сопряжения с телеметрическими датчиками в терминале используется устройство, имеющее 4 аналоговых ввода (12-разрядное квантование, частота дискретизации - 133 кГц) и 4 цифровых ввода/вывода (уровни ТТЛ). Про-

граммирование операций ввода/вывода и информационный обмен осуществляется через последовательный порт.

- **Терминал Trakker 211.** Терминал Trakker 211 предназначен для работы в сети сбора информации о местоположении подвижных объектов и в сети сбора данных с удаленных объектов. При соответствующем дооснащении возможна работа в режиме двустороннего обмена информацией. Этот терминал располагает встроенной антенной и предназначен для продолжительного автономного использования. Емкости встроенной литиевой батареи, по утверждению фирмы Togy, должно хватить на 10 лет работы. Для функционирования в качестве датчика местоположения в системе Orbcomm не требуется никакого дополнительного оборудования. В целях улучшения точности определения местоположения терминал можно оснастить не только двухканальным приемником сигналов системы Orbcomm, но и приемником системы GPS.

- **Терминал фирмы SAMSUNG.** Одним из производителей абонентской аппаратуры Orbcomm является южнокорейская фирма Samsung, которая уже приступила к выпуску малогабаритных приемопередатчиков с простейшей штыревой антенной, предназначенных для передачи сигналов охранной сигнализации в системах наблюдения за охраняемыми объектами, а также сигналов тревоги в системах предупреждения угонов автомобилей. Стоимость приемопередатчиков фирмы SAMSUNG колеблется от 50 до 350 долл. в зависимости от модификации.

- **Терминал EL-2000.** Израильская фирма Elista в соответствии с требованиями компании Orbcomm разработала терминал EL-2000. Терминал обеспечивает двустороннюю связь и предназначен для установки на легковые и грузовые автомобили, другие подвижные объекты, а также для контроля состояния датчиков, устанавливаемых вдоль нефте- и газопроводов.

Фирмами TST и Panasonic разработаны терминалы системы Orbcomm, предназначенные для установки на речные суда, грузовые автомобили и другие транспортные средства. Это не только автономные устройства для передачи сообщений о местоположении, но и устройства для обмена информацией, подключаемые к PC с помощью последовательного интерфейса RS-232C.

#### **Области применения системы Orbcomm:**

- автоматизированный сбор данных о состоянии и местоположении удаленных объектов;
- электронная почта и определение местоположения пользователей;
- сбор данных с необслуживаемых объектов;
- отслеживание перемещения подвижных объектов.

В настоящее время в США имеется более 100 млн. различного вида счетчиков. Среди них более 10 млн. счетчиков расположены в удаленных районах или районах с неразвитой инфраструктурой связи. Неавтоматизированный съем показаний этих приборов вызывают большие трудности. Для этих целей задействован большой штат обслуживающего персонала и ежегодно расходуются значительные средства.

В США имеется также огромный парк рефрижераторов и железнодорожных вагонов, перевозящих грузы, в том числе скоропортящиеся продукты. Отсутствие средств слежения за перемещением грузов как в пределах страны, так и за ее пределами, приводит к значительному ущербу. Поэтому компании, осуществляющие перевозку грузов, заинтересованы в данном виде услуг.

После введения в эксплуатацию система сможет обслужить порядка 2 млн. пользователей. Общая стоимость проекта системы - 220 млн. долл. Стоимость абонентских терминалов - около 400 долл. Арендную плату за пользование услугами системы составит 30-50 долл. в месяц.

### **7.3. СИСТЕМЫ STARSYS И VITASAT**

Среди класса низкоорбитальных систем передачи данных три системы имеют лицензии FCC США: система Orbcomm была описана выше, в данном разделе рассмотрим два проекта низкоорбитальных систем, обеспечивающие передачу данных - Starsys и Vitasat.

### 7.3.1. СИСТЕМА STARSYS

Разработка системы Starsys осуществляется фирмой GE Starsys (США). Учредителями GE Starsys являются американские энергетические компании GE Americon (80% акций) и GE Capital Services и прежний партнер - североамериканское отделение CLS. В создании системы участвуют Alcatel Espace (разработка КА), Matra Marconi Space и другие стратегические партнеры.

#### Структура и состав системы

Система Starsys предназначена для передачи данных и определения местоположения абонентов. Орбитальная группировка будет состоять из 24 КА (6 плоскостей по 4 КА в каждой). Спутники будут выведены на орбиту высотой 1000 км с наклоном 53°. Предполагаемая масса КА - 80 кг. Время активного существования КА - 5 лет.

Одно из основных отличий системы Starsys от Orbcomm - это использование много-станционного доступа с использованием сигналов с расширенным спектром SSMA. В Starsys не предполагается производить обработку информации на борту ("bent-point" transponder). На спутнике не предусматривается запоминание и хранение информации, связь организуется только в случае нахождения спутника в зоне радиовидимости двух абонентских станций.

Основным видом информации, передаваемым в Starsys, являются короткие 32-символьные сообщения (256 бит). Заголовок пакета - 5 байт. Максимальная продолжительность передачи сообщения не превышает 450 мс. Смена рабочей частоты в системе может производиться не чаще, чем один раз в 15 с.

Скорость передачи данных - 600 бит/с. Число каналов в направлении "Земля - спутник" - 10, "спутник - Земля" - 7. Наземная станция сбора данных при группировке из 6 КА сможет обеспечить прием и обработку до 300 тысяч коротких сообщений в сутки. Среднее время ожидания сеанса связи для орбитальной группировки из 6 КА - 15 мин, максимальное - 45 мин.

Диапазоны частот системы Starsys те же, что и в системе Orbcomm. Для повышения точности определения местоположения абонентов предполагается использовать спутниковый радиомаяк на частоте 401,65 МГц. Местоположение подвижных терминалов осуществляется с помощью встроенного GPS приемника (точность 100 м) или по доплеровскому сдвигу частоты (точность в среднем 500 м).

Земной сегмент включает в себя центральную станцию для управления КА и обеспечения взаимодействия между элементами системы, а также четыре наземные станции обработки и сбора данных.

В системе Starsys используется широкий набор абонентских терминалов. Наиболее простые терминалы - это необслуживаемые терминалы сбора данных и экологического мониторинга. Они имеют встроенный источник питания, обеспечивающий автономную работу в течение 12 месяцев.

#### Услуги и потенциальные рынки

На первом этапе система Starsys будет охватывать только Северную Америку и Европу. В дальнейшем предполагается расширить сферу услуг, охватив другие регионы мира. Основные области применения системы приведены в табл.7.8.

Таблица 7.8. Области применения системы Starsys

1. Автоматизированный учет показаний газовых, водяных и электрических счетчиков	Терминал Starsys сопрягается с различного типа датчиками и может осуществлять автоматизированный сбор данных без помощи обслуживающего персонала
2. Мониторинг перевозки грузов	Сквозной контроль за перевозкой контейнеров от пункта загрузки до пункта назначения
3. Система управления транспортом	Контроль графика движения междугороднего и общественного транспорта
4. Обнаружение потерянных или угнанных машин	Компактный терминал Starsys может быть легко скрыт в машине (во время или после ее производства) и, передавая свои координаты, позволит легко обнаружить угнанную машину
5. Мониторинг окружающей среды	Дистанционный сбор данных с датчиков экологического мониторинга

Стоимость простейшего приемопередающего терминала, рассчитанного на передачу одного сообщения, не превысит 100 долл. Наиболее сложный терминал двусторонней связи, способный передавать 32-символьные сообщения, будет стоить не более 200 долл.

Общая стоимость проекта составит 197 млн. долл., включая стоимость космического сегмента - 184 млн. долл., двух региональных станций и одной центральной станции - 13 млн. долл. Стоимость одного КА оценивается в сумму 8 млн. долл.

### 7.3.2. СИСТЕМА VITASAT

Организация VITA (Volunteers in Technical Assistance), расположенная в Арлингтоне, шт. Вирджиния, осуществляет разработку низкоорбитальной системы передачи данных Vitasat. Разработчиком космического комплекса является компания Surrey Satellite Technology Ltd.(Англия). Система Vitasat предназначена для обеспечения глобальной недорогой связи между медицинскими и гуманитарными центрами в Европе, США и развивающимися странами, в первую очередь, в Африке. В системе предусмотрено 2 КА на квазикруговых орбитах (апогей - 815 км, перигей - 796 км), наклонение орбиты - 99°, период обращения вокруг Земли - 100,9 мин.

Космический аппарат Vitasat, выполненный на основе платформы UoSat, представляет своего рода "почтовый ящик в космосе" (mailbox in the sky), который принимает, обрабатывает и архивирует все поступающие сообщения. Масса КА - 45 кг, срок активного существования - 5 лет. Объем бортового ЗУ составляет 760 кбайт (380 стр. стандартного текста). Основной вид услуг - режим электронной почты с возможностью выхода в сеть Internet.

Передача данных будет осуществляться по двум рабочим каналам со скоростью 1,2 или 9,6 кбит/с каждый. Основные характеристики ретранслятора приведены в табл.7.9.

Таблица 7.9. Характеристики ретранслятора Vitasat на базе платформы UoSat

Характеристика	Значение
Количество каналов	3 (2 - связных, 1 - телеметрический)
Мощность передатчика	1 Вт, 3 Вт, 5 Вт
Чувствительность приемника	-120 дБм (при $P_{\text{ш}}=10^{-5}$ )
Вид модуляции	переключаемые FSK/AFSK
Скорость передачи	1,2/9,6 кбит/с
Потребляемая мощность	30 Вт (в конце САС)

Вследствие малых масштабов работы и некоммерческого характера деятельности, а также неполного охвата поверхности, система будет иметь ограниченные рынки. Услуги, предоставляемые системой Vitasat, будут сфокусированы, главным образом, на передаче текстовых сообщений в интересах образования, телемедицины, контроля окружающей среды и др. Ожидаемое количество пользователей - порядка 1000. Система Vitasat не будет иметь широкой сети наземных станций сопряжения. Для обслуживания заданного количества пользователей и предоставления услуг Internet предлагается создать 4 наземные станции, разместив их в Норвегии, Южной Африке, Австралии и Чили. Наземная станция слежения за КА будет размещена в Блэксберге, шт. Вирджиния.

В системе используются достаточно простые технические решения, что позволило создать КА, стоимость которого не превышает 1,5 млн. долл, т.е. в несколько раз меньше, чем в других системах. Стоимость терминала, имеющего доступ в Internet, 3500 долл.

### 7.4. СИСТЕМА FAISAT

Система коммерческой связи Faisat разрабатывается фирмой Final Analysis Inc. (FAI), Гринбелт, шт Мериленд. К изготовлению космических аппаратов предполагается привлечь НПО "Полет" (Омск).

Система предназначена для предоставления услуг неречевой связи: электронная почта, пейджинг, передача сигналов бедствия, слежение за движением грузов, мониторинг окружающей среды, мониторинг электро- и газовых счетчиков с удаленных объектов и др.

## **Космический сегмент**

Орбитальная группировка Faisat состоит из 26 КА, выведенных на круговые орбиты высотой 1000 км с эксцентриситетом 0. Группа из 24 КА будет размещена в 4-х орбитальных плоскостях с наклоном  $66^\circ$ . В каждой плоскости предполагается разместить по 6 КА. Плоскости орбит будут распределены равномерно в пространстве при правых углах восхождения в  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $135^\circ$ . В одной плоскости соседние КА будут отстоят друг от друга на  $60^\circ$ . Средняя аномалия первого КА в каждой плоскости может принимать значения  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  и  $45^\circ$ , что необходимо для обеспечения непрерывности покрытия обслуживаемой территории.

Две дополнительные плоскости с наклоном  $83^\circ$  содержат по одному КА и служат для покрытия полярных областей. КА будут расположены на орбите с правым восхождением  $0^\circ$  и  $90^\circ$  и средней аномалией  $0^\circ$ .

Данная группировка обеспечит покрытие континентальной части земной поверхности в течение 93% времени при перерывах в обслуживании от 1 до 2,5 минут в течение каждых 20 минут. При высоте орбиты 1000 км и углах, под которым наблюдается КА, равных  $5^\circ$ , диаметр зоны обслуживания будет порядка 5000 км. Для указанных высот орбит коэффициент тени равен 0,33. Период обращения КА - 104 мин.

В январе 1995 г. с космодрома Плесецк ракетой-носителем "Космос-3М" был выведен на орбиту российский навигационный спутник "Цикада". Сразу же после запуска от "Цикады" отделились два микроспутника: шведский Astrid и демонстрационный спутник FAISat-1. Последний был выведен на орбиту для отработки технических решений, заложенных в системе Faisat, в том числе апробирования режима сбора данных с удаленных объектов. Работа экспериментального КА осуществляется на частотах, определенных лицензией FCC США 4682-EX-PL-95. После первого цикла успешных испытаний Faisat-1 было объявлено, что, возможно, все 26 КА будут запущены с российского полигона. Для групповых запусков по 6-8 КА планируется разработать специальный блок разведения спутников на орбите.

## **Космический аппарат**

В системе Faisat предусмотрено использование следующих диапазонов частот:

- линия "Земля - спутник" : 148-151 МГц, 312-322 МГц, 450-460 МГц;
- линия "спутник - Земля": 137-138 МГц, 290-300 МГц, 386-404 МГц, 400,55 МГц.

В состав КА входят бортовой комплекс управления, система электропитания (СЭП), система ориентации и стабилизации, система обеспечения теплового режима, связной комплекс и антенная система.

На борту установлены 5 приемопередатчиков, работающих в четырех диапазонах частот и приемник GPS сигналов. Антенны диапазона 137/138 МГц штыревые с линейной поляризацией на прием и передачу. Для приема и передачи используются разные антенны. Антенны диапазона 400/455 МГц - спиральные с круговой поляризацией. На прием и передачу в каждом стволе используется одна антенна.

КА выполнен с обработкой данных на борту. Объем бортовой памяти - 198 Мбайт. Масса КА составляет 89,5 кг. Мощность СЭП в начале САС - 60 Вт. Срок активного существования КА - 7 лет.

## **Наземный сегмент**

В состав наземного сегмента будут входить центр управления сетью, центральная земная станция, дополнительные земные станции, обслуживаемые (MT) и необслуживаемые (RT) терминалы пользователей.

Центр управления сетью (ЦУС), расположенный в Гринбелте, шт. Мэриленд (США), будет ответственен за техническую эксплуатацию всей системы. На ЦУС будет производиться определение эфемерид, проведение баллистических расчетов и др. Передача команд на КА будет осуществляться через центральную ЗС, расположенную в Лоране, шт. Юта, с которой ЦУС будет связан по телефонным коммутируемым сетям. ЦУС может также принимать данные непосредственно с КА. В его базе данных будут храниться сведения о местоположении всех зарегистрированных пользователей, расписание работы необслуживаемых терминалов и другие сведения.

Управление КА с Земли, как уже говорилось, будет выполняться с помощью центральной ЗС. На ЗС будет установлено оборудование по определению траектории движения КА, приема телеметрических сигналов и передачи на КА команд управления и другой служебной информации. Радиообмен с КА будет осуществляться по специально выделенному частотному каналу. Вследствие этого его работа не будет приводить к снижению пропускной способности ретранслятора в режиме передачи/приема полезной информации.

Планируется также разместить еще одну дополнительную ЗС на востоке США, которая будет выполнять не только функции резервирования центральной ЗС (в случае отказа), но и при необходимости замыкать на себя часть трафика.

Центральная и дополнительная (резервная) ЗС будут иметь одинаковый состав оборудования: блок приемопередатчика, вычислительный комплекс, антенная система. Антенны диапазона 135-150 МГц и 385-415 МГц будут установлены на общем поворотном устройстве. Для защиты от атмосферных осадков будет использоваться радиопрозрачное укрытие диаметром 3,3 м. В связи с необходимостью отслеживать одновременно несколько КА на одной ЗС будут установлены три или более антенных комплексов.

В системе Faisat предполагается разработка двух типов терминалов: необслуживаемого терминала RT (remote terminal) для сбора данных и мобильного терминала MT (mobile terminal) с алфавитно-цифровой панелью для набора сообщений и обмена информацией с КА.

Необслуживаемый терминал RT будет использоваться для промышленного мониторинга, мониторинга окружающей среды, отслеживания грузовых перевозок, подачи сигналов бедствия.

Терминалы MT рассматриваются как обслуживаемые устройства. В состав терминала MT входит приемник и передатчик соответствующего диапазона, антенна линейной поляризации, источник питания и алфавитно-цифровая панель для ввода/вывода данных.

Различные модификации терминалов RT и MT будут отличаться по пропускной способности и функциональному назначению (аварийный радиомаяк, терминал с GPS приемником и др.)

### **Организация связи**

Передача информации в абонентских линиях будет осуществляться по 10 частотным каналам с использованием в каждом из них многостанционного доступа с временным разделением каналов.

Терминалы пользователей обеспечивают работу со скоростью 1,2...9,6 кбит/с (GMSK) и 19,2 кбит/с (OQPSK). В начале эксплуатации предполагается преимущественно использоваться GMSK со скоростью до 9,6 кбит/с. Полная длина передаваемой посылки 128 байт. Пакет из 128 байт будет содержать 100 байт данных и 28 байт заголовка.

В фидерной линии используется метод модуляции OQPSK со скоростью 38,4 кбит/с в диапазоне 400 МГц и 54 кбит/с в диапазоне 148-150,05 МГц.

Модуляция GMSK в абонентских линиях со скоростью 9,6 кбит/с выбрана из-за возможности обеспечения более низкого уровня внеполосного излучения. При передаче с более высокой скоростью 19,2 кбит/с и выше используется OQPSK, обладающая более высокой спектральной эффективностью (1,5 бит/с/Гц).

Для защиты от помех на линии "вверх" используется аппаратура анализа помеховой обстановки STARS. При ширине полосы каждого канала 25 кГц и шаге перестройки 2,5 кГц в рабочей полосе 148,905-150,05 МГц содержится 453 канала. Приемник STARS просматривает все каналы примерно за 1 секунду и измеряет спектральную плотность мощности помех в каждом канале. После этого производится выбор 10 каналов с наименьшим уровнем помех, которые будут использованы в следующем сеансе связи. Эти данные сообщаются наземным терминалам.

Стратегия сбора данных с необслуживаемых терминалов была разработана с учетом необходимости опроса более чем 2 млн. терминалов в сутки с помощью группировки из 26 КА.

Опрос начинается по инициативе КА. Бортовая аппаратура анализа помеховой обстановки STARS производит выбор 10 свободных каналов, необходимых для опроса терминалов RT. После определения рабочих частот бортовой передатчик излучает групповой сигнал на прием данных с необслуживаемых объектов.

Приемник каждого терминала работает в дежурном режиме и настроен на один из каналов бортового маяка диапазона 400,55 МГц. Он принимает служебный сигнал, в котором указывается индивидуальный код опрашиваемого терминала, его очередность работы и частота передачи. Время передачи RT определяется его положением в очереди, каждая позиция в которой позволяет осуществлять передачу в течение 143 мс. В течение периода опроса (8 с) может быть осуществлен сбор данных с 50 терминалов в каждом частотном канале (500 терминалов в 10 каналах).

При работе с обслуживаемыми терминалами сеанс начинается по инициативе пользователя после нажатия им вызывной кнопки. На КА посылается запрос о выделении свободного канала. Если КА готов к работе, он отвечает терминалу MT и выдает значение частоты, на которой нужно вести передачу. Терминал излучает свое сообщение на указанной частоте. Полу-

чив сообщение, КА выдает квитанцию, подтверждающую прием сообщения. На этом сеанс связи заканчивается. Сообщение получателю передается автоматически при вхождении КА в его зону радиовидимости.

### Предлагаемые услуги и рынки

Система ориентируется на пользователей, которые находятся в труднодоступных местах, либо слишком многочисленны для неавтоматизированного съема и передачи данных, причем объем передаваемой ими информации, как правило, невелик.

Предполагается, что несколько миллионов пользователей будут пользоваться услугами системы Faisat. Например, частный автомобиль может иметь терминал, который может вызвать помощь при аварии или в случае кражи. Небольшие терминалы могут быть использованы дома для считывания показаний счетчиков электроэнергии, газа и воды. К терминалу может быть подключен небольшой медицинский генератор для сообщений о состоянии здоровья пациента. И наконец, можно иметь персональный терминал, работающий автономно или совместно с другими приборами.

Один крупный пользователь, такой как энергетическая компания, может иметь десятки тысяч или даже миллионы необслуживаемых терминалов. Все это может сделать потенциальный рынок услуг системы Faisat достаточно большим.

Планируется, что к 2000 году Faisat выйдет на международный рынок и развернет полную группировку из 26 КА. Общая стоимость проекта - 151 млн.долл. при объеме начального инвестирования - 6,3 млн. долл.

## 7.5. СИСТЕМА "ЭЛЕКОН-СТИР-М"

Работы по системе "Элекон-СТИР" ведутся с 1992 г. Проектирование осуществляет консорциум "Меркурий" (г. Железногорск) по заказу АО "СТИР", Москва. Разработчиком и изготовителем бортовой аппаратуры, наземных средств управления и контроля является Российский НИИ космического приборостроения.

В основе проекта лежит идея доработки существующего навигационного спутника "Цикада-М-УТТХ" за счет установки на его борту в качестве попутного груза связного ретрансляционного комплекса. В 1995 г. разработчики уточнили свою первоначальную концепцию создания системы, назвав проект "Элекон-СТИР-М".

Система "Элекон-СТИР-М" предназначена для обеспечения контроля сопровождения наземных и морских грузоперевозок, организации сетей передачи данных в реальном времени и режиме электронной почты, а также определения местоположения подвижных абонентов и организации поиска поврежденных контейнеров с грузом.

### Космический сегмент

Орбитальная группировка системы включает 7 спутников, выведенных на низкую круговую орбиту высотой 1000 км и наклоном 82°. Спутники предполагается разместить в 7 орбитальных плоскостях по одному КА в каждой. Период обращения КА на этих орбитах составляет 105 мин.

На борту КА "Цикада-М-УТТХ" предполагается установить ретрансляционный комплекс "Элекон-СТИР-М", который будет работать в диапазонах частот, указанных в табл. 7.10.

**Таблица 7.10.** Диапазоны частот абонентских и фидерных линий системы "Элекон-СТИР-М"

Наименование линии	Абонентская линия	Фидерная линия
Направление связи "Земля-спутник"	1621-1626 МГц	7025-7040,5 МГц
Направление связи "спутник-Земля"	2490,975-2493,025 МГц	5150-5215,5 МГц

Многоантенная система будет формировать в L/S диапазоне 9 приемопередающих лучей, из которых один центральный, а остальные лучи - периферийные. Коэффициент усиления антенны в широком (центральном) луче равен 7 дБ, а в 8 узких (периферийных) лучах - 13 дБ. Основные энергетические характеристики ретранслятора в центральном луче: ЭИИМ на несущую - 16 дБВт (в полосе 2050 кГц), добротность на границы рабочей зоны - минус 18 дБ/К. Расчетный уровень плотности потока мощности, создаваемой в рабочей зоне, составляет - 146,1 дБВт/м<sup>2</sup> (в полосе 4 кГц).

### Многостанционный доступ

В системе "Элекон-СТИР-М" предполагается использовать метод многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA). Применяются три типа псевдослучайных последовательности, которые чередуются в лучах антенны. Это позволяет снизить требования к уровню развязки между центральным и смежными периферийными лучам бортовых антенн.

Передача данных от подвижных абонентов осуществляется со скоростью 3 кбит/с (скорость в радиолинии 6 кбит/с) в режиме один канал на несущую.

### Станции сопряжения и абонентские терминалы

В состав наземного сегмента системы входят: центральная станция "Элекон-Ц", станции сопряжения "Элекон-А", парк портативных терминалов "Элекон-П" и автоматических радиомаяков "Элекон-АРМ". Схема организации связи в системе "Элекон-СТИР-М" при работе через станцию сопряжения приведена на рис. 7.6.

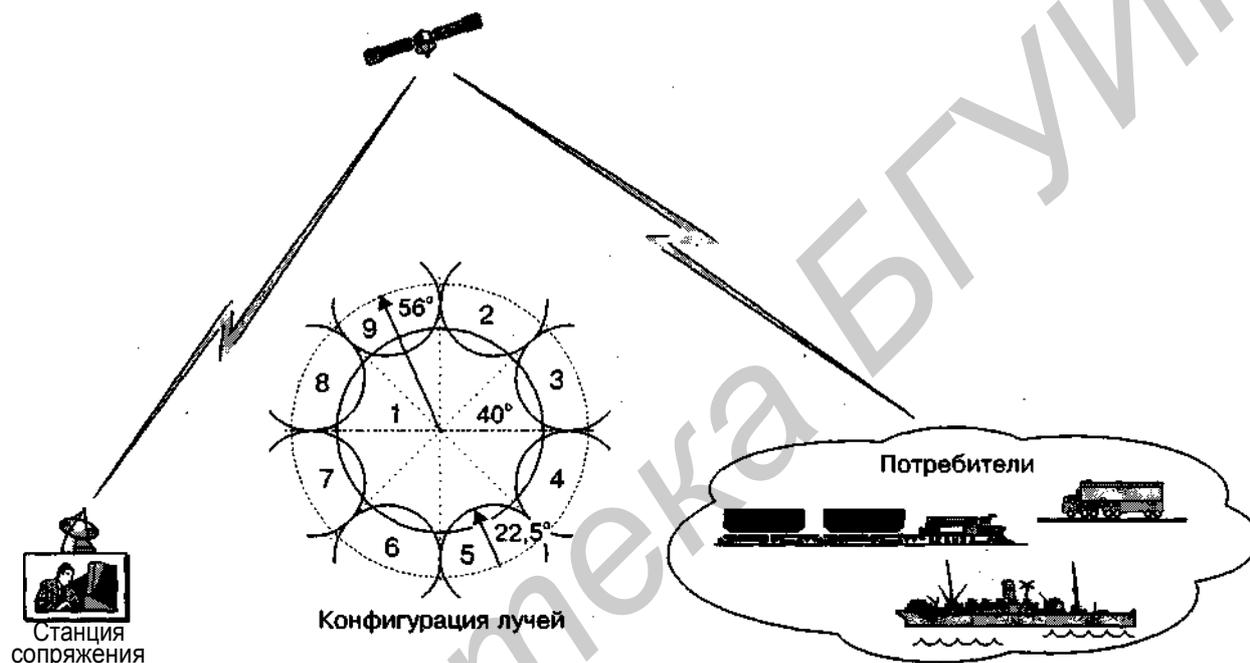


Рис. 7.6. Схема организации связи в системе "Элекон-СТИР-М"

Центральная и станции сопряжения работают в X/C (передача/прием) диапазоне частот, а абонентские терминалы и автоматические радиомаяки, соответственно, в L/S диапазоне. Основные характеристики абонентских станций и станций сопряжения приведены в табл. 7.11.

Таблица 7.11. Основные характеристики абонентских станций и станций сопряжения

Тип станции	"Элекон-А"	"Элекон-П"
Скорость информационного обмена: передача, кбит/с прием, кбит/с	2,4 156	3 6
Диапазон частот: передача, МГц прием, МГц	7025-7040,5 5150-5215,5	1621-1626,5 2490,975-2493,025
ЭИИМ на несущую, дБВт	42,1	8
Добротность Г/Т, дБ/К	-15,8	-23,8

По оценке разработчиков, общая стоимость проекта системы "Элекон-СТИР-М" составляет 145 млн. долл. Прогнозируемый тариф за услуги типа передачи коротких однопакетных

сообщений (данных о местоположении, состоянии перевозимых грузов и др.), передаваемых примерно 1 раз в 30 мин, составит 2 долл./сутки. При таком тарифе срок окупаемости системы не превысит двух лет.

## 7.6. ПРОЕКТЫ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ

В настоящее время в мире разрабатывается большое количество проектов малых СПСС, которые можно отнести к системам второго поколения. Многие из этих проектов еще не получили официального статуса, у разработчиков нет лицензии на создание системы, не во всех проектах определен их облик, не решены вопросы с выбором диапазонов частот, не определены источники финансирования. Большинство таких проектов находятся на начальной стадии проектирования, а поэтому по ним имеются весьма ограниченные сведения. Тем не менее они представляют несомненный интерес. Ниже дается краткое описание ряда зарубежных проектов: Leo One, GE-LEO, E-SAT, LEOSAT, Gemnet.

### 7.6.1. СИСТЕМА LEO ONE

Многоспутниковая система передачи данных Leo One разрабатывается корпорацией Leo One Corporation (США).

Орбитальная группировка Leo One будет состоять из 48 КА, равномерно распределенных в 8 орбитальных плоскостях, имеющих наклонение 50°. В каждой плоскости на высоте 950 км будет находиться по 6 КА, равномерно расставленных друг относительно друга. Период обращения КА вокруг земли примерно равен 104 мин. Система будет обеспечивать зону обслуживания между 30° с.ш. и 60° ю.ш. (угол места 15°) или между 65° с.ш. и 65° ю.ш (угол места 5°). Основные параметры ретранслятора приведены в табл.7.12.

**Таблица 7.12.** Основные характеристики космического аппарата Leo One

Характеристика	Значение
Размеры КА	0,51x0,51x0,89 м
Масса КА	125 кг
Панели солнечных батарей	4 (0,51x0,76 м)
Потребление (в конце САС)	210 Вт
САС	5-7 лет

В отличие от других систем передачи данных, в проекте Leo One не исключается использование межспутниковых линий, аналогичные системе Iridium, хотя официально эти сведения не подтверждены системно-техническими решениями. Тем не менее утверждается, что система будет обеспечивать работу в глобальной зоне в масштабе времени, близкому к реальному. Принцип организации связи в системе Leo One примерно такой же, как и в ранее рассмотренных системах, относящихся к классу "little LEO".

Функционирование системы будет осуществляться в том же диапазоне частот, что и в Orbcomm: 148-150,05 МГц (линия "вверх"), 137-138 МГц (линия "вниз"). Частотный план и скорости передачи в абонентской и фидерной линиях связи приведены в табл. 7.13.

**Таблица 7.13.** Частотный план системы Leo One

Направление связи	Диапазон частот, МГц	Скорость передачи, кбит/с
КА - абонент (линия "спутник - Земля")	137-138	24
КА - земная станция (линия "спутник - Земля")	400,15-401	50
Абонент - КА (линия "Земля - спутник")	148-150,05	2,4-9,6
Земная станция - КА (линия "Земля - спутник")	399,9-400,05	50

Основные виды предлагаемых услуг: пейджинг, электронная почта, телеметрия, данные о местоположении и состоянии объектов. Рынок, на который ориентируется система Leo One, по мнению разработчиков, к началу 21 века составит 50 млн. потенциальных пользователей, в том числе 19 млн. абонентов в США.

### **7.6.2. СИСТЕМЫ GE-LEO, E-SAT И LEOSAT**

Финансирование проекта GE-LEO осуществляет компания GE Americom (США), являющаяся в настоящее время действующим оператором систем подвижной спутниковой связи с использованием ГСО. Компании GE Americom обслуживает 400 тыс. ж/д вагонов в США и имеет огромный парк арендуемых железнодорожных контейнеров в мире (1,2 млн).

Орбитальную группировку GE-LEO планируется построить из 24 КА, размещенных в 4-х орбитальных плоскостях с высотой орбиты 800 км по 6 КА в каждой плоскости.

В системе планируется задействовать следующие частоты: 148-150 МГц (линия "вверх") и 399,9-400,05 МГц (линия "вниз").

Основные виды услуг: отслеживание местоположения с диспетчерского пункта, передача данных с подвижных объектов и автономное определение местоположения.

Спутниковая сеть GE-LEO предназначена для обслуживания парка подвижных объектов (автомобильных и железнодорожных и др.) и передачи данных от наземных обслуживаемых и необслуживаемых объектов.

Основное финансирование проекта E-SAT (80%) будет осуществлять разработчик системы Echostar communications (США) (провайдер сотовой связи) и 20% - компания DBS Industries, специализирующаяся в области спутникового телерадиовещания.

Орбитальная группировка системы E-Sat состоит из 6 КА. Спутники будут выведены на синхронно-солнечную орбиту и расположены в двух плоскостях по 3 КА в каждой на высоте 1262 км.

Планируется, что система E-Sat будет предоставлять услуги по дистанционному считыванию показаний приборов (счетчиков электроэнергии, газа, воды) и широкополосную передачу данных непосредственно на домашние установки пользователей (direct-to-home-data broadcasting).

Система предназначена для передачи коммерческой информации в системах НТВ, обеспечение автоматизированного учета расхода газа и электроэнергии, передачи данных от необслуживаемых датчиков, входящих в энергетический комплекс.

Общая стоимость проекта оценивается в 49 млн. долл

Фирма Leosat Corp. предполагает создать спутниковую систему LEOSAT, состоящую из 18 КА, расположенных в трех орбитальных плоскостях по 6 КА в каждой плоскости. Высота орбиты 1000 км, наклонение 45°. Орбитальная группировка создается на базе военных малых спутников MacSat (масса - 50 кг).

Земной сегмент состоит из центра управления, 10-20 станций сопряжения и парка абонентских терминалов. Связь осуществляется через станции сопряжения, которые связаны между собой наземными сетями общего пользования.

Передачу данных планируется организовать в диапазоне частот 148,0-150,05 МГц. Скорость передачи в обратном канале (абонент - станция сопряжения) изменяется от 1,2 до 4,8 кбит/с. Метод модуляции - OQPSK. Метод многостанционного доступа - FDMA. Передача данных от станций сопряжения осуществляется со скоростью 56 кбит/с. Стоимость проекта системы составит 98 млн. долл., включая создание космического сегмента и станций сопряжения. Стоимость абонентских терминалов - 50-200 долларов.

### **7.6.3. СИСТЕМА GEMNET**

Система Gemnet предназначена для низкоскоростной передачи данных для подвижных и стационарных абонентов, оснащенных малогабаритными ненаправленными антеннами. В системе Gemnet планируется организовать электронную почту для удаленных пользователей (GEMmail), сеть пейджинговой связи (GEMpage), сеть контролера грузовых перевозок (GEM-track), сеть сбора данных с радиомаяков экологического мониторинга и др.

Основным заказчиком и оператором системы Gemnet является компания STA Inc., Роквилл, шт. Мериленд (США).

### Космический сегмент

Орбитальная группировка Gemnet состоит из 38 КА, запущенных в 5 орбитальных плоскостях. Основное покрытие земной поверхности обеспечивают 4 плоскости по 8 КА в каждой. Высота орбиты - 1000 км, наклонение - 50°. В пятой плоскости с наклонением орбиты 99,5° будет находиться еще 6 дополнительных КА.

По своему назначению система Gemnet является региональной и предназначена для обслуживания абонентов, находящихся преимущественно в Северо-Американском регионе. Центр управления и контроля системы, а также станции сопряжения на первом этапе предполагается установить только на территории США. Что же касается общей зоны обслуживания, то она состоит из 38 взаимно перекрывающихся подзон, что обеспечит глобальное покрытие земной поверхности, включая высокоширотные районы.

В системе используются легкие спутники массой 45 кг и общей мощностью потребления 100 Вт. Срок активного существования КА - 5 лет. Тип ретранслятора - регенеративный с бортовым ЗУ. Метод многостанционного доступа - FDMA/TDM. На борту КА установлен GPS приемник. Диапазоны рабочих частот, количество частотных каналов и скорости информационного обмена, используемые в системе Gemnet, приведены в табл. 7.14.

**Таблица 7.14.** Основные характеристики ретрансляционного комплекса Gemnet

Направление связи	Диапазон частот	Количество каналов	Скорость передачи
КА - абонент (линия "спутник-Земля")	137-138 МГц	1	19,2 кбит/с
КА - центральная станция (линия "спутник-Земля")	400,15-401 МГц	1	50 кбит/с
Абонент - КА (линия "Земля-спутник")	148-150,05 МГц	11	2,4 (4,8) кбит/с
Центральная станция - КА (линия "Земля-спутник")	148-150,05 МГц	2	50 кбит/с

В качестве абонентской аппаратуры предполагается использовать мобильные и стационарные терминалы, оснащенные малогабаритными ненаправленными антеннами. Терминалы предназначены для передачи коротких пакетов данных со скоростью 2,4/4,8 кбит/с. Метод модуляции - OQPSK.

Общая стоимость проекта системы Gemnet оценивается в 159 млн. долл. Развертывание системы предполагается осуществить в 1999 г.

## **8. СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ РАДИОМАЯКОВ С КА НА НИЗКИХ ОРБИТАХ**

Спутниковые радиомаяки отличаются простотой обслуживания, низкой стоимостью, промышленным дизайном, допускающим их использование в сложных условиях эксплуатации. Благодаря этим качествам они получили широкое распространение. Их услугами уже пользуются не только для обнаружения и определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию, но и в метеорологии, океанографии, гидрологии, вулканологии, системах контроля окружающей среды. Предлагается их использовать также в системах контроля перевозок грузов. Наибольшее распространение получили космические системы, построенные на базе низкоорбитальных КА, такие как международная система "Коспас-Сарсат", ARGOS (Франция), "Курс" (Россия).

### **8.1. МЕЖДУНАРОДНАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА "КОСПАС-САРСАТ"**

Международная спутниковая система "Коспас-Сарсат" находится в эксплуатации с 1985 года. Она предназначена для обнаружения и определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию. Система разработана и создана совместно четырьмя странами: СССР, США, Канадой и Францией. Сейчас в организацию входят 26 стран и имеются заявки на прием новых членов. Администрация системы "Коспас-Сарсат" находится в штаб-квартире организации Immarsat в Лондоне. Деятельность "Коспас-Сарсат" взаимосвязана с международными организациями Immarsat, ICAO, ITU и др.

Международные интересы США представляет Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (NOAA), которое ответственно за запуск и эксплуатацию КА SARSAT (Search and Rescue Satellite-Aided Tracking).

Правительство РФ, ставшее в 1992 году правопреемником СССР, приняло на себя все права и обязательства, связанные с запуском и эксплуатацией космического сегмента "Коспас".

#### **8.1.1. СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ**

##### **Состав и структура системы**

Основная концепция построения системы обнаружения и определения места катастроф судов и самолетов "Коспас-Сарсат" иллюстрируется на рис. 8.1.

Система "Коспас-Сарсат" состоит из двух подсистем обнаружения сигналов бедствия с аварийных передатчиков во время аварии, соответственно, на море и на суше.

Первая подсистема обеспечивает работу на частотах 121,5/243 МГц, выделенных МСЭ в качестве аварийных для авиационной подвижной службы. Указанные частоты также используются в интересах морской подвижной службы.

Вторая подсистема обеспечивает работу в диапазоне частот 406,0-406,1 МГц, выделенном исключительно для аварийных спутниковых радиомаяков и радиобуев (АРБ, АРМ и ПРМ).

Система включает в себя следующие основные комплексы:

- космический сегмент, состоящий из КА NOAA с полезной нагрузкой Sarsat и КА "Надежда" с полезной нагрузкой "Коспас";
- наземный сегмент, обеспечивающий координацию поисково-спасательных работ;
- парк аварийных радиомаяков и радиобуев.

##### **Принцип сбора данных с аварийных радиомаяков**

Определение места катастрофы с помощью системы "Коспас-Сарсат" осуществляется следующим образом. Сигналы бедствия от радиомаяков и радиобуев излучаются в эфир на одной из указанных выше частот (см. рис. 8.1). Любой из спутников "Коспас" или Sarsat может обнаружить их и ретранслировать на наземные станции приема и обработки информации (СПОИ). Наземная станция LUT (СПОИ) обрабатывает аварийные сообщения в течение нескольких минут и переправляет их на соответствующий координационный центр системы (КЦС). КЦС осуществляет сбор данных и передает их в ближайшую к месту происшествия поисково-спасательную службу. Если катастрофа произошла в зоне ответственности другого

(зарубежного) координационного центра, то он оповещается об этом через другие КЦС. В табл. 8.1 приведено соответствие англоязычных и отечественных обозначений средств, используемых в системе "Коспас-Сарсат".

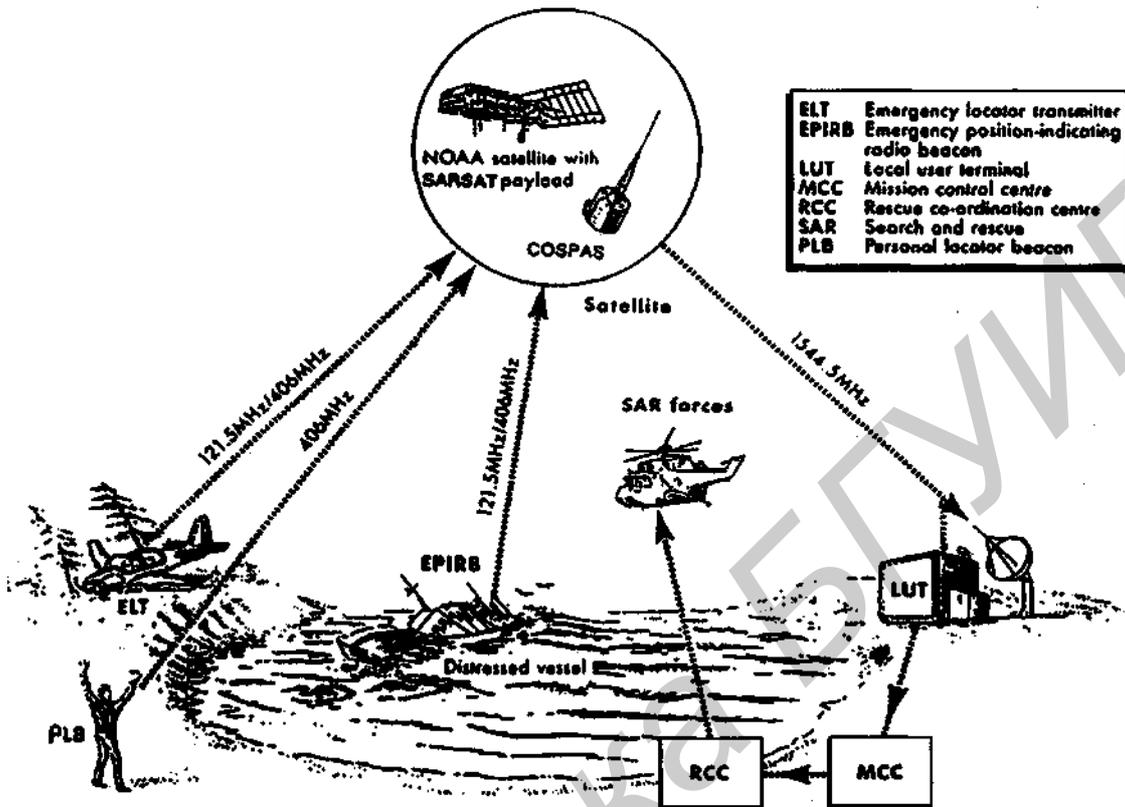


Рис. 8.1. Схема сбора аварийных сообщений в системе "Коспас-Сарсат"

Таблица 8.1. Соответствие английских и русских обозначений средств, используемых в системе "Коспас-Сарсат"

Используемые обозначения		Функциональное назначение элемента системы
В англоязычных источниках	В отечественной литературе	
ELT - Emergency locator transmitter	АРМ - Аварийный радиомаяк	Радиомаяк, приводимый в действие в момент удара
EPIRB - Emergency position-indicating radio beacon	АРБ - Аварийный радиобуй	Радиомаяк, срабатывающий автоматически при его погружении в воду
LUT - Local user terminal	СПОИ - Станция приема и обработки информации	Первичный сбор и обработка сообщений от аварийных радиомаяков
MCC - Mission control centre	КЦС - Координационный центр системы	Централизованный сбор данных от различных СПОИ и других центров
RCC - Rescue co-ordination centre	ПСС - Поисково-спасательные службы	Координация поисково-спасательных работ
SAR - Search and rescue forces	СБР - Силы быстрого реагирования	Проведение аварийно-спасательных работ в местах катастроф
PLB - Personal locator beacon	ПРМ - Персональный радиомаяк	Радиомаяк для персонального пользования

В зависимости от взаимного расположения аварийных радиомаяков, КА и наземных станций могут быть организованы два режима сбора данных:

- региональное обслуживание (сбор данных в реальном времени);
- глобальное обслуживание (сбор данных с задержкой на время переноса аварийных сообщений от радиомаяков на борту КА).

**Региональное обслуживание.** При расположении аварийного средства (радиомаяка или радиобуя) и наземной станции слежения СПОИ в зоне радиовидимости одного спутника может быть организован сбор данных в реальном времени как в диапазонах частот 121,5/243 МГц, так и в диапазоне 406 МГц.

Максимальное время взаимной видимости аварийного радиомаяка и наземной станции сбора данных зависит от угла места и траектории движения КА и обычно не превышает 15 минут. Для существующих СПОИ эффективный размер зоны обслуживания ограничен радиусом, равным 3218 км [35].

Фрагмент системы "Коспас-Сарсат", работающий в диапазоне 121,5 МГц, не обеспечивает полный охват всей территории земного шара. В частности, в ряде районов в южном полушарии (часть Африки и Южной Америки и др.) нельзя осуществить сбор данных в реальном времени.

**Глобальное обслуживание.** В случае, когда расстояние между аварийным радиомаяком и ближайшей наземной станцией превышает размеры зоны радиовидимости одного спутника, то может быть обеспечено глобальное обслуживание поверхности Земного шара. Режим переноса информации на борту КА в системе "Коспас-Сарсат" реализован в диапазоне частот 406 МГц. Глобальное обслуживание обеспечивается посредством записи в бортовом ЗУ информации, получаемой в результате обработки сигналов аварийных радиомаяков. Информация, накопленная в памяти КА, периодически излучается передатчиком. Прием на СПОИ осуществляется сразу же при появлении спутника в зоне ее видимости. В результате местоположение работающего аварийного радиомаяка может быть определено всеми наземными станциями системы. Таким образом, многократный прием аварийных сигналов различными наземными станциями "Коспас-Сарсат" существенно повышает время реагирования системы на нештатную ситуацию.

### 8.1.2. КОСМИЧЕСКИЙ И НАЗЕМНЫЕ СЕГМЕНТЫ

Орбитальная группировка системы "Коспас-Сарсат" состоит из 6 низкоорбитальных КА (включая один резервный), расположенных на околополярной круговой орбите. Три КА типа "Коспас" ("Надежда") запускаются и обслуживаются российской стороной, а три КА типа Sarsat (метеорологические спутники НОАА) - американской стороной. На борту КА установлены ретрансляторы, работающие в диапазонах частот 121,5 МГц и 406 МГц.

В разработке электронного оборудования для КА Sarsat принимают участие фирма Spar Aerospace (Канада), приемники с бортовым процессором диапазона 406 МГц поставляются Францией.

Российские спутники полностью совместимы с системами, разрабатываемыми совместно США, Канадой и Францией. Они оснащены радиокомплексом, осуществляющим прием на частотах 121,5 МГц и 406 МГц. Основные характеристики КА, используемых в системе "Коспас-Сарсат", приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Основные характеристики космических аппаратов

Наименование КА	"Коспас" ("Надежда")	Sarsat (НОАА)
Страна-изготовитель	Россия	США
Высота орбиты	1 000 км	850 км
Наклонение	83°	98,5°
Период обращения	105 мин	103 мин

Бортовая аппаратура "Коспас-Сарсат" обеспечивает функционирование в двух режимах: в режиме реального времени (диапазон частот 121,5/243 и 406 МГц) и глобальном режиме (406 МГц).

Ретрансляционный комплекс включает в себя следующие основные устройства: приемную и передающую антенны, каналные приемники, работающих в диапазонах частот 121,5 МГц, 243 МГц (только КА Sarsat) и 406 МГц, бортовой процессор для диапазона 406 МГц и передатчик, работающий на частоте 1544,5 МГц.

Бортовой приемник диапазона 121,5 МГц осуществляет прием и преобразование аналоговых сигналов, выполнен без обработки сигналов на борту. Полоса пропускания приемника - 25 кГц. Режим работы приемника КА Sarsat на частоте 243 МГц полностью идентичен режиму работы приемника на частоте 121,5 МГц. После усиления и преобразования по частоте происходит переизлучение сигналов аварийных радиомаяков на частоте 1544,5 МГц.

Диапазон 406 МГц специально выделен для сбора данных с аварийных радиомаяков. В этом диапазоне радиомаяк излучает не только координаты объекта, но и дополнительную информацию, содержащую сведения о самом объекте.

При приеме посылок аварийных радиомаяков в диапазоне 406 МГц бортовая аппаратура осуществляет демодуляцию входных сигналов, производит измерение входной частоты и определяет доплеровский сдвиг. Кроме того, из сигналов радиомаяков извлекается информационное сообщение. Затем выделенная информация привязывается ко времени и производится ее преобразование в цифровую форму со скоростью 2,4 кбит/с. Сформированные сообщения накапливаются и хранятся в бортовом ЗУ для последующей передачи на Землю в режиме глобального оповещения. Если в процессе сброса информации из памяти КА на Землю принимается сигнал другого аварийного радиомаяка, то сброс данных на Землю прерывается с тем, чтобы вновь принятый сигнал мог быть обработан и результат его обработки включен в состав информативного кадра.

Структура информационного кадра является универсальной и обеспечивает совместимость между КА и СПОИ, использующими аппаратуру различных фирм-изготовителей. В информационном кадре предусмотрены специальные указатели, отмечающие режим работы борта (реальное или нереальное время), время передачи и т.п.

Бортовой передатчик работает в диапазоне частот 1544,5 МГц с использованием фазовой манипуляции несущей суммарным сигналом, поступающим от разных приемных каналов. Предусмотрена возможность регулирования уровня мощности излучаемого сигнала по командам с Земли.

### **Наземный сегмент**

Наземный сегмент системы "Коспас-Сарсат" включает в себя станции приема и обработки информации (СПОИ) и координационные центры системы (КЦС).

СПОИ отслеживает спутники, принимает в диапазоне 121/243 МГц необработанные данные, а в диапазоне 406 МГц обработанные на борту данные. Затем станция передает координаты и другие данные на МСС.

СПОИ осуществляет прием ретранслируемых КА сигналов, их обработку с целью определения местоположения радиомаяков. Наземная станция вычисляет местоположение по каждому сигналу, принятому со спутника. Вся обработка сигналов осуществляется в автоматическом режиме и занимает не более нескольких минут.

В состав оборудования СПОИ входят: параболическая антенна, осуществляющая слежение за КА, приемное оборудование, работающее в диапазонах частот 121,5/243 и 406 МГц, аппаратура анализа аварийных сообщений, а также другое вспомогательное оборудование.

По каждому принятому на частоте 121,5 МГц сигналу на наземной станции производится расчет доплеровской кривой. На основе этого затем осуществляется определение географических координат радиомаяка. Обработка принятых на СПОИ цифровых данных (по сигналам радиомаяков 406 МГц) осуществляется с помощью цифровых процессоров.

На сегодняшний день в системе "Коспас-Сарсат" функционирует 29 наземных станций СПОИ (LUT) в 17 странах. Из них на территории РФ действуют четыре станции (Архангельск, Москва, Находка, Новосибирск). В США в эксплуатации находятся также четыре СПОИ, в Канаде - 3, во Франции и ряде Других стран - по 1 станции. Кроме того, готовятся к вводу в эксплуатацию еще четыре СПОИ в разных странах мира.

Функциями КЦС являются координация и обмен аварийной и другой служебной информацией как в рамках системы "Коспас-Сарсат", так и с поисково-спасательными службами. В соответствии с концепцией построения системы в каждой стране должен быть свой национальный координационный центр. В настоящее время в системе "Коспас-Сарсат" функционирует 14 КЦС в 14 странах, а еще 6 национальных центров создаются в разных странах. Координационные центры России, США и Франции являются региональными. Через них к сети "Коспас-Сарсат" подключаются все остальные координационные центры.

Стоимость эксплуатации системы "Коспас-Сарсат" в мировом масштабе обходится в 12-15 млн. долл. в год.

### Определение местоположения по сигналам аварийных радиомаяков

Местоположение излучающих радиомаяков и радиобуев определяется системой автоматически с использованием эффекта Доплера. Точность определения координат не более:

- 20 км в диапазоне частот 121,5 (243) МГц;
- 5 км в диапазоне частот 406 МГц.

Как известно, доплеровское определение местоположения дает два решения для каждого радиомаяка: истинное и зеркальное относительно наземной проекции трассы спутника. Это приводит к двум решениям, которые являются зеркальными отражениями относительно наземной проекции траектории движения КА. Вероятность устранения неоднозначности определяется как способность системы определять "истинное" положение, а не "зеркальное".

Эта неоднозначность устраняется на основании расчетов, учитывающих эффект вращения Земли. Средняя точность определения местоположения в радиомаяках старого поколения ниже, чем в новых системах. Это обусловлено тем, что несущая частота в диапазоне 121,5 МГц более нестабильна, а следовательно, неоднозначность в них разрешается только при двух проходах.

Вероятность определения местоположения на частоте 406 МГц определяется как вероятность обнаружения и декодирования, по крайней мере, четырех отдельных посылок за один проход спутника. При этом на СПОИ может быть построена доплеровская кривая.

### 8.1.3. ПАРК СПУТНИКОВЫХ РАДИОМАЯКОВ

Радиомаяки, используемые в системе "Коспас-Сарсат", представляют собой малогабаритные передатчики, излучающие сигналы бедствия на частотах 121,5 или 406 МГц. В системе "Коспас-Сарсат" разработана широкая номенклатура аварийных радиомаяков и радиобуев, которые могут быть использованы в интересах различных подвижных служб (табл. 8.3).

Таблица 8.3. Типы радиомаяков, используемых в системе "Коспас-Сарсат"

Тип службы	Назначение	Принцип срабатывания
Воздушная подвижная служба	Радиомаяки, размещенные на борту самолетов, вертолетов и других летательных аппаратов	Автоматически в момент удара
Морская подвижная служба	Радиобуи для морских и речных судов, яхт и других плавучих средств	Автоматически при погружении в водную среду
Сухопутная подвижная служба	Радиомаяки, устанавливаемые на транспортных средствах или портативные	Автоматически либо вручную
Стационарные объекты	Радиомаяки, передающие данные экологического и промышленного мониторинга	Автоматически

#### Радиомаяки 121,5 МГц

Радиомаяки, работающие на частоте 121,5 МГц, излучают тонально модулированный сигнал мощностью порядка 50-100 мВт.

Аварийный передатчик включают в свой состав стабильный генератор частот (ГЧ), модулятор (М), усилитель радиочастот, батарею, всенаправленную антенну, датчик, срабатывающий в момент удара (crash activation sensor), двухпозиционный ключ включения питания, кабели и средства крепления.

Требования к параметрам этих маяков основаны на Спецификации ICAO, вследствие чего их параметры не являются оптимальными. Сигналы радиомаяков 121,5 МГц не несут информации, позволяющей опознать объект, на котором он установлен.

Радиомаяки имеют автономное питание, обеспечивающее непрерывный режим работы от 24 до 48 часов. В качестве автономных источников питания в них используются литиевые химические элементы, обеспечивающие работоспособность данных устройств в широком диапазоне температур от -40°C до +55°C.

Радиомаяки, работающие на частоте 121,5 МГц, широко используются во всех странах. Их общее количество составляет 560 тыс. единиц. В СНГ находится в эксплуатации порядка

150 тыс. таких радиомаяков, используемых в основном для обеспечения безопасности полетов самолетов гражданской и военной авиации, а также морских судов. Ожидается, что к 2000 году их количество возрастет до 600 тыс.

### **Радиомаяки 406 МГц**

Радиомаяки 406 МГц были специально разработаны для обнаружения и определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию. Радиомаяки этого типа излучают каждые 50 секунд посылку длительностью порядка 0,5 с. Несущая модулирована по фазе, а посылка содержит информацию в цифровом виде. Выходная мощность передатчика - 5 Вт.

Радиомаяки типа EPIRB, называемые "плавающим радиобуем" ("floating beacon"), приводятся в действие автоматически при их погружении в воду. EPIRB герметичен и плавуч. Он функционирует на тех же частотах и имеет те же характеристики сигналов, что и ELT.

При передаче на частоте 406 МГц в сообщении указываются дополнительные сведения, такие, как данные о стране регистрации устройства, идентификационный номер маяка, по которому может быть опознан объект, и другая информация.

В СНГ серийное производство радиомаяков 406 МГц освоено на Севастопольском радиозаводе (Концерн "Муссон") и Ярославском радиозаводе (АО "Ярославский радиозавод"), которыми выпускаются несколько модификаций радиомаяков диапазона 406 МГц.

Радиомаяки в морском исполнении ("Коспас-АРБ-МК" и др.) предназначены для установки на морских и речных судах и работе в морской среде. В соответствии с требованиями Международной морской организации (ИМО) все суда морского, речного и промыслового флота водоизмещением свыше 300 тонн должны быть оснащены аварийными радиобуями-указателями местоположения (типа EPIRB), работающими в диапазоне 406 МГц, полностью удовлетворяющими требованиям ИМО.

Все морские радиобуи в дополнение к передатчику с частотой 406 МГц имеют передатчики для ближнего привода, в качестве которого служат передатчики, излучающие сигнал на частоте 121,5 МГц.

В настоящее время в эксплуатации находится 119 тыс. радиомаяков на частоте 406 МГц, большинство из которых радиобуи (типа EPIRB). Как показывает прогноз, к 2000 году количество радиомаяков такого типа удвоится.

Радиомаяки в переносном исполнении ("Коспас-АРБ-ПК", "Экском" и др.) - это малогабаритные устройства, предназначенные для персонального использования личным составом авиации и др. Основное отличие моделей - это различные условия эксплуатации и емкость элементов питания. Радиомаяк "Экском" имеет встроенную клавиатуру (наборное поле), которое позволяет передавать в кадре дополнительную информацию.

## **8.2. СИСТЕМА ARGOS**

Система ARGOS была создана в 1978 г. и уже сейчас ее услугами пользуются около 40 стран. Система предназначена для мониторинга окружающей среды и сбора данных с морских и наземных платформ.

Программа ARGOS - это результат длительного сотрудничества национального центра космических исследований CNES (Франция), NASA (США) и NOAA (США). Аппаратура ARGOS устанавливается на спутники NOAA. На круговой полярной орбите высотой 850 км одновременно находятся 2 спутника, что обеспечивает при их движении на орбите глобальный охват поверхности Земли.

Главный центр обработки и распределения данных, принимаемых с радиомаяков, расположен в Тулузе (Франция), а его филиалы находятся в Лэндовере (США), Мельбурне (Австралия), Токио (Япония) и других регионах.

### **Пропускная способность**

Пропускная способность систем сбора данных традиционно определяется максимальным количеством платформ DCP (data collection platform), которые могут одновременно находиться в зоне радиовидимости одного КА. В системах сбора данных об окружающей среде, построенных на базе геостационарных КА (GEOS, Meteosat и др.), все платформы находятся одновременно в зоне радиовидимости КА. Передача сообщений осуществляется регулярно в фиксированные временные интервалы (для каждого радиомаяка выделен свой временной интервал), а каждая из платформ использует один из фиксированных каналов ретранслятора.

Такой метод организации сбора данных выбран из условия, чтобы исключить взаимные помехи от передатчиков разных платформ. Максимальное количество одновременно активных

платформ зависит от количества частотных каналов и выделенных временных интервалов в каждом канале.

В отличие от геостационарных систем сбор данных в системе ARGOS отличается существенным образом:

- в каждый момент времени низкоорбитальный КА охватывает лишь небольшую часть поверхности Земли (5,7 %), а поэтому может обслужить лишь только те платформы, которые находятся в зоне его радиовидимости;
- спутники перемещаются относительно Земли, а следовательно, количество платформ, находящихся одновременно в зоне радиовидимости КА, непрерывно изменяется;
- время передачи различных радиомаяков случайным образом распределено в пределах от 90 до 300 с, а длительность сообщений изменяется в интервале от 0,36 до 0,92 с;
- передача данных от всех платформ осуществляется на одной частоте (401,6 МГц), однако частоты приема случайным образом сдвинуты друг относительно друга вследствие различного доплеровского сдвига вследствие произвольно расположенных на поверхности Земли платформ.

Пропускная способность системы ARGOS определяется как максимальное количество сообщений, которые сможет обработать конкретная модель космического аппарата NOAA. Результаты расчета пропускной способности приведены в табл. 8.4.

**Таблица 8.4.** Пропускная способность системы ARGOS

Период повторения сообщений, сек	Длительность сообщения, бит	Количество объектов, находящихся в зоне радиовидимости КА	
		NOAA-G (H...J)	NOAA-K (L, M)
90	32	645	2358
300	32	2150	7860
300	256	841	3068

### **Радиомаяки фирмы CLS**

Французской фирмой CLS разработаны радиомаяки AGT, AGT-G и передатчик данных о состоянии объектов ACT-AL. Радиомаяки имеют ненаправленные антенны и обеспечивают работу как на стоянке, так и в движении.

Наиболее простой радиомаяк AGT является передатчиком универсального применения. Он может устанавливаться на контейнере с грузом, на морской или наземной платформе. Радиомаяк AGT состоит из передатчика с антенной, устройства формирования сообщения и источника питания. В AGT-G, кроме перечисленных устройств, входит приемник навигационных сигналов (GPS приемник).

Радиомаяки AGT и AGT-G рассчитаны на длительную автономную эксплуатацию. Максимальное время работы AGT с алкалиновыми батареями (без их замены) - 3 месяца, а с литиевыми - до 6 месяцев.

Режимы работы AGT и AGT-G программируются от IBM PC. Так, программно задаются время работы радиомаяков, период повторения посылок и период определения местоположения, а также другие параметры. Суммарное время непрерывной работы AGT не может превышать 8 часов в сутки. Режим работы радиомаяка задается программным способом. Кроме того, в AGT-G предусмотрена возможность изменения периода определения местоположения подвижного объекта (20 мин, 30 мин, 1 час и 2 часа).

К передатчику AGT и AGT-G могут быть подключены два типа антенн: CLR402 или CLD402. Выбор типа антенны зависит от того, как установлен контейнер с грузом: горизонтально или вертикально.

Плоская антенна типа CLR402 предназначена для горизонтального размещения на контейнере. Ее размеры 290 (длина) x 180 (ширина) x 25 (высота) мм, масса - 0,5 кг. Если контейнеры установлены друг на друга, т.е. вертикально, то для этого случая разработана антенна типа CLD402.

Антенны CLR402 CLD402 сделаны из радиопрозрачной пластмассы и рассчитаны на эксплуатацию на открытом воздухе под воздействием любых неблагоприятных факторов (ветра, дождя и т.п.).

GPS антенна, используемая в радиомаяке AGT-G, представляет собой цилиндр диаметром 50 мм и высотой 10 мм. Масса GPS антенны - 100 г.

Передатчик данных о состоянии объектов АСТ-AL (Argos Container tracker analog/logical option) специально разработан для установки на контейнер с грузом. АСТ-AL работает в том же диапазоне частот, что и радиомаяки AGT и AGT-G. Устройство обеспечивает сбор данных от 8 датчиков: 5 цифровых и 3 аналоговых (аналоговые входы 0-100 мВ, 0-5 В и 0-15 В. Суммарная длина передаваемого сообщения - 64 бита.

Основные технические характеристики радиомаяков системы ARGOS приведены в табл. 8.5.

**Таблица 8.5.** Основные технические характеристики радиомаяков системы ARGOS

Основные характеристики	AGT	AGT-G	ACT-AL
Диапазон частот, МГц	401,646-401,654		
Мощность передатчика, Вт	1	1	2
Индекс фазовой модуляции, рад	1,1	1,1	1,1
Длительность посылки, мсек	360	360-920	-
Период повторения посылок, сек	90-300	90-300	-
Рабочая температура	от -40°C до +70°C		от -20°C до +60°C
Предельная температура	от -40°C до +80°C		от -40°C до +80°C
Габариты, мм	90x160x260	90x160x260	80x100x150
Масса, кг (с источником питания)	3	4	3,9

### 8.3. СИСТЕМА "КУРС"

Российская диспетчерско-информационная спутниковая система "Курс" была создана в 1996 году. Система предназначена для сбора метеорологических, экологических и аварийных сообщений от стационарных и подвижных объектов, а также определения их местоположения в любой точке Земного шара.

В состав технических средств системы "Курс" должны входить космический комплекс, наземный комплекс и парк радиомаяков, устанавливаемых на обслуживаемых подвижных объектах.

Космический комплекс системы строится на базе 2-4 КА с унифицированной бортовой аппаратурой, которая может функционировать как в рамках системы "Коспас-Сарсат", так и системы "Курс". КА расположены на круговой полярной орбите на высоте 1000 км с наклоном 83°. В настоящее время связь осуществляется через один КА "Курс-Коспас". Космические аппараты будут иметь на борту комплекс радиотехнических средств, позволяющих осуществлять прием в диапазоне частот 405 МГц. Бортовая аппаратура КА будет осуществлять первичную обработку принятых сигналов и их привязку по времени, а также передавать обработанную информацию по линии КА - Земля.

Переключение режима работы бортовой аппаратуры будет осуществляться по командам с Земли. При этом два КА будут постоянно работать в "Коспас-Сарсат", а два других - в рамках системы "Курс".

Планируется, что на первом этапе наземный комплекс "Курс" будет включать в себя три наземные СПОИ, центр управления системой и пользовательское оборудование (радиомаяки различных модификаций). Станции связаны с центром арендованными телефонными каналами связи. При необходимости сеть станций системы "Курс" в дальнейшем может быть расширена.

Используя эффект Доплера, оборудование СПОИ автоматически вычисляет географические координаты источника излучения сигнала и определяет его идентификатор. Полученная на выходе информация может быть передана непосредственно в пункт сбора информации пользователю, либо направляться в координационный центр системы для сортировки и доставки в диспетчерский пункт пользователя. Для приема информации с КА достаточно иметь в составе системы одну наземную станцию, которая с точки зрения оперативной обработки информации должна располагаться как можно ближе к географическому Северному полюсу.

Централизованный сбор информации со СПОИ о дислокации всех объектов и ее распределение потребителям, для которых она предназначена (поисково-спасательные службы, пароходства и др.), будет осуществляться координационным центром КЦС, который планируется разместить в г. Москве. Предусматривается также возможность получения пользователями информации и на региональной основе, т.е. непосредственно от ближайшей СПОИ, а не из центра системы. Наземные станции, расположенные в Архангельске и Находке, также оборудованы аппаратурой приема и обработки данных со спутника "Курс".

Разрабатываемое в настоящее время оборудование второго поколения станций приема и обработки информации будет также унифицированным, т.е. будет способно принимать и обрабатывать информацию с КА как в режиме "Коспас-Сарсат", так и в режиме "Курс". Планируется также, что роль координационного центра для системы "Курс", т.е. сбор информации со СПОИ и ее распределение потребителям, будет выполняться существующим Международным координационно-вычислительным центром системы "Коспас-Сарсат".

Географические координаты объекта будут определяться с вероятностью 0,99 со среднеквадратичной ошибкой 3,6 км для неподвижных объектов и порядка 20 км для объектов,двигающихся со скоростью не более 30 км/час. При наличии двух низкоорбитальных КА система "Курс" позволит не реже двух раз в сутки получать информацию о географическом местоположении объекта вне зависимости от его расположения на поверхности Земного шара. Максимальная частота съема информации, как известно, в значительной степени зависит от географической широты, на которой расположен объект, и может возрастать до 10 раз в сутки.

Такое построение космического и наземного сегментов системы "КУРС" позволит в максимальной степени использовать существующие технические средства и каналы связи и минимизировать эксплуатационные расходы.

Основные характеристики системы "Курс" приведены в табл.8.6. С ростом абонентской нагрузки в дальнейшем пропускная способность системы может быть увеличена за счет размещения аппаратуры "Курс" на дополнительных КА.

**Таблица 8.6.** Основные характеристики системы "Курс"

Характеристика		Численное значение
Количество пользователей	в одном сеансе	200
	на одном витке	2000
	общее количество	50000
Количество сеансов в сутки на одном КА на широте:	более 70°	13
	от 45° до 70° 0°	не менее 7 не менее 4
Точность определения местоположения (с вероятностью 0,9)	стационарный объект	2 км
	подвижный объект	менее 5 км
Объем данных, передаваемых в одном сеансе связи (бит)		144-240
Вероятность приема данных и определения координат в сеансе		0,99

Вследствие наличия на борту ЗУ, все принимаемые сообщения могут накапливаться и храниться в памяти КА. В результате обеспечивается возможность их доставки из любой точки Земного шара. Это свойство особенно важно для тех диспетчерских служб и подвижных объектов, которые не имеют строго выраженных географических ограничений в своем передвижении, т.е. судов мирового торгового флота, международного автотранспорта и т.д.

Для работы в рамках системы контроля за движением транспортных средств объекты пользователей должны быть оснащены радиомаяками, представляющими собой радиопередатчики, излучающие цифровые послылки в диапазоне 405 МГц с периодичностью порядка одной минуты.

Радиомаяки "Курс" работают в диапазоне частот 405,878-405,978 МГц. Максимальный объем передаваемых радиомаяком данных в одном сеансе связи - не превышает 240 бит. Вероятность приема данных и определения координат в сеансе связи - 0,99.

Посылки содержат цифровой идентификатор радиомаяка с помощью которого осуществляется опознавание подвижного объекта. Планируется производство нескольких модификаций радиомаяков, в том числе и таких, которые позволят также передавать и дополнительную информацию (от 6 до 10 байт). Такая информация может вводиться в передающее устройство вручную либо автоматически.

Состав пользовательского оборудования зависит от назначения объекта. В системе "Курс" разработаны три базовых типа абонентской аппаратуры:

- судовой радиомаяк "Маран";
- радиомаяк для подвижных объектов SRM-405;
- автономный контейнерный радиомаяк (АКРМ).

Радиомаяк "Маран" предназначен для установки на морских и речных судах. Его электропитание осуществляется от сети переменного тока 220 В. Он передает только данные о местоположении судна.

Основное назначение радиомаяка SRM-405 - это сбор данных с датчиков, контролирующего состояние объекта, и их передача по спутниковому каналу. Объем передаваемого сообщения может составлять от 48 до 144 бит.

Автономный контейнерный радиомаяк разработан с автономным источником питания с напряжением 15 В и емкостью батарей 5 ампер/часов. АКРМ может устанавливаться в неотапливаемые контейнеры, перевозимые морским, железнодорожным или автомобильным транспортом. Функционально АКРМ состоит из электронного блока, содержащего передатчик и устройство формирования сообщения, кассеты питания и штыревой антенны.

Радиомаяк излучает короткие сообщения с периодом повторения 50 сек. Длительность посылки - 440 мсек. Посылка содержит идентификационный номер, заложенный при изготовлении изделия. Вместе с сообщением на частоте системы "Курс" АКРМ излучает сигнал ближнего привода на частоте 121,5 МГц. Основное его назначение - передача аварийного сообщения. Основные технические характеристики радиомаяков "Курс" указаны в табл. 8.7.

**Таблица 8.7.** Основные технические характеристики радиомаяков "Курс"

Основные характеристики	121,5МГц	405,9 МГц
Мощность передатчика	100 мВт	5 Вт
Вид модуляции	АМ	ФМ
Параметры модуляции	Коэффициент модуляции 85%	Индекс модуляции 1 , 1 рад
Модулирующий сигнал	Импульсно-модулированный частотой 300-1600 Гц	Посылки длительностью 440 мсек
Частота и период следования	Частота повторения импульсов 2-4 Гц	Период повторения посылок 50 сек
Рабочая температура	от -40°С до +55°С	
Предельная температура	от -60°С до +85°С	

Радиомаяки предназначены для использования в местах, подверженных сильным ударам и другим неблагоприятным воздействиям. Они выдерживают:

- одиночный удар до 1000 г длительностью 0,5-1 мсек;
- многократные удары (до 200) 15 г длительностью 5-10 мсек;
- акустический шум 130 дБ в диапазоне 10 Гц-130 кГц;
- виброустойчивость 4 г в диапазоне 1 -80 Гц.

Аппаратура рассчитана на длительную автономную работу. Ресурс работы радиомаяка - 500 ч. Потребляемый ток в паузе составляет 130 мА, а в режиме излучения - 1,2 А.

## ЧАСТЬ 3

# СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

## 9. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И СТРУКТУРА ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ

Концепция персональной спутниковой связи может быть реализована в системах с космическими аппаратами на геостационарной и негеостационарных орбитах (средневысотных, низких круговых и эллиптических). Хотя большинство известных негеостационарных систем строятся по принципу "колец"<sup>1</sup>, однако каждая из них отличается своими баллистическими параметрами и имеет свою уникальную орбитальную структуру. Классификация орбитальных группировок в зависимости от параметров орбиты, структуры орбитальных плоскостей, характеристик зон обслуживания и вероятностно-временных показателей приведены на рис. 9.1.

### 9.1. ТИПЫ ОРБИТ И ИХ ПОКАЗАТЕЛИ

#### 9.1.1. ГЕОСТАЦИОНАРНАЯ ОРБИТА

Геостационарные спутники, располагаясь на высоте примерно 36000 км, находятся постоянно над заданной точкой земной поверхности. Этот эффект достигается за счет того, что КА, двигаясь со скоростью вращения Земли, как бы зависает над определенной точкой поверхности, расположенной на экваторе. Связь через геостационарный КА не имеет перерывов в обслуживании, обусловленных взаимным перемещением спутника и терминала пользователя. Система из трех спутников обеспечивает охват практически всей территории земной поверхности. Однако потенциально геостационарные КА смогут обеспечить услуги персональной связи лишь в случае, если формируемые ими на поверхности Земли зоны обслуживания будут примерно одинаковы с зонами, образуемыми низкоорбитальными спутниками.

К несомненным достоинствам систем на геостационарной орбите следует отнести возможность непрерывной связи в глобальной зоне обслуживания и практическое отсутствие сдвига частоты, обусловленного доплеровским эффектом.

Орбитальный ресурс геостационарных КА достаточно высок: срок активного существования современных КА составляет около 15 лет. Но это не является пределом, теоретически он может быть увеличен до 25 лет.

Однако эти системы имеют ряд недостатков. Спутники на геостационарных орбитах оптимально подходят для систем радио- и телевизионного вещания, где задержки в 250 мс в каждом направлении не сказываются на качественных характеристиках сигналов. Системы персональной радиотелефонной связи более чувствительны к длительным задержкам, которые приводят к снижению комфортности связи. Суммарная задержка в системах этого класса составляет около 600 мс (с учетом времени обработки и коммутации в наземных сетях), что уже затрудняет общение абонентов, даже при современной технике эхоподавления. В случае двойного скачка (ретрансляция через наземную станцию-шлюз) задержка становится уже неприемлемой более чем для 20% пользователей.

Геостационарные системы вследствие своей архитектуры имеют ограниченные возможности повторного использования выделенных полос частот и имеют меньшую спектральную

<sup>1</sup> Кольцо - это несколько спутников, движущихся на низких околоземных орбитах, находящихся в одной плоскости и образующих на поверхности Земли пояс связи. В "кольцах" космические аппараты обычно размещаются равномерно вдоль орбиты.

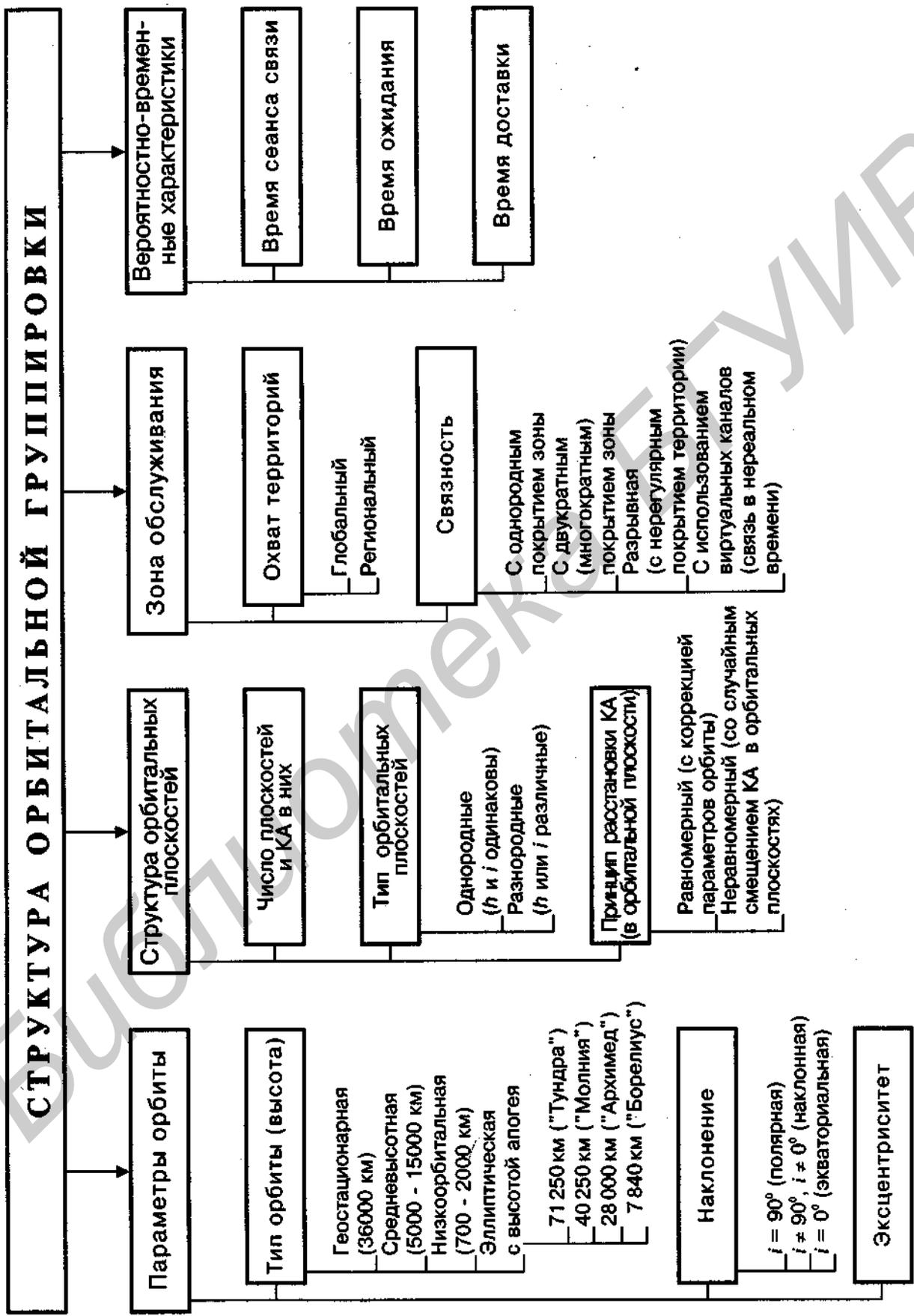


Рис. 9.1. Классификация орбитальных группировок ( $h$  - высота орбиты,  $i$  - наклонение)

эффективность. Зона обзора геостационарных КА не позволяет обеспечить связь в высокоширотных районах, а, следовательно, гарантировать истинно глобальное обслуживание.

### 9.1.2. СРЕДНЕВЫСОТНЫЕ ОРБИТЫ

Переход к использованию КА на средневысотных орбитах можно рассматривать как ответ компаний<sup>2</sup>, традиционно разрабатывающих геостационарные КА, на вызов со стороны низкоорбитальных систем.

Системы со средневысотными КА обеспечивают более высокие характеристики обслуживания абонентов, чем геостационарные, за счет увеличения рабочих углов места и числа КА, находящихся одновременно в поле зрения наземного абонента. Радиовидимость двух спутников в системах Odyssey или ICO обеспечивается в 95% суточного времени. При этом, хотя бы один из КА виден под углом более 30°. Благодаря этому может быть снижен дополнительный энергетический запас в радиолинии, необходимый для компенсации потерь на распространение в ближней зоне (деревья, здания и другие преграды).

Одним из ограничивающих условий, влияющих на выбор структуры негеостационарной орбитальной группировки (ОГ), является наличие пространственных поясов заряженных частиц, захваченных магнитным полем Земли. Схематическое расположение радиационных поясов Ван Аллена приведено на рис. 9.2. Первый устойчивый пояс радиации высокой интенсивности (10000 имп/сек) простирается на высоте 2000-9000 км, до 30° в обе стороны от экватора. Второй пояс радиации такой же высокой интенсивности расположен на высотах от 13000 до 19000 км, до 50° в обе стороны от экватора.

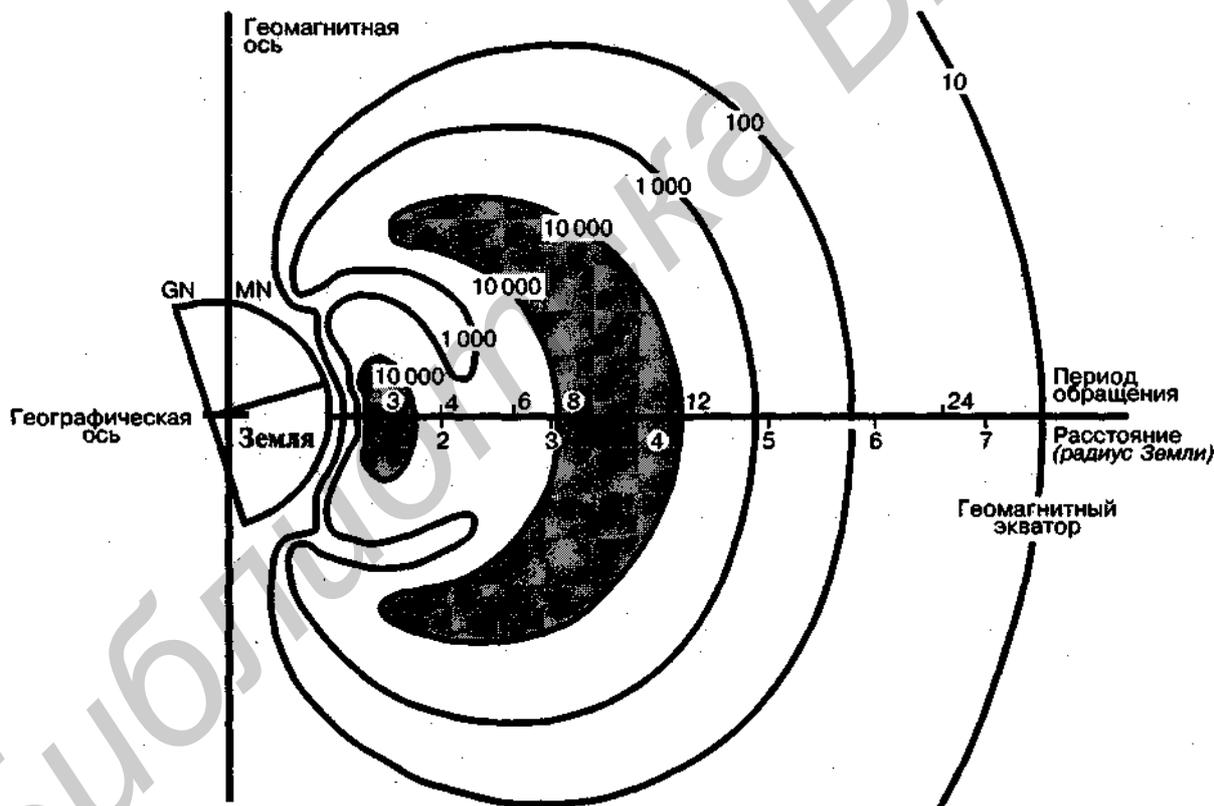


Рис. 9.2. Уровни радиации в зонах Ван Аллена (GN – географический север, MN – магнитный север)

<sup>2</sup> Первооткрывателем средневысотных орбит по праву считается компания TRW Inc. (США), которая стала одним из инициаторов проекта системы Odyssey.

Средневысотные спутники<sup>3</sup> занимают промежуточное место на орбите. Их трасса проходит между первым и вторым поясами Ван Аллена, т.е. в диапазоне высот от 5000 до 15000 км. Они создают меньшую зону обслуживания, чем геостационарные КА. Для глобального охвата с однократным покрытием наиболее населенных районов Земного шара и судходных акваторий необходимо 7-12 спутников.

Полная задержка распространения сигналов при связи через средневысотные спутники составляет не более 130 мс, что позволяет использовать их для персональной радиотелефонной связи.

Средневысотные спутники выигрывают у систем с более высокими орбитами по энергетическим показателям, но проигрывают им по продолжительности времени пребывания КА в зоне радиовидимости ЗС (1,5-2 ч).

Что же касается орбитального ресурса КА, то он лишь незначительно меньше, чем у геостационарных КА. Период обращения вокруг Земли для средневысотных круговых орбит составляет около 6 часов, из которых лишь несколько минут КА находится в области тени Земли. Это значительно облегчает работу бортовой системы электропитания и, в конечном итоге, позволяет обеспечить срок службы КА 12-15 лет.

Системы со средневысотными КА обеспечивают более высокие характеристики обслуживания абонентов за счет увеличения рабочих углов места и числа КА, одновременно находящихся в зоне радиовидимости, а также приемлемую задержку при проведении сеансов связи (до 130 мс).

Что же касается структуры систем на средневысотных орбитах (Odyssey, ICO, Spaceway), то здесь различия очень незначительны. Во всех системах орбитальная группировка создается примерно на одной и той же высоте (10352-10355 км) со сходными параметрами орбит: угол наклона изменяется в пределах от 45° до 55°.

### 9.1.3. НИЗКИЕ КРУГОВЫЕ ОРБИТЫ

В зависимости от величины наклона плоскости орбиты  $i$  относительно плоскости экватора различают низкие экваториальные ( $i = 0^\circ$ ), полярные ( $i = 90^\circ$ ) и наклонные орбиты. Системы, использующие спутники на низких наклонных или полярных орбитах, применяются уже в течение 30 лет для научно-исследовательских целей, дистанционного зондирования, навигации, метеорологических наблюдений, фотографирования поверхности Земли и других коммерческих применений. Однако только в последние 5-7 лет началось интенсивное освоение низких наклонных и полярных орбит высотой 700-1500 км и экваториальных высотой 2000 км для организации мобильной и персональной связи.

Низкие орбиты обладают значительными преимуществами по сравнению с другими в части энергетических характеристик, но проигрывают им в продолжительности сеансов связи и времени активного существования космического аппарата. Если период обращения КА составляет 100 мин, то в среднем 30% времени он находится на теневой стороне Земли. Поэтому аккумуляторные батареи на борту низкоорбитальных КА испытывают приблизительно 5000 циклов зарядки/разрядки в год. Вследствие этого срок их службы, как правило, не превышает 5-8 лет.

Выбор диапазона высот 500-2000 км для низкоорбитальных систем также не случаен. С одной стороны, на орбитах высотой менее 500 км плотность атмосферы относительно высока, что вызывает колебания эксцентриситета и деградацию орбиты (постепенное снижение высоты апогея). Кроме того, уменьшение высоты орбиты ниже 500 км приводит к увеличению частоты маневров для сохранения заданной орбиты, а следовательно, повышенному расходу топлива.

Длительная работа электронной бортовой аппаратуры на орбитах выше 1500 км, где располагается первый радиационный пояс Ван Аллена, практически невозможна, если не использовать специальных методов защиты от радиационного излучения, что ведет к существенному усложнению бортовой аппаратуры и увеличению массы КА.

Со снижением высоты орбиты уменьшается мгновенная зона обслуживания, а, следовательно, требуется значительное большее количество спутников для глобального охвата. Если низкоорбитальная система должна обеспечить глобальную связь с непрерывным обслуживанием, то количество КА в орбитальной группировке должно быть не менее 48. Период обращения спутника на этих орбитах составляет от 90 мин до 2 часов, максимальное время пре-

<sup>3</sup> В данной работе для обозначения средневысотных орбит используется общепринятый в мировой практике термин МЕО (Medium Earth Orbit).

бывания КА в зоне радиовидимости не превышает 10-15 мин. Сравнительные характеристики систем, использующих орбиты различного типа (GEO, MEO и LEO), приведены в табл. 9.1.

**Таблица 9.1.** Сравнительные характеристики систем, использующих разные типы орбит

Тип орбиты	GEO	MEO	LEO
Высота орбиты, км	36000	10355	700-1500
Количество КА в орбитальной группировке при непрерывном глобальном охвате	3	8-12	48-66
Площадь зоны покрытия для одного КА, в % относительно поверхности Земли (угол места 5°)	34	25-28	3-7
Время пребывания КА в зоне радиовидимости	Непрерывное	1,5-2 ч	10-15 мин
Задержка при передаче речи: региональная связь глобальная связь	не менее 500 мс	80-130 мс 250-400 мс	20-70 мс 170-300 мс
Время переключения (мин): с одного спутника на другой из одного луча в другой	Не требуется 10-15	50-60 5-6	8-10 1,5-2,0
Максимальный относительный доплеровский сдвиг	$\pm 10^{-8}$	$\pm 6 \cdot 10^{-6}$	$\pm (1,8-2,4) \cdot 10^{-5}$
Угол места на краю зоны обслуживания (град)	5	25-30	10-15

#### 9.1.4. ЭЛЛИПТИЧЕСКИЕ ОРБИТЫ

Основными параметрами, характеризующими тип эллиптической орбиты, являются период обращения спутника вокруг Земли и эксцентриситет (показатель эллиптичности орбиты). В настоящее время применяются несколько типов эллиптических орбит с большим эксцентриситетом: типа Borealis (период обращения 3 ч), типа Archimedes (8 ч), типа "Молния" (12 ч), типа "Лопус" (14,4 ч), типа "Тундра" (24 ч).

За счет высокого апогея спутник на эллиптических орбитах большую часть времени находится в зоне видимости определенного региона, обеспечивая связь в течение длительного времени. Так, спутник, выведенный на орбиту типа "Молния" (апогей 40000 км, перигей 460 км), обеспечивает сеансы связи продолжительностью 8-10 час, а система из трех таких спутников - глобальную круглосуточную связь.

Эллиптические орбиты с более низким апогеем, такие как Borealis (апогей 7840 км, перигей 520 км) или Archimedes (апогей 26737 км, перигей 1000 км) предназначены для обеспечения региональной связи. Системы с более низким апогеем выигрывают в энергетических характеристиках у высокоэллиптических орбит (ВЭО), проигрывая им в продолжительности сеансов. Для обеспечения непрерывной круглосуточной связи с использованием синхронно-солнечных орбит типа Borealis потребуется не менее 8 КА, что позволяет обслуживать максимальный трафик при углах радиовидимости КА не менее 25°.

При выборе эллиптических орбит на величину наклона плоскости орбиты к экватору накладываются существенные ограничения. Они вызваны тем, что из-за воздействия неоднородностей гравитационного поля Земли большая ось эллиптической орбиты испытывает вращательный момент, что приводит к колебаниям широты подспутниковой точки в апогее. Постоянство эллиптических орбит обеспечивается только при двух значениях наклона: 63,4° и 116,6°. Другой фактор, влияющий на выбор параметров эллиптических орбит, связан с необходимостью учитывать опасные воздействия радиационных поясов Ван Аллена, которые неизбежно пересекает КА во время своего движения по орбите.

## 9.2. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НЕГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ

### 9.2.1. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ И ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Структура орбитальной группировки определяется: типом орбиты (LEO, MEO, GEO, эллиптическая), числом орбитальных плоскостей и КА в каждой из них, высотой и наклоном орбит. Взаимосвязь между этими и другими показателями ОГ определяется на основе геометрических соотношений, характеризующих положение КА относительно ЗС, расположенной на краю зоны обслуживания. Данная ситуация иллюстрируется на рис. 9.3.

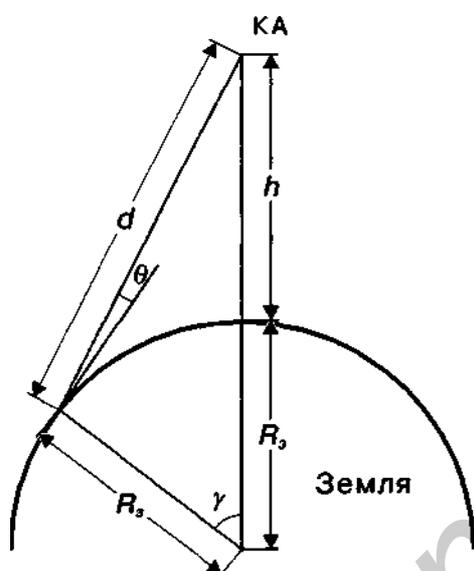


Рис. 9.3. Основные геометрические характеристики для одного КА ( $h$  - высота орбиты,  $R_3$  - радиус Земли,  $\theta$  - угол места ЗС на границе зоны обслуживания,  $d$  - наклонная дальность,  $\gamma$  - угол, отсчитывается от центра Земли между направлениями на КА и границу зоны обслуживания)

Расстояние до КА в процессе полета динамически изменяется во времени, так как он проходит через зону радиовидимости ЗС под различными углами места. Наклонная дальность  $d$  зависит от угла  $\gamma$ , который отсчитывается от центра Земли между направлениями на КА и границу зоны обслуживания (см. рис. 9.3). Угол  $\gamma$  определяется в виде

$$\gamma = \arccos\left(\frac{\cos\theta}{1+h/R_3}\right) - \theta, \quad (9.1)$$

где  $\theta$  - угол места ЗС на границе зоны обслуживания,  $h$  - высота орбиты,  $R_3$  - радиус Земли, равный 6371 км<sup>4</sup>.

В общем случае наклонная дальность изменяется от  $d_{\text{МОК}}$  до  $d_{\text{МИН}}$  по достаточно сложному закону, который зависит от взаимного расположения ЗС и КА на каждом витке. График зависимости наклонной дальности от угла места  $\theta$  приведен на рис. 9.4. Значения наклонной дальности для двух крайних случаев приведены ниже.

Максимальная наклонная дальность	$d_{\text{МОК}} = \sqrt{h(2R_3 + h)}$	Угол радиовидимости КА равен нулю
Минимальная наклонная дальность	$d_{\text{МИН}} = h$	КА находится в зените

<sup>4</sup> Земля по форме близка к эллипсоиду вращения с экваториальным радиусом 6378 км и полярным - 6356 км.

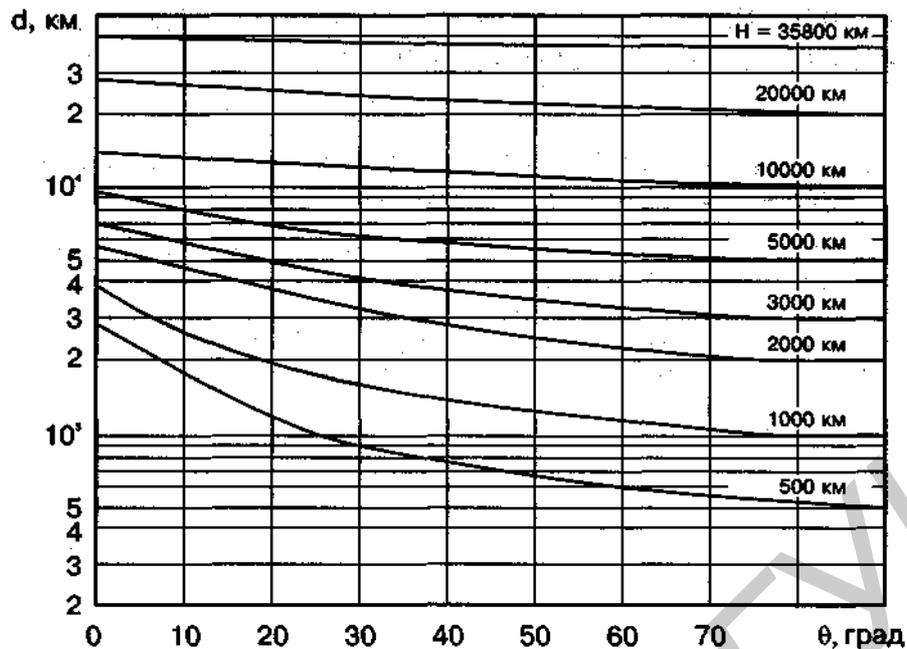


Рис. 9.4. Зависимость наклонной дальности от угла места

В случае использования круговой экваториальной орбиты (наклонение  $0^\circ$ ) расстояние от центра Земли до спутника определяется в виде [40]:

$$r = \frac{R_3 \cos \theta}{\cos(\gamma + \theta)} \quad (9.2)$$

Период обращения КА по круговой негеостационарной орбите вычисляется по формуле:

$$T = \frac{2\pi(R_3 + h)}{V} \quad (9.3)$$

Типовые значения периода обращения  $T$  для различных круговых орбит приведены ниже.

Высота $h$ , км	800	1500	2000	6000	10300	20000	36000
Период обращения $T$ , мин	100	114	127	240	360	720	1400

Период обращения КА при дви  $\frac{1}{2}(h_a + h_n)$  по эллиптической орбите вычисляется по формуле (9.3) с заменой  $h$  на  $\frac{1}{2}(h_a + h_n)$ , где  $h_a$  и  $h_n$  - высоты апогея и перигея.

Период обращения КА по круговой экваториальной орбите имеет вид [40]:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 (h+R_3)^3}{\mu}} \quad (9.4)$$

где  $\mu$  - постоянная Кеплера.

#### Число КА и размеры зоны прямой видимости

В системах глобальной радиотелефонной связи основным критерием эффективности является обеспечение связности в глобальном масштабе. Под *связностью* понимается возможность соединения абонентов, расположенных в одной или разных зонах обслуживания.

Связность обеспечивается при условии наличия между абонентами непрерывного или квазинепрерывного канала связи. Непрерывная связность обеспечивается, если в зоне радиовидимости обоих абонентов находится, как минимум, один КА.

Очевидно, чем выше высота орбиты, тем меньше спутников требуется для глобального покрытия земной поверхности. Взаимосвязь между числом КА, высотой орбиты и углом места ЗС (если не производить оптимизацию ее структуры применительно к разным географическим регионам), приближенно определяется [39] из соотношения:

$$N = pq = \frac{4\sqrt{3}}{9} \left( \frac{\pi}{\gamma} \right)^2, \quad (9.5)$$

где  $p = \frac{2\pi}{3\gamma}$  - число орбитальных плоскостей,  $q \approx \frac{2\pi}{\sqrt{3}\gamma}$  - количество КА в одной плоскости.

Зависимость числа КА в составе орбитальной группировки от высоты орбиты иллюстрируется на рис. 9.5. Из представленного графика видно, что для однократного покрытия поверхности Земли на орбитах высотой 700-1500 км необходимо, как минимум, от 40 до 70 КА при однократном покрытии<sup>5</sup> поверхности Земли.

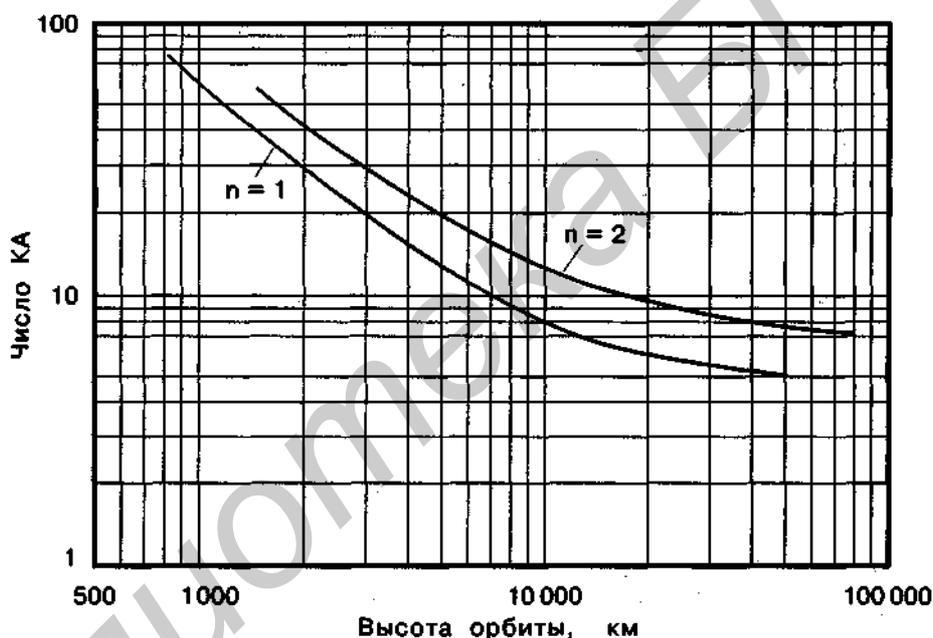


Рис. 9.5. Зависимость числа КА в составе орбитальной группировки от высоты орбиты (n - кратность покрытия зоны обслуживания)

Многokратная связность обеспечивается в случае, если в зоне радиовидимости абонентов может находиться одновременно несколько КА в течение заданного времени. Вероятность наличия одновременно в зоне радиовидимости n спутников определяется из выражения:

$$p = 1 - \left( 1 - \frac{\Delta T}{T} \right)^n, \quad (9.6)$$

где  $\Delta T/T$  - доля периода, в течение которой КА в среднем находится в зоне радиовидимости ЗС.

В частности, покрытие поверхности считается двукратным, если в зоне находятся, по крайней мере, два КА в течение 90-95% времени. На средних высотах (Odyssey, ICO) это условие выполняется при 10-12 КА на орбите.

<sup>5</sup> Под кратностью покрытия понимается нахождение нескольких спутников одновременно в зоне радиовидимости абонента.

Эквивалентная площадь поверхности Земли для одного КА, ограниченная зоной прямой видимости между КА и ЗС, определяется из соотношения:

$$S = 2\pi R_3(1 - \omega\gamma). \quad (9.7)$$

На практике представляет интерес относительная величина площади зоны покрытия для одного КА:

$$\frac{S}{S_3} = \frac{1 - \cos\gamma}{2}, \quad (9.8)$$

где  $S_3$  - общая площадь поверхности Земли.

График зависимости относительной площади поверхности Земли (выраженной в %) для одного КА приведен на рис. 9.6.

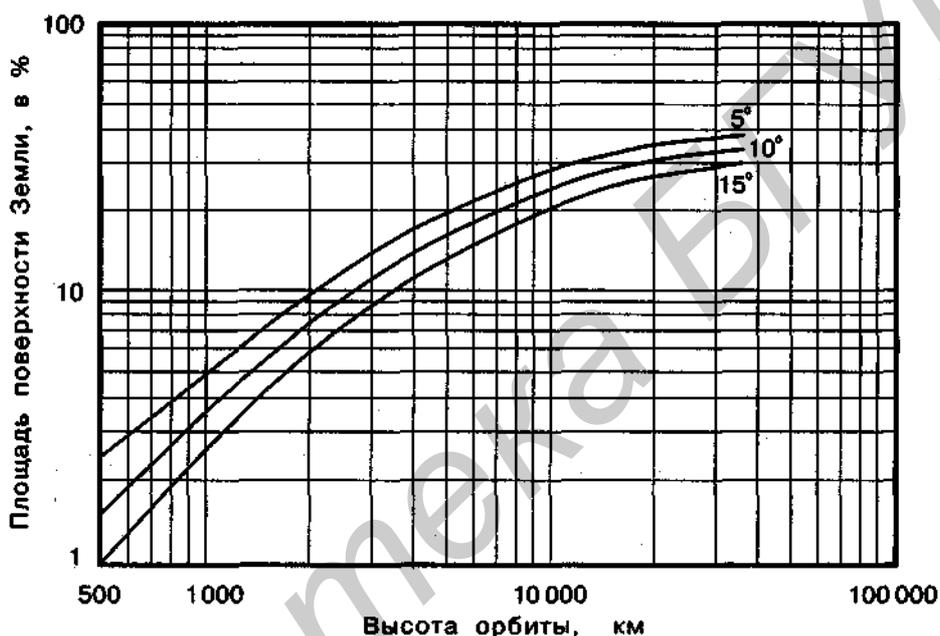


Рис. 9.6. Площадь зоны покрытия поверхности Земли для одного КА в зависимости от высоты орбиты при различных углах места  $\gamma = 5^\circ, 10^\circ$  и  $15^\circ$

### Вероятностно-временные характеристики

В системах с КА на негеостационарной орбите, в которых спутники смещаются во времени и пространстве случайным образом, основными параметрами, определяющими качество обслуживания, являются: средняя продолжительность сеанса связи, среднее время ожидания (или продолжительность перерывов в обслуживании) и время доставки.

Время пребывания КА в зоне радиовидимости ЗС зависит от угла места ЗС и параметров орбит. Чем выше орбита, тем больше время пребывания КА в пределах прямой видимости ЗС. Расчет вероятностных показателей обычно проводится путем математического моделирования, что обусловлено сложностью получения соответствующих аналитических выражений. Они могут быть даны лишь для отдельных частных случаев. Так, среднее время пребывания КА в зоне прямой видимости ЗС для экваториальных орбит определяется из следующего условия:

$$\Delta T = \frac{\gamma}{180} \times \frac{1440T}{1440 - T}.$$

Для одиночного КА на низких экваториальных орбитах период обращения  $T$  (см. выражение 9.4) изменяется в пределах от 90 до 127 мин. Соответственно, максимальная продолжительность сеанса связи на экваторе составляет от 9 до 31 мин при изменении высоты от 270 км до 2000 км. Что же касается полярных орбит, то максимальная продолжительность се-

ансов связи на широтах 50-60° составляет от 8 до 15 мин при изменении высоты орбиты от 800 до 1500 км.

В качестве примера в табл. 9.2 приведены данные по продолжительности сеансов связи и перерывов в обслуживании для системы Orbcomm с орбитальной группировкой из 28 КА (см. раздел 7.2).

**Таблица 9.2.** Продолжительность сеансов связи и перерывов в обслуживании

Широта, град	45°	50°	55°	60°	65°
Количество сеансов в сутки	1143	993	726	392	129
Средняя длина сеанса, мин	10,8	9,4	7,9	5,9	8,1
Суммарное время радиовидимости, в %	79,4	69	50,4	27,2	9
Количество перерывов в сутки	297	447	714	1048	1311
Продолжительность перерывов, мин	2,8	4,2	7,8	15,9	81,9
Суммарное время перерывов, в %	20,6	31	49,6	72,8	91
Глобальная доступность, в %	81	70	53	32	17

Как видно из табл. 9.2, с увеличением широты местоположения ЗС меняется продолжительность сеансов связи и перерывов между ними. Так, до широты 50° средняя продолжительность сеанса связи составляет порядка 10 мин, а среднее время ожидания - 3-4 мин. С увеличением широты появляются значительные перерывы между сеансами связи. Наиболее длительное ожидание сеансов связи наблюдается на широте 65° (81,9 мин). Это вызвано тем, что ЗС на этих широтах не попадает в зону действия КА с наклоном 45°.

Расчет среднего времени ожидания обычно производится путем моделирования и усреднения результатов по всем КА в течение суток. Время ожидания зависит от общего количества КА в системе и других факторов. Наряду с временем ожидания орбитальная группировка может характеризоваться также временем перерывов связи (см. табл. 9.2).

Что же касается задержки в обслуживании, то в отличие от сетей радиотелефонной связи, где задержка обычно не превышает 300 мс, в сетях пакетной передачи данных допускаются более длительные задержки. Их величину принято оценивать как время доставки, т.е. время, за которое обеспечивается доведение сообщения до конечного пользователя. Время доставки зависит от следующих факторов:

- времени ожидания сеанса связи;
- времени передачи сообщения на спутник (время, затраченное на процедуру вхождения в связь, передачу данных не с первой попытки и т.п.);
- времени задержки в бортовом ретрансляторе (обработка и перенос данных в режиме "почтового ящика");
- времени передачи сообщения со спутника на Землю;
- времени задержки в наземных соединительных линиях.

В случае, когда оба абонента находятся в общей зоне радиовидимости КА задержка невелика и определяется сетевыми протоколами и задержкой в коммутационном оборудовании. При переносе сообщений на борту в глобальной зоне время доставки зависит от взаимного расположения абонентов и может составлять несколько часов. Вероятность доведения информации до пользователя при глобальном обслуживании для системы Orbcomm приведена в табл. 9.2.

### 9.2.2. ДОПЛЕРОВСКИЙ СДВИГ ЧАСТОТЫ

Положение спутника, находящегося на негеостационарной орбите, динамично изменяется относительно ЗС, что приводит к возникновению доплеровского сдвига. В результате весь спектр принимаемых сигналов сдвигается относительно передаваемых сигналов на величину  $\Delta f$ . Учет влияния эффекта Доплера сводится к определению закона изменения  $\Delta f$ , расчету максимального доплеровского сдвига  $\Delta f_{\max}$  и скорости его изменения  $V_{\text{Доп}}$ .

Величина максимального доплеровского сдвига зависит от угловой скорости движения КА по орбите и определяется из выражения:

$$\Delta f_{D_{\max}} \leq f_0 \frac{R_3 \Omega}{c}, \quad (9.10)$$

где:  $f_0$  - частота передаваемых сигналов;  
 $\Omega$  - угловая скорость обращения КА вокруг Земли;  
 $c$  - скорость света.

График зависимости угловой скорости движения КА от высоты орбиты приведен на рис. 9.7.

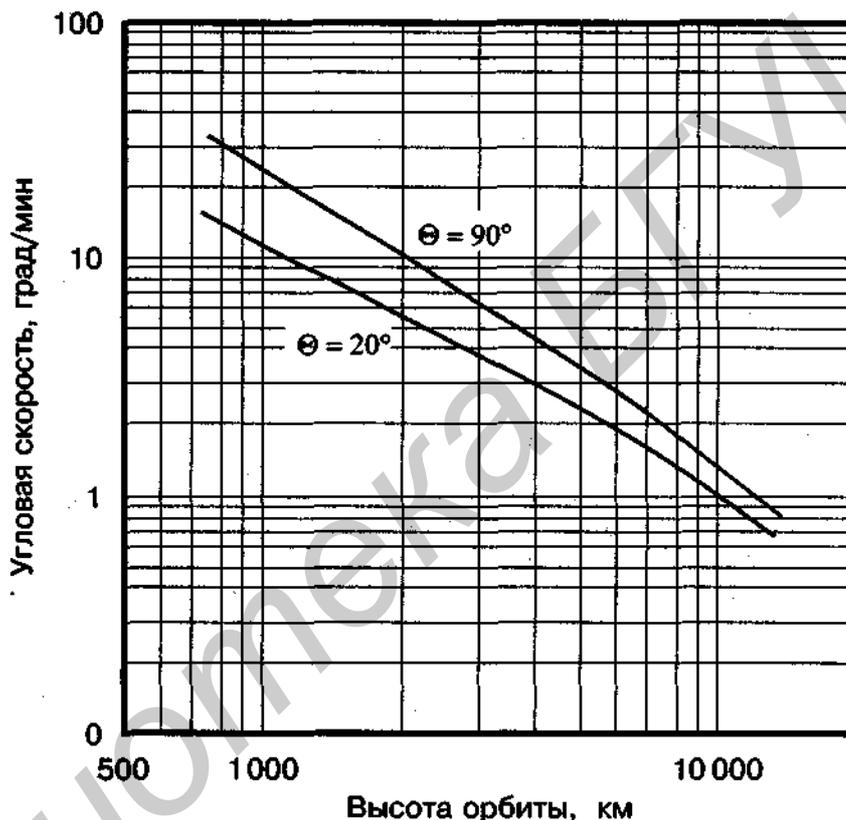


Рис. 9.7. Скорость движения КА в зависимости от высоты орбиты (© - угол места)

Подставляя из графика значения угловой скорости в выражение (9.10) можно точно определить значение  $\Delta f_{D_{\max}}$ . Однако для круговых орбит максимальный относительный доплеровский сдвиг частоты можно приблизительно определить из более простого соотношения [36]:

$$\left( \frac{\Delta f}{f_0} \right)_{\max} \approx \pm 1,5 \cdot 10^{-6} N, \quad (9.11)$$

где  $N$  - число оборотов КА вокруг Земли за сутки ( $N > 1$ ).

При движении КА строго по геостационарной орбите влияние эффекта Доплера теоретически отсутствует. Для реальных КА величина относительного доплеровского сдвига не превышает  $\pm 10^{-8}$ . С понижением высоты орбиты частотный сдвиг возрастает и на высотах 800-1500 км он составляет  $\pm (1,8-2,4) \cdot 10^{-5}$ .

Для иллюстрации сказанного на рис. 9.8 приведена зависимость доплеровской частоты  $f_D$  от времени для орбиты высотой 800 км ( $f = 430$  МГц). Доплеровский сдвиг максимален,

если КА во время своего движения по орбите проходит через точку с углом места  $90^\circ$ . В рассматриваемом случае максимальный сдвиг частоты равен  $\pm 9,5$  кГц, а скорость изменения доплеровской частоты -  $90$  Гц/с.

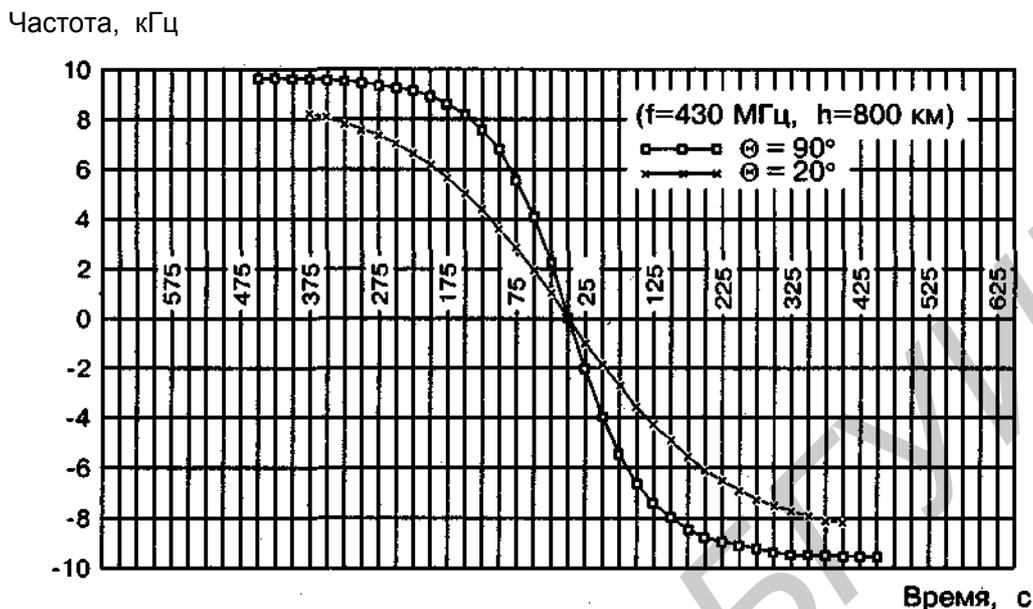


Рис. 9.8. Зависимость доплеровского сдвига от времени

Следует отметить, что доплеровский сдвиг в линиях связи "Земля-спутник" и "спутник-Земля" изменяется независимо, т.е. его частота может принимать не только различные значения, но и иметь противоположный знак.

### 9.3. КОРРЕКТИРУЕМЫЕ И НЕКОРРЕКТИРУЕМЫЕ ОРБИТАЛЬНЫЕ ГРУППИРОВКИ

Баллистические параметры многоспутниковой системы существенно зависят от принципов построения ее орбитальной группировки. В настоящее время используются два основных типа ОГ: некорректируемые и корректируемые.

**Некорректируемая орбитальная группировка.** Для нее баллистические параметры орбит выбираются таким образом, чтобы заданное время ожидания обеспечивалось с необходимой вероятностью без коррекции элементов орбиты. Увеличение числа КА при некорректируемой ОГ дает незначительный эффект по сокращению времени ожидания сеанса связи.

К числу основных достоинств данного типа ОГ относятся: малая масса КА, низкое энергопотребление, повышенная надежность, более низкие требования к точности ориентации. Все эти факторы играют решающую роль при создании малых и недорогих КА. Некорректируемая ОГ используется преимущественно в системах передачи коротких пакетов ("Гонец-Д1", Orbcomm, Starsys и др.).

**Корректируемая орбитальная группировка.** В случае необходимости глобального и равномерного покрытия земной поверхности должна использоваться ОГ, динамическая устойчивость которой поддерживается с помощью элементов коррекции орбиты, т.е. двигательной установки. Для обеспечения минимального времени ожидания сеанса связи плоскости орбит должны быть разнесены по долготе восходящего узла, а спутники равномерно распределены вдоль орбиты в каждой плоскости.

Основное преимущество корректируемой ОГ - обеспечение заданных временных характеристик при минимальном количестве спутников в системе.

Для повышения эксплуатационных характеристик многие проекты систем радиотелефонной связи используют корректируемую ОГ с большим числом орбитальных плоскостей (Iridium, Globalstar, ICO, Ellipso, Odyssey, Celestri, Skybrige и Teledesic).

В глобальных сетях очень важна точность поддержания взаимного размещения КА на 1 орбите в течение всего срока активного существования, т.к. произвольные смещения КА друг относительно друга приводят к появлению необслуживаемых участков в зонах покрытия. |

Существенное влияние на орбитальную структуру оказывает неточность фазировки орбитальных плоскостей. Для обеспечения максимального охвата земной поверхности необходимо, чтобы зоны перекрытия соседних плоскостей были минимальны даже в полярных областях. Это достигается, если шаг фазировки спутников ( $\Delta\varphi$ ) в соседних плоскостях равен: |

$$\Delta\varphi = [360/N + 90 - i],$$

где  $N$  - количество КА в орбитальной

группировке,  $i$  - наклонение орбиты.

### Радиоконтроль орбиты

Для определения параметров движения в начальный период полета и поддержания КА на орбите с заданной точностью необходим радиоконтроль орбиты. На первых этапах развертывания системы он осуществляется с помощью сети наземных контрольно-измерительных станций, обеспечивающих слежение за КА. Существующие баллистические модели движения позволяют сделать достаточно точный прогноз на 1-3 месяца. Для повышения точности прогноза необходимо учитывать возмущения от внешних воздействий, определяющих деградацию орбиты. |

Во всех системах, использующих корректируемую ОГ, на борту КА установлена навигационная аппаратура для определения параметров орбиты по сигналам спутников GPS/"Глонасс". Это позволяет контролировать параметры ОГ автономно, т.е. пользоваться услугами наземных станций слежения за КА лишь в экстремальных ситуациях. Интенсивность коррекции зависит от точности, с которой требуется удержание КА на орбите.

Наиболее жесткие требования к точности контроля параметров орбит в системах с межспутниковыми линиями (Iridium, Celestri, Teledesic), где смещение спутников может привести к нарушению правильности функционирования всей системы.

Для обеспечения равномерного распределения сеансов связи необходимо удерживать КА в расчетной точке с максимальной возможной точностью (порядка  $\pm 0,2^\circ$ ). Достоверных сведений о том, как часто потребуется производить коррекцию орбиты, пока нет. Однако, как показывают расчеты, коррекция потребуется не чаще 1 раза в 0,5-1,5 месяца, что реально означает следующее: за срок активного существования КА в 5-7 лет двигатели будут включаться около 100 раз.

## 9.4. ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Для работы земных станций, расположенных в произвольных точках Земли при больших углах места, необходимо использование наклонных, а не экваториальных орбит. Это важно, так как угол места оказывает существенное влияние на качество соединения и доступность системы. Главная причина такого влияния объясняется тем, что при малом рабочем угле места сигналы от спутника к Земле проходят через большой слой земной атмосферы, который влияет на затухание сигнала. Кроме того, большую роль играют всевозможные препятствия на Земле (строения, горы, растительность), влияние которых с увеличением рабочего угла места уменьшаются. Хорошее качество связи можно ожидать при минимальных углах места от  $15^\circ$  до  $20^\circ$ , а еще лучшее - при углах от  $40^\circ$ . При угле  $5^\circ$  и менее обеспечить устойчивую связь почти невозможно.

Сравнительные характеристики различных систем с КА на негеостационарных орбитах приведены в табл. 9.3.

Глобальное обслуживание можно обеспечить, если осуществить вывод КА на полярную орбиту с наклоном  $90^\circ$ . Чтобы осуществить передачу коротких пакетов данных достаточно одного спутника с электронным "почтовым ящиком" на борту. С каждым витком он будет появляться над новым районом Земного шара, что обеспечит глобальное обслуживание. Между тем, использование нескольких полярных орбитальных плоскостей сопряжено с опасностью столкновения спутников. Поэтому на практике используются околополярные орбиты с наклоном  $80-86$  градусов.

Немаловажным фактором является то, при старте ракеты-носителя со стационарной пусковой площадки (космодрома) возможен вывод на орбиты только с вполне определенными фиксированными наклонениями. Это связано с тем, что для падения отработавших ступеней отведены ограниченные поля отчуждения. Для вывода КА на орбиту с произвольным наклоном служат мобильные пусковые комплексы, такие как Pegasus (США) и др.

**Таблица 9.3.** Сравнительные характеристики орбитальных группировок различных систем

Наименование системы	Количество КА (основные + резервные)	Высота, км	Наклонение, град.	Зона обслуживания (угол места 0)
Celestri	63 + 7	1400	48	Глобальная
ECCO	22 + 2 35 + 7	2000	0 62	Региональная
Ellipso	8 + 2 6 + 1	520/7840 8000	116,5 0	Региональная
Faisat	24 + 8 2 + 2	1000	66 83	Глобальная
Gemnet	32 6	1000	50 99,5	Глобальная
Globalstar	48 + 8	1414	52	0°...72° (0 = 10°)
ICO	10 + 2	10355	45	Глобальная
Iridium	66 + 6	780	86	Глобальная
Leo One	48	950	50	0 ...65° (0 = 5°) 0 ...60° (0 = 5°)
Orbcomm	24 + 8 4	825	45 70	0°...60° (0 = 5°) Глобальная
Odyssey	12 + 3	10354	50	Региональная
Skybridge	64	1457	55	Глобальная
Starsys	24	1000	53	0...65' (0 = 5°)
Teledesic	288 + 36	1400	98,2	Глобальная
"Гонец"	12/48	1500	82	Глобальная
"Сигнал"	48	1500	74	Глобальная

Обеспечить большие углы видимости КА в любой точке поверхности Земли можно только при увеличении числа спутников, т.е. за счет многократного покрытия обслуживаемой территории. Количество спутников в системах, которые размещены на полярных орбитах, должно быть выбрано, исходя из необходимости обеспечения связи в экваториальных и тропических районах, что приводит к существенному переполнению их емкости на полюсах вследствие пересечения в этом месте траекторий орбит. Это приводит, с одной стороны, к ненужным расходам, а с другой стороны - к возможным помехам.

Для предотвращения столкновения между КА на полюсах между орбитальными плоскостями необходимо вводить угловой разнос, образующий минимальную дистанцию "промаха". Кроме того, при перелете полюсов уменьшается число лучей.

Что касается равномерного покрытия Земли, то спутниковые системы, базирующиеся на КА с наклонными орбитами, являются наиболее выгодными. Однако районы на более высоких широтах обслуживаются с относительно низкими рабочими углами видимости КА.

### **Критерии оптимизации и сравнение орбитальных структур**

Как показывает практика, невозможно построить орбитальную структуру, которая удовлетворяла бы требованиям всех критериев одновременно. Для оптимизации используют разные критерии: максимизация времени радиовидимости КА в заданном географическом регионе, обеспечение многократного покрытия в определенных регионах, минимизация времени ожидания одиночного КА. Последний параметр особенно важен в системах передачи коротких пакетов. Немаловажную роль играет минимизация затрат на создание орбитальной группировки с учетом веса КА, высоты орбиты и средств вывода КА на орбиту.

Задача сравнения систем является многокритериальной и достаточно сложной. В данной работе воспользуемся упрощенной методикой, изложенной в [31], где приведены кривые зависимости суммарного времени пребывания КА в зоне видимости ЗС в зависимости от высоты орбиты (рис. 9.9 и 9.10). Кривые, приведенные на графиках, получены при нулевых углах работы ЗС путем усреднения по всем виткам за сутки для различных наклонений орбиты от

$i=0^\circ$  до  $i=90^\circ$  и четырех значений широты:  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $90^\circ$ . Вычисления произведены для сферической модели Земли без учета внешних возмущений. На графиках пунктиром показаны параметры орбит сравниваемых систем (высота и наклонение). 1

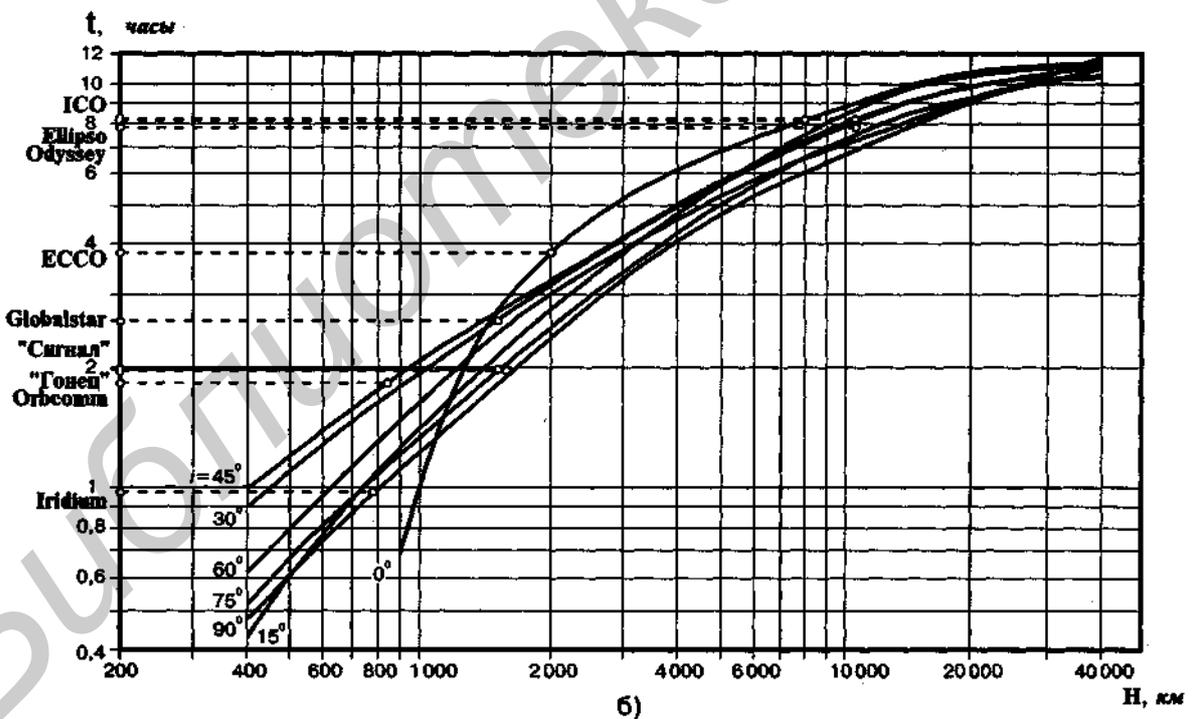
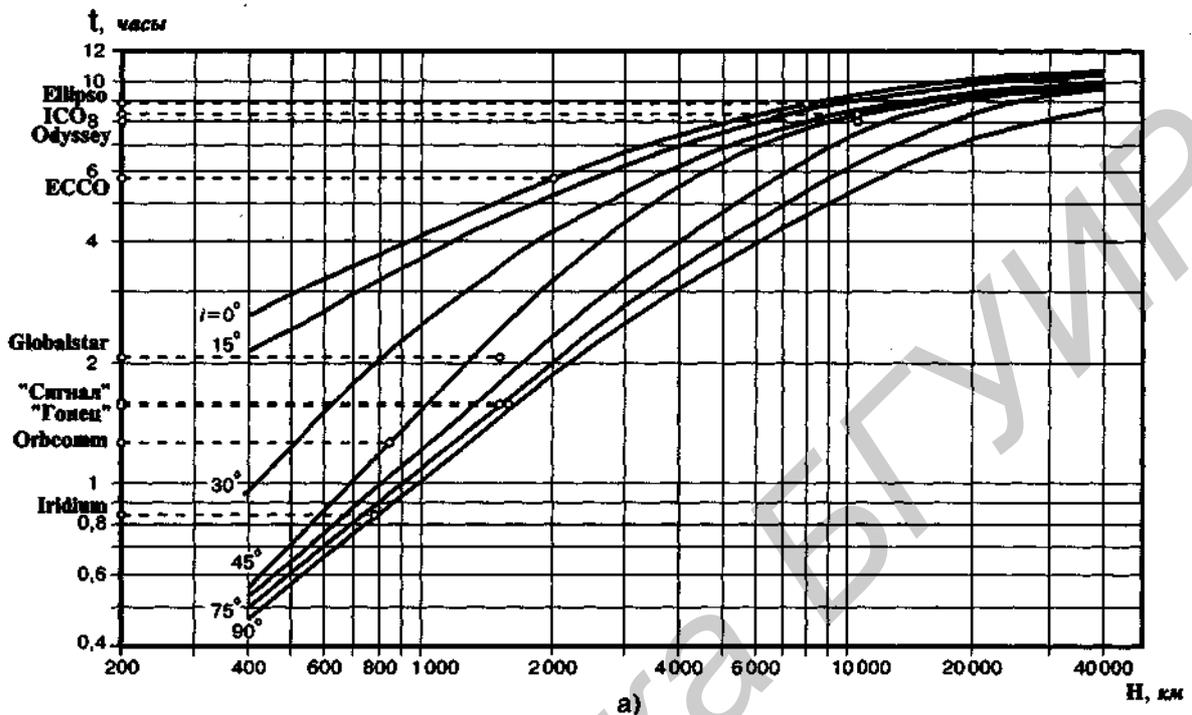
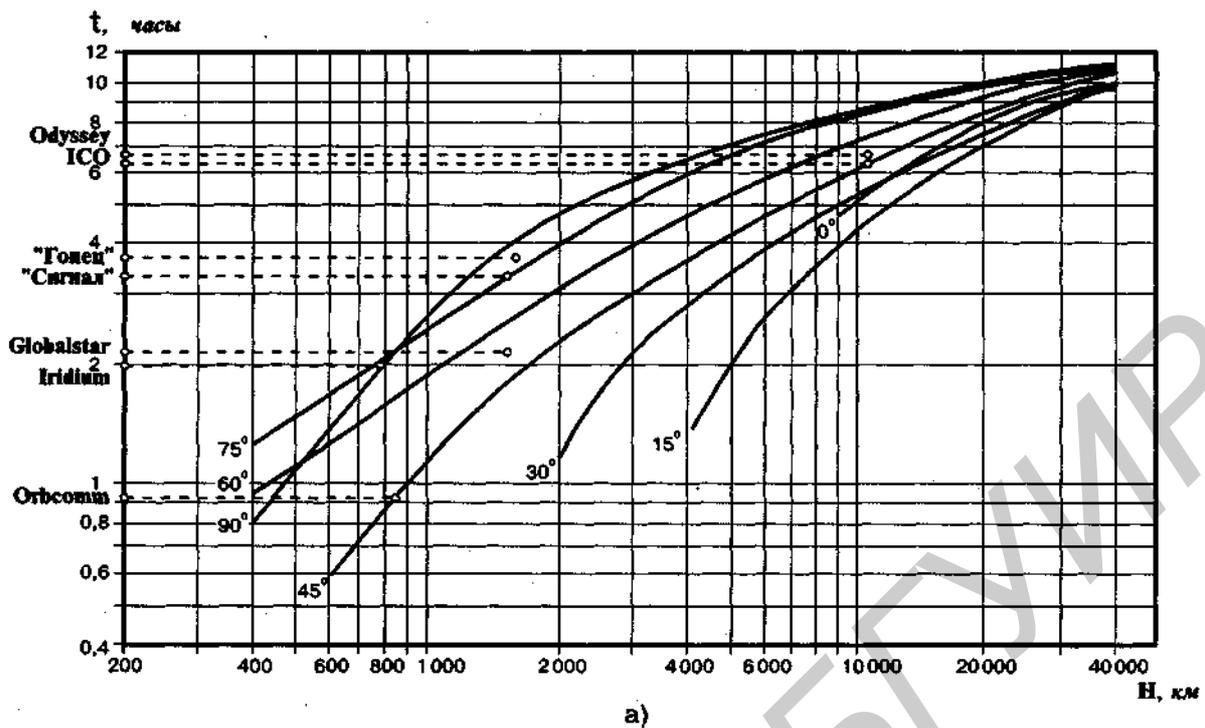
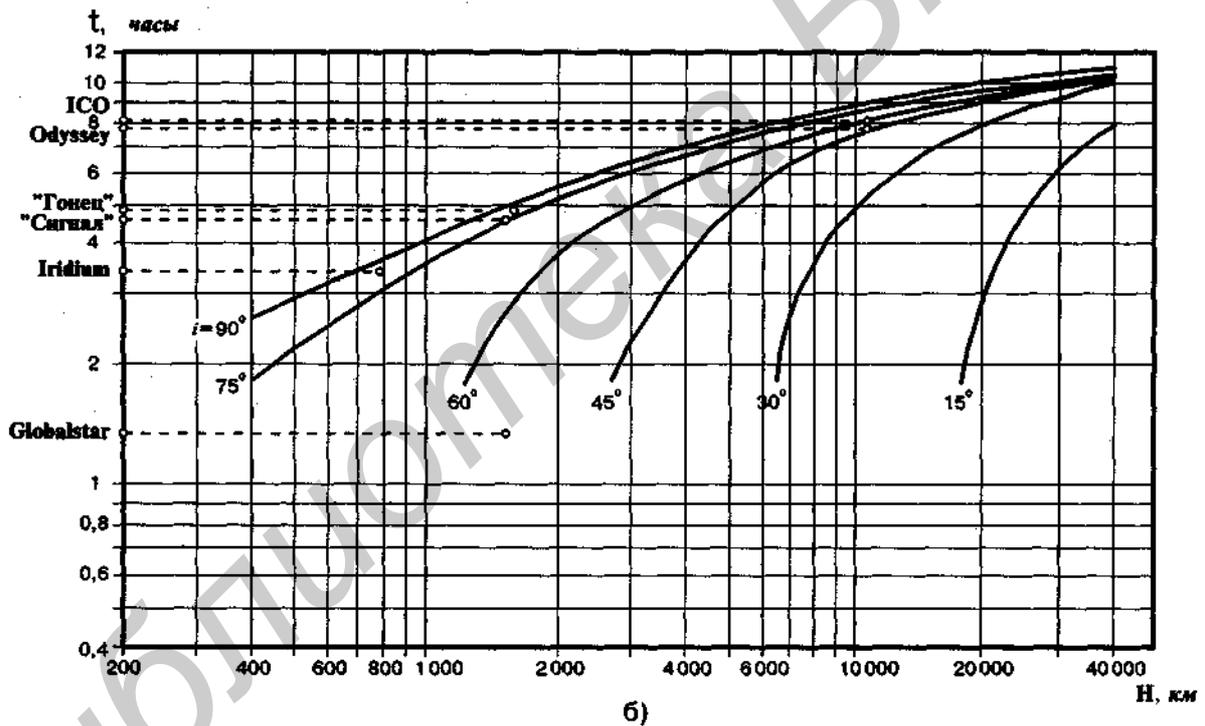


Рис. 9.9. Зависимость суммарного времени радиовидимости КА (усредненного по всем виткам за сутки) при  $\Theta = 0^\circ$  для различных наклонений орбиты  $i = 0^\circ-90^\circ$  и широты  $0^\circ$  (а) и  $30^\circ$  (б).



а)



б)

Рис. 9.10. Зависимость суммарного времени радиовидимости КА (усредненного по всем виткам за сутки) при  $\varphi = 0^\circ$  для различных наклонений орбиты  $i = 0^\circ-90^\circ$  и широты  $60^\circ$  (а) и  $90^\circ$  (б).

Из представленных рисунков видно, что на экваториальных широтах и в тропических регионах (рис. 9.9 а) наиболее выгодны орбиты с наклонением  $0^\circ$ . Такое наклонение орбит выбрано в системе ECCO ( $H=2000$  км) и Ellipso (субгруппировка Concordia,  $h=8040$  км). Столь же высокая эффективность таких систем сохраняется и на широте  $30^\circ$  (рис. 9.9 б). Что же касается систем на средневысотных орбитах (Odyssey, ICO), то при оптимизации по критерию максимального времени пребывания КА в зоне прямой видимости наземного абонента, они обеспечивают высокие показатели обслуживания практически на всех широтах.

С увеличением широты местоположения абонента суммарное время пребывания КА в зоне прямой видимости ЗС падает. Так, на широте  $60^\circ$  (рис. 9.10 а) в зону действия ЗС уже не попадают спутники с наклоном орбиты  $0^\circ$ . Однако увеличивается эффективность систем, использующих КА на наклонных и полярных орбитах. Так, система Globalstar (высота 1400 км, наклонение  $52^\circ$ ) рассчитана на обслуживание территорий в средних широтах (в пределах от  $72^\circ$  ю.ш. до  $72^\circ$  с.ш.). В этих областях, включающих территорию США, обеспечивается практически постоянное двукратное покрытие земной поверхности. По этому показателю система Globalstar существенно отличается от конкурирующей системы Iridium, где структура космического сегмента оптимизирована для односпутникового покрытия территорий. Что же касается высокоширотных регионов (рис. 9.10 б), то они системой Globalstar не обслуживаются. В России вне зоны действия остаются северные труднодоступные районы и трасса северного морского пути.

В [1] представлены результаты моделирования системы Iridium по определению кратности покрытия земной поверхности в зависимости от дислокации наземного абонента.

Получено, что при углах места более  $10^\circ$  в приэкваторной зоне обслуживания (от  $30^\circ$  с.ш. до  $30^\circ$  ю.ш.) вероятность однократного покрытия при времени ожидания  $T_{ож} = 0$  лежит в пределах  $P = 0,973-0,974$ , а при  $T_{ож} = 2$  мин становится равным 1.

Вся территория РФ обслуживается при однократном покрытии с вероятностью  $P=1$  при  $T_{ож}=0$ ; двукратное покрытие обеспечивается на территориях севернее  $70^\circ$  с.ш. При рабочих углах места  $ЗС \theta \geq 20^\circ$ , что ближе к реальным условиям эксплуатации, результаты существенно хуже: в указанной выше приэкваторной зоне при  $T_{ож}=0$  вероятность  $P=0,5-0,6$ , а при  $T_{ож}=2-3$  мин имеем  $P = 0,7-0,91$ .

Чтобы решить проблему обеспечения устойчивой связи в высокоширотных районах в системах Orbcomm, Gemnet и Faisat в состав орбитальной группировки включены по 1-2 дополнительных плоскости с малым числом КА, но более высоким наклоном (см. табл.9.3). Теоретически такие орбитальные структуры должны перекрыть всю территорию Земного шара. Однако малое число КА в дополнительных плоскостях не позволяют обеспечить высокие вероятностно-временные характеристики обслуживания. Так, в системе Orbcomm среднее время ожидания порядка 3-4 мин обеспечивается лишь для абонентов, расположенных на широтах до  $50^\circ$ . На широте  $60^\circ$  и более могут возникнуть более длительные перерывы в обслуживании, а на широтах выше  $65^\circ$  связь в системе может быть организована только через 4 дополнительные КА.

В то же время орбитальные плоскости с наклоном  $45^\circ-55^\circ$  обеспечивают для районов на средних широтах углы места от  $30^\circ$  и более.

Что же касается структуры систем на средневысотных орбитах (Odyssey, ICO, Spaceway), то здесь разброс в характеристиках весьма незначителен. Космические аппараты выводятся практически на одну и ту же высоту, а различие в наклоне орбит весьма незначительное (см. табл. 9.3). Системы со средневысотными КА обеспечивают более высокие характеристики обслуживания за счет увеличения рабочих углов места и числа КА, находящихся одновременно в поле зрения наблюдателя. Радиовидимость двух спутников в системе Odyssey обеспечивается в течение 95% времени, при этом, хотя бы один из спутников виден под углом места более  $30^\circ$ .

## 10. ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

### 10.1. ТРЕБОВАНИЯ К РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ

#### 10.1.1. ВИДЫ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Основными видами внешних воздействий, влияющими на работоспособность и срок активного существования КА, являются:

- климатические воздействия, определяемые космической средой;
- механические воздействия, обусловленные динамикой полета;
- радиационные воздействия, возникновение которых связано с факторами космического пространства.

Эти виды воздействий могут действовать на аппаратуру КА независимо друг от друга, различаться по интенсивности и продолжительности воздействия, однако последствия воздействующих факторов могут быть в определенной степени взаимосвязаны.

Кроме перечисленных воздействий, при проектировании бортовой аппаратуры необходимо учитывать такие внешние факторы, как электромагнитная и помеховая обстановка, акустические шумы, определяющие резонансные частоты конструкции КА и т.п.

Однако наиболее жесткие требования к бортовой аппаратуре связаны с учетом воздействий ионизирующего и электромагнитного излучений. Данный вид воздействия может привести к частичной или даже полной потери работоспособности ретранслятора и, в конечном счете, является определяющим при выборе элементной базы при проектировании КА.

Основные источники радиационных воздействий на бортовую аппаратуру КА, размещенного на круговых полярных орбитах высотой 1400 км, приведены ниже.

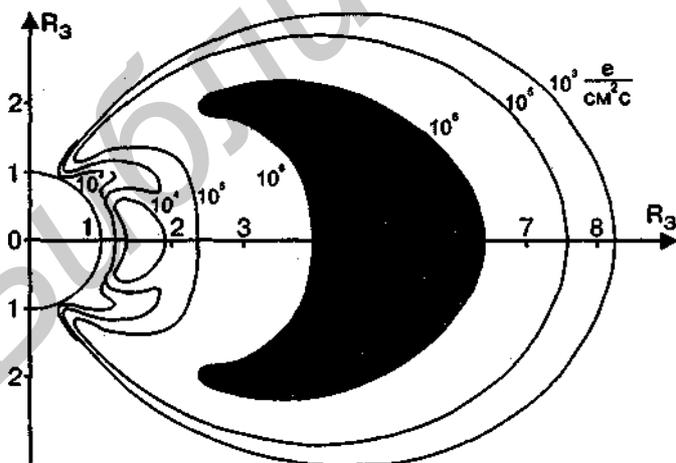
#### Электроны естественных радиационных поясов Земли (РПЗ)

Энергия электронов распределена в диапазоне 0,04-4 МэВ и описывается интегральной плотностью всенаправленного потока частиц с энергией более  $E$ , которая может быть записана в виде:

$$F(\geq E) = 4,8 \times 10^6 \exp(-E/0,327). \quad (10.1)$$

Карта распределения плотности всенаправленного потока электронов ( $e$ ) с энергией более 1 МэВ в радиационных поясах Земли приведена на рис.10.1. Затененная область на карте соответствует потоку электронов с интенсивностью более  $10^6$  электронов/см<sup>2</sup> с.

**Рис. 10.1.** Карта распределения плотности потока электронов в радиационных поясах Земли (для энергии электронов более 1 МэВ)



### Протоны естественных радиационных поясов Земли

Энергия протонов распределена в диапазоне 0,1-400 МэВ и описывается интегральной плотностью всенаправленного потока частиц с энергией более  $E$ , задаваемой выражением:

$$F(\geq E) = 1,1 \times 10^4 \exp(E^{-0,69}). \quad (10.2)$$

Плотность потока протонов ( $p$ ) с энергией более 10 МэВ приведена на рис. 10.2.

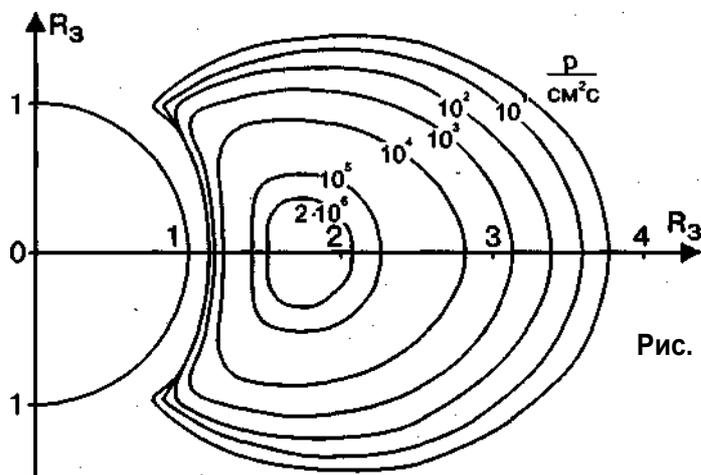


Рис. 10.2. Карта распределения плотности потока протонов в радиационных поясах Земли (для энергии протонов более 10 МэВ)

### Солнечные космические лучи

Солнечные космические лучи (СКЛ), обусловлены солнечными вспышками. Такие вспышки происходят достаточно часто. В годы высокой солнечной активности они возникают до 1 раза в сутки, а в Остальное время - не чаще 1 раз в месяц. Интенсивность потока протонов солнечных лучей для 11-летнего цикла солнечной активности приведена в табл. 10.1.

Таблица 10.1. Интенсивность потока протонов солнечных лучей

Энергия, МэВ	1	10	30	60	100
Флюенс, протон/см <sup>-2</sup> цикл <sup>-1</sup>	$1,2 \times 10^{11}$	$7,6 \times 10^9$	$2,45 \times 10^9$	$8,12 \times 10^8$	$2,14 \times 10^8$

### Галактические космические лучи

Поток галактических космических лучей (ГКЛ) обусловлен возникновением тяжелых ионов и других частиц с высокой энергией (более  $10^4$  МэВ). Вследствие очень высокой начальной энергии поток частиц ГКЛ проникает через защитные кожухи и корпуса приборов КА и производит интенсивную ионизацию ИС. Наиболее опасен этот вид воздействия для микросхем с высокой степенью интеграции (LSI/VLSI). Зависимость интенсивности потока галактических лучей от атомного номера химического элемента приведена в табл. 10.2.

Таблица 10.2. Относительная интенсивность потока галактических лучей

Атомный номер	1	2	8	14	26
Элемент	H (протоны)	He (альфа)	0	Si	Fe
Относительный поток	4,0	0,5	0,03	0,007	0,0003

### Микрометеориты

Взаимосвязь основных параметров воздействия микрометеоритов на бортовую аппаратуру отражена в табл. 10.3.

**Таблица 10.3.** Зависимость глубины проникновения от интенсивности потока микрометеоритов

n	0,7	0,35	0,1	7 10 <sup>-3</sup>	6 10 <sup>-4</sup>	6 10 <sup>-5</sup>	5 10 <sup>-7</sup>	4,5 10 <sup>-9</sup>
d, м	10 <sup>-5</sup>	4 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	4 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	4 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	4 10 <sup>-2</sup>

Используемые обозначения: d - глубина проникновения частиц через алюминиевый экран;  
n - число микрометеоритов в день на квадратный метр.

### 10.1.2. ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Результаты воздействия радиации на электронные компоненты в условиях космического использования могут быть разделены на две категории: эффекты полной дозы (total radiation dose effects) и эффекты, связанные с прохождением через кристалл кремния отдельной сильно ионизирующей частицы (SEE, single event effects). Соответственно, радиационная стойкость электрорадиоизделия (ЭРИ) космического применения обычно характеризуется двумя факторами. Первый тип радиационного воздействия определяется допустимой накопленной дозой излучения, поглощенной в ЭРИ в течение всего срока работы аппаратуры. Другое явление связано с прохождением через кристалл кремния потока сильно ионизирующих частиц тяжелых ионов и др.

Оба типа воздействий являются независимыми, т.е. чувствительность ЭРИ к первому типу воздействий (эффект накопленной дозы) и второму типу нарушений (воздействие высокоэнергетических частиц) не связаны друг с другом. Так, например: TTL компоненты более устойчивы к воздействию первого вида по сравнению с стандартными CMOS компонентами, но уступают им в стойкости при воздействии отдельных высокоэнергетических частиц.

#### Допустимая поглощенная доза

Эффект суммарной дозы состоит в постепенном ухудшении характеристик элементов (возрастание обратных токов переходов, ухудшения частотных характеристик, увеличение энергопотребления). При этом до каких-то критических доз работоспособность еще сохраняется, затем наступает частичная или полная деградация элемента. Такие повреждения создаются излучением как с высокой удельной ионизацией (тяжелые ионы), так и с низкой (электроны, релятивистские протоны, тормозное излучение).

Допустимая поглощающая доза радиации R определяется в виде:

$$R = R_0 C_{ac} K_a K_z, \quad (10.3),$$

где  $R_0$  - полная доза, накопленная за один год с учетом конструктивной защиты КА, Крад;

$C_{ac}$  - срок активного существования КА (без учета времени проведения наземных испытаний);

$K_a$  - коэффициент активности ("скважность" работы), учитывающий время пребывания ЭРИ во включенном состоянии за весь срок активного существования КА;

КА;

$K_z$  - статистический коэффициент запаса, обычно принимаемый равным 1,5-2.

При определении допустимой поглощающей дозы предполагается, что элементы, находящиеся в выключенном (полностью обесточенном) состоянии, не накапливают радиацию<sup>1</sup>.

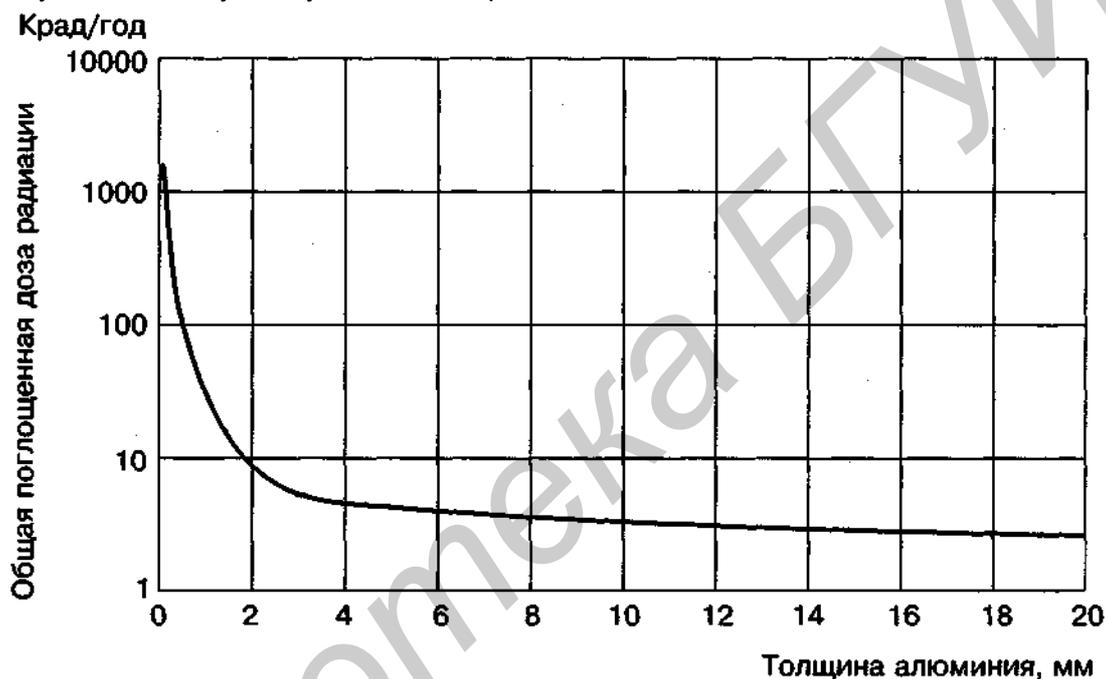
В качестве примера в табл. 10.4 приведены результаты расчета вклада отдельных составляющих, определяющих радиационную стойкость, для КА с высотой орбиты 1500 км (данные фирмы Space Electronics, США). Эффективность экранирования была рассчитана для минимальной толщины экрана из алюминия, равной 40 mils и электронных компонент, размещенных в специальном корпусе RAD-PAC.

<sup>1</sup> По данному вопросу имеются противоречивые мнения. Одни специалисты считают, что при длительном нахождении ЭРИ в выключенном состоянии может происходить снижение накопленной дозы (так называемое явление "отжига"), другие отмечают, что несмотря на обесточенное состояние, все же может происходить накопление дозы.

**Таблица 10.4.** Эффективность экранирования при различных видах внешних воздействий

Вид воздействия	Нормированная доза, рад			
	40 - mil Al		RAD-PAC	
	СКЛ <sub>мин</sub>	СКЛ <sub>макс</sub>	СКЛ <sub>мин</sub>	СКЛ <sub>макс</sub>
1. Электроны РПЗ	73136	69671	522	433
2. Протоны РПЗ	19773	29424	6191	9233
3. СКЛ	142	353	138	344
4. ГКЛ	7089	902	1140	116
Суммарная доза	100000	100000	7855	9786

Суммарную поглощающую дозу радиации можно снизить с помощью специальных конструктивных решений (защитные экраны и др.). Влияние толщины алюминиевой защиты на допустимую поглощенную дозу показано на рис. 10.3.



**Рис. 10.3.** Эффективность экранирования в зависимости от толщины экрана из алюминия

При толщине защиты в 2 мм поглощающая доза радиации за год, как наглядно видно из рис. 10.3, равна 7 Крад. При коэффициенте запаса  $K_3=1,5-2,0$  и сроке активного существования спутника  $S_{ac}=7$  лет для элементов, работающих в непрерывном режиме ( $K_a=1$ ), допустимая доза, до которой компоненты сохраняют свою работоспособность, должна быть около 75-100 Крад.

Поглощающую дозу можно также снизить за счет использования оптимальной компоновки, при которой функционально наиболее важные элементы располагаются внутри корпуса КА. В этом случае все окружающие элементы будут служить в качестве дополнительного экрана.

Радиационная стойкость в значительной степени зависит от технологии изготовления ЭРИ. В качестве примера в табл. 10.5 приведены данные фирмы Analog Device, которые позволяют проследить зависимость радиационной стойкости от технологии изготовления интегральных схем (ИС).

Следует отметить, что данные, приведенные в табл. 10.5, справедливы только для ЭРИ конкретной фирмы и не могут быть распространены на технологии изготовления ИС других фирм.

**Таблица 10.5.** Зависимость радиационной стойкости от технологии изготовления ИС (фирма Analog Device).

Технология	Общая доза (Si), Крад	Скорость нарастания дозы (кремний), рад/сек	SEL (LET)
Bipolar	300	$1 \cdot 10^{10}$	40
Complementary Bipolar	100	$9 \cdot 10^9$	>50
Flash	500	$1 \cdot 10^9$	> 100
BiMOS	10	$5 \cdot 10^9$	37
ABCMOS	50	$1 \cdot 10^{10}$	120
RBCMOS	1000	$1 \cdot 10^{11}$	> 100
DSP CMOS	100	$1 \cdot 10^9$	30

ABCMOS - Advanced Bipolar CMOS, BiMOS - Bipolar MOS, RBCMOS - Radiation Hardened CMOS

### Воздействие одиночных высокоэнергетических частиц

Наиболее опасным является одиночное воздействие. Последствия этого эффекта нельзя полностью исключить ни с помощью конструктивной защиты, ни за счет использования каких-либо схемотехнических решений.

Данный вид воздействия более опасен, чем эффект накопленной дозы, последствия которого проявляются лишь в конце срока активного существования КА. Эффект воздействия одиночных высокоэнергетических частиц может вывести из строя аппаратуру в любой момент, в том числе и в первые часы эксплуатации.

Данный вид воздействия приводит к двум типам отказов: обратимые (кратковременные) отказы SEU (single event upset) и необратимые (остаточные) отказы, так называемое "защелкивание" микросхем SEL (single event latchup). В первом случае ошибочное состояние удерживается только в течение некоторого времени (порядка 1 мс). При необратимых изменениях элемент "защелкивается" в одном из состояний. В некоторых случаях наблюдается тиристорный эффект, приводящий к смещению уровня на выходе элемента и лавинообразному увеличению тока, что приводит к перегреву кристалла и разрушению компонента.

Вероятность радиационного эффекта от одиночных воздействий высокоэнергетических частиц характеризуется двумя параметрами:

$L$  - пороговым значением линейной передачи энергии, выраженной в МэВ на мг/см<sup>2</sup>, начиная с которого эффект становится возможным;

$\sigma$  - асимптотическим эффективным сечением в см<sup>2</sup> на электронный компонент, которое устанавливается при значениях LET выше пороговых.

Частота сбоев SEU пропорциональна этому сечению и потоку частиц со значением LET выше порогового.

Расчет вероятности одиночных отказов производится по формуле Респерсена:

$$P_0 = K_{ad} \sigma / L^2 \text{ [1/сутки]}. \quad (10.4)$$

В формуле [10.4] коэффициент Адамса  $K_{ad}$  характеризует минимальный период солнечной активности, выраженный в %. Его величина обычно лежит в пределах 90-500.

Следует отметить, что формула (10.4) справедлива только при значениях  $L < 100$ , так как для частиц с большим пороговым значением линейной передачи энергии  $L$  в космосе просто не существует.

Значения параметров  $a$  и LET обычно указываются в каталогах фирм, выпускающих электронные компоненты космического применения. В зависимости от значения  $L$  все ЭРИ разделены на несколько категорий. При  $L \geq 100$ , как уже говорилось ранее, все электронные компоненты применимы без каких-либо ограничений. При  $L < 30$  компоненты применять не рекомендуется. В случае, если значение  $L$  лежит в интервале  $100 < L < 30$ , то рекомендуется использовать средства коррекции последствий SEU.

С учетом экранирующего эффекта Земли и других факторов результирующую вероятность отказа можно представить в виде:

$$P = K_{ad} K_{exp} K_{act} \sigma / L^2. \quad (10.5)$$

Коэффициент экранирования  $K_{экр}$  учитывает защитное влияние Земли. Полагая, что для низкоорбитальных КА 50% галактических космических лучей поглощаются поверхностью Земли, коэффициент экранирования можно принять равным 0,5.

Коэффициент активности прибора  $K_{акт}$  характеризует "скважность" работы за определенный период времени.

В качестве примера ниже приведен расчет радиационной стойкости процессора ADSP 21020, выпускаемого разными фирмами. Так, процессор ADSP 21020 фирмы Analog Device имеет параметры  $L_{SEU} = 4$ ,  $L_{SEL} = 12,7-36$  и  $\Sigma_{SEL} = 0,026$ , что обеспечивает вероятность отказа от  $1,6 \times 10^{-2}$  до  $2 \times 10^{-3}$  раз в сутки. Очевидно, что устройство с указанными параметрами (1 отказ за 60-500 дней) отнесено к категории устройств, не рекомендуемых для применения. Аналогичный процессор фирмы Temic имеет более высокие параметры  $L_{SEU} = 15-30$  и  $L_{SEL} = 70-100$  (нижнее значение - гарантируемое, вернее - ожидаемое).

Процессор с такими параметрами будет обеспечивать гарантируемую вероятность отказа  $5,4 \times 10^{-4}$ , т.е. 1 необратимый отказ за 5,1 года.

Основными методами, которые обеспечивают защиту от одиночных воздействий, являются следующие:

- использование ЭРИ, изготовленных по специальной технологии (например, "кремний на сапфире"), в которых отсутствует эффект "защелкивания" (latch up free);
- защита с помощью датчиков тока, обеспечивающих своевременное отключение наиболее "чувствительных к защелкиванию" ЭРИ;
- стопроцентное резервирование основных элементов, управляющих работой БРТК;
- использование программных методов защиты от ошибок и др.

### **Подходы к выбору электронных компонентов низкоорбитальных КА**

Выбор элементной базы КА является ключевым вопросом проектирования системы спутниковой связи, поскольку именно этот показатель, в конечном счете, определяет пропускную способность и эффективность ее функционирования. Основными критериями, влияющими на выбор ЭРИ, являются три: стоимость, надежность и потребление.

Анализ бортовых комплексов существующих и перспективных систем показывает, что в зависимости от выполняемых функций и времени непрерывной работы все устройства можно условно разделить на три группы, подход к выбору элементной базы и схемотехническому проектированию которых существенно отличается.

К первой группе относятся цифровые вычислительные средства, управляющие работой КА, GPS/"Глонасс" приемники, а также цифровые устройства, работающие в непрерывном режиме и применяющие микросхемы с большим уровнем интеграции. Основным поражающим фактором для ЭРИ первой группы является воздействие тяжелых ионов, приводящее к необратимым отказам.

Допустимая вероятность возникновения необратимых отказов типа SEL, как следует из мирового опыта, для устройств первой группы должна быть не более  $1,8 \times 10^{-4}$  (1 отказ в 15 лет). В настоящее время подбор ЭРИ с параметром  $L \geq 100$  представляется проблематичным. Что же касается ЭРИ с параметром  $L < 100$ , то потребуются применение в аппаратуре КА специальных мер защиты от одиночных отказов.

Во вторую группу входят аналоговые и цифровые ЭРИ, не вошедшие в первую группу компонентов, которые также работают в непрерывном режиме. Основным поражающим фактором для этой категории ЭРИ является эффект накопленной поглощенной дозы.

Третью группу составляют ЭРИ, работающие в сеансовом режиме, т.е. находящиеся определенной частью времени в выключенном (полностью обесточенном) состоянии. Для этой группы устройств требования по радиационной стойкости существенно ниже, чем для первых двух. Так, максимальное время пребывания в активном состоянии канальных приемников и передатчиков в системах класса "little LEO" обычно не превышает 2-3 часа в сутки, т.е. "скважность" их работы можно принять равной 0,1. При такой "скважности" требования к радиационной стойкости ЭРИ существенно снижаются (до 10 Крад и менее), что существенно облегчает поиск комплектующих ЭРИ и уменьшает их стоимость.

## 10.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ И СРЕДСТВ ВЫВОДА КА НА ОРБИТУ

При создании новых космических комплексов в мировой и отечественной практике все более широкое применение находят универсальные космические платформы. Такой подход к конструированию КА позволяет не только сократить сроки и стоимость разработки, но и использовать при их создании перспективные и хорошо отработанные технологии. Уже сейчас предлагается широкий выбор космических платформ, удовлетворяющих требованиям различных полезных нагрузок по массогабаритным показателям, энергоресурсу, условиям космической эксплуатации, надежности и стоимости.

Основные характеристики существующих и перспективных спутниковых платформ, используемых для мобильной и персональной связи и описанных ниже приведены в табл. 10.6.

**Таблица 10.6.** Основные характеристики космических платформ

Тип платформы	Масса, кг	Габариты КА, м	Мощность СЭП, Вт	САС, лет	Цена, млн. долл.
A2100	450 (полезная)	d=1,82 h=1,27-2,1	4000	15	150
Amos	961 (стартовая) 685 (BOL) 575 (EOL) 110 (полезная)	2,5x1,5x1,5	8 стволов по 20-40 Вт	10-11	140
FS-1300	3625 (стартовая) 2200 (на орбите) 1425 (сухая)	н/д	3900	15	80-100
F-Sat	1134-2948 (полезная)	46,4 м <sup>2</sup> (панель)	2400 (глубина разряда - 30%)	7	30
HS-376	650 (на орбите)	d=2,16 h=2,74	1000	10	60
HS-601	2500 (стартовая) 680 (полезная)	20 м (панель)	3000	10	90-100
HS-702	910 (полезная)		11 000		90-100
LM700	227 (pallet)	1,65x0,66x0,46	5000	7	5
Satcom 3000	1250 (стартовая) 600 (полезная)	1,6x1,3x0,99 14,33 (панель)	н/д	10-12	20-85
Satcom 4000	1820 (стартовая) 1050 (полезная)	1,7x2,1x1,5 19,3 м (панель)	н/д	н/д	н/д
Satcom 5000	2580 (стартовая) 1540 (полезная)	2,8x2,2x2,35 24,3 (панель)	н/д	н/д	н/д
Satcom 7000	3100 (стартовая)	н/д	н/д	12	н/д
Spacebus 2000	1850 (Ariane) 560 (сухая) 942 (р/топливо)	22,4 (панель)	3000	7	58
Spacebus 300	2400 (Ariane) 1000 (на орбите) 870 (сухая)	н/д	3240	8,9 (P=0,75)	100
Spacebus 3000	2415 (стартовая) 260 (полезная) 1546 (р/топливо)	н/д	5000	12*	100-200
"Ямал-200"	1300-1600 300 (полезная)	н/д	5100	12-15	н/д
"Ямал-300"	2500-2700 600 (полезная)	н/д	8500-10000	12-15	н/д

### **Космические платформы компании Hughes**

Первая разработка американской компании Hughes -платформа HS-376 - была создана в конце 70-х годов. Первые 2 спутника были выведены на орбиту в 1981/1982 годах. Всего на базе этой модели создано более 40 различных модификаций КА, выводимых на геостационарную орбиту.

В модели следующего поколения HS-601, которая является наиболее популярной по количеству заказов на нее, компания Hughes создала платформу с трехосной пространственной стабилизацией. Платформа HS-601 предназначена для вывода КА на геостационарную и средневысотные орбиты. На базе этой платформы изготовлены геостационарные КА AMSC, (США), MSAT (Канада), Optus-B (Австралия), ведется разработка 12 КА для системы ICO. В базовой модели HS-601 используются кремниевые солнечные элементы, что позволяет генерировать мощность около 4-5 кВт. В модифицированной платформе HS-601HP предполагается увеличить мощность солнечных батарей до 8-9 кВт.

Самая последняя и наиболее технологичная модель HS-702 позволяет почти в 2 раза повысить пропускную способность спутниковых систем и мощность солнечных батарей. Чтобы обеспечить высокий энергоресурс, кремниевые солнечные элементы будут заменены на галлий-арсенидные. В результате мощность солнечных возрастет до 11 кВт, а в перспективе планируется дальнейший рост до 15 кВт. Количество стволов, размещаемых на модели HS-702, будет увеличено до 90 по сравнению с 48 в базовой модели HS-601. Платформа HS-702 может быть использована как на геостационарных, так и на средневысотных орбитах (система Spaceway). Первый запуск КА на платформе HS-702 компания Hughes планирует осуществить в 1998г. (Galaxy X).

### **Космические платформы компании Lockheed Martin**

Широкое распространение в мире получило семейство платформ Satcom. Свое обозначение модели этой серии получили в зависимости от величины их стартовой массы, выраженной в фунтах. Так, модель Satcom 3000 имеет соответственно массу 3000 фунтов, а Satcom 7000 - около 7000 фунтов. Стоимость различных модификаций КА на базе Satcom 3000 составляет: 20 млн. долл. - PAS-1, 66 млн. долл. - Telstar 401, 85 млн. долл. - Inmarsat-3F.

Среди перспективных разработок компании Lockheed Martin следует выделить серию спутников нового поколения A2100. Всего предполагается создание 3-х модификаций с различными массо-габаритными показателями. Все модели этой серии будут иметь одинаковый диаметр 1,82 м, а различаться по высоте h: 2,1 м (A2100A), 1,65 м (A2100B) и 1,25 м (A2100C). Стартовая масса КА в зависимости от модели будет варьироваться в пределах от 1000 до 2750 кг. Первый запуск спутника из этой серии планируется осуществить в 1998 г. (КА Garuda 1).

Многофункциональная платформа LM700 обеспечивает доставку малых полезных нагрузок (коммерческих или военных) на низкую или геостационарную орбиту. Платформа разработана Lockheed Martin по заказу компании Motorola. Точность пространственной ориентации - 0,4°, точность вычислений - 0,15°.

На базе LM700 создан КА Iridium. Разработаны три модификации: LLV-1 (1 нагрузка LM700 для вывода на LEO орбиту), LLV-2 (3 на LEO) и LLV-3 (5 на LEO). Вывод платформы на орбиту может быть осуществлен с помощью РН "Протон" (7 на LEO или 4 на GEO), Atlas II (6 на LEO или 1 на GEO), Delta II (5 на LEO) и Long March (2 на LEO).

Другая перспективная платформа компании Lockheed Martin, получившая название F-SAT (Frugal Satellite), предназначена для создания недорогих КА среднего класса, выводимых на низкие круговые орбиты. На ней предполагается использовать панель солнечных батарей, которая в развернутом состоянии будет иметь поверхность 46,4 м<sup>2</sup>, что обеспечит мощность СЭП 2400 Вт. На платформе предполагается установить датчики астроориентации, обеспечивающие точность 0,02°. В качестве буферных батарей предлагается использовать хорошо себя зарекомендовавшие никель-водородные аккумуляторы с глубиной разряда до 30%. На борту планируется также установить процессор с производительностью около 4 Mips.

### **Платформа Spacebus**

Семейство платформ Spacebus разработано совместно ведущими европейскими космическими компаниями Aerospatiale (Франция) и Daimler-Benz Aerospace (Германия). Первая модификация Spacebus 1000 имела срок службы 7 лет и предназначалась для запуска легких спутников (КА Arabsat). В последующей модификации Spacebus 2000 была применена многолучевая антенна с реконфигурируемой формой лучей. Платформа Spacebus 300 была впервые использована в шведском спутнике Tele-X, который был выведен на геостационарную ор-

биту в 1989 г. Гарантированный ресурс наиболее распространенной модификации платформы Spacebus 3000 составляет 12 лет. Перспективная модель Spacebus 4000 (масса 4200 кг) будет иметь ресурс 15-16 лет.

### **Космические платформы других производителей**

Среди платформ других производителей можно выделить семейство платформ Eurostar 1000 (2000, 3000), созданные компанией Matra Marconi. Этот тип платформы был использован при создании КА Inmarsat-2 и др. Основные характеристики семейства платформ Eurostar приведены в табл. 10.7.

**Таблица 10.7.** Основные характеристики семейства платформ Eurostar

Тип платформы	Eurostar 1000	Eurostar 2000	Eurostar 3000
Стартовая масса, кг	1000-1600	1600-3400	3400-4600
Масса полезной нагрузки, кг	200	550	1000
Мощность СЭП, кВт	1-2	2-7	5-16

Израильская компания IAI (Israel Aircraft Industries) осуществляет разработку семейства малых геостационарных спутников Amos (Affordable Modular Optimized Satellite). Вывод на орбиту первого КА из этого семейства (КА CERES, Венгрия) запланирован на 1998 г.

При создании перспективных отечественных связных КА используются также передовые технологии, обеспечивающие их разработку на техническом уровне, близком к достигнутому мировому. Примером тому являются космические комплексы, построенные на базе платформ "Ямал-200" и "Ямал-300", предназначенные для работы в С и  $K_u$  диапазонах частот. Одним пуском РН "Протон" выводятся на орбиту два КА "Ямал-200" с ретрансляторами С и  $K_u$  диапазонов, имеющих в общей совокупности 44-х ствольную полезную нагрузку.

### **Космические аппараты для систем класса little LEO**

Наряду с разработкой космических платформ для КА среднего и тяжелого класса в системах персональной спутниковой связи прослеживается тенденция использования на низких орбитах легких КА с массой 25-100 кг, потреблением 50-200 Вт и стоимостью до 10 млн. долл. Такие КА выводятся на орбиту либо в качестве попутного груза или осуществляется их групповой запуск. Сравнительные характеристики космических аппаратов, используемых в различных системах мобильной и персональной спутниковой связи, приведены в табл. 10.8.

### **Средства вывода на орбиту**

Современные ракетно-космические комплексы предназначены для создания и восполнения орбитальных группировок, включая предстартовую подготовку, выведение КА на орбиту и разведение спутников по орбите в случае группового запуска.

В многоспутниковых системах вывод КА на орбиту осуществляется с использованием групповых запусков (от 3 до 12 КА за пуск) с помощью одной ракеты-носителя. Такой групповой запуск КА является наиболее эффективным, т.к. требует меньших затрат на создание орбитальной группировки и снижает загрузку стартового комплекса. Кроме того, ужесточение требований по уменьшению числа пусков ракет-носителей целесообразно с точки зрения экологии (проблема "космического мусора").

Современные космические платформы (типа HS-702 и др.) совместимы с большинством ракет-носителей среднего и тяжелого класса, такими как: Delta II, Delta III, Atlas, Ariane 4, Ariane 5, "Протон", "Зенит", Pegasus XL, Long March и H-2. В качестве средств восполнения орбитальной группировки предлагается использовать легкие ракеты-носители, рассчитанные на запуск одного или двух спутников ("Космос", Conestoga, Taurus).

Легкие низкоорбитальные КА могут быть запущены как с традиционных пусковых установок, так и с мобильных, включая морской запуск. Запуск легких КА может быть осуществлен за короткий срок (менее 48 часов) и не требует привлечения дорогостоящего обслуживающего персонала. Такой вид спутников особенно выгоден для стран, не имеющих собственных космодромов. По оценке фирмы Agianespace в ближайшее время на малые КА будет приходиться около 15% средств запуска.

**Таблица 10.8.** Сравнительные характеристики космических аппаратов систем мобильной и персональной спутниковой связи

Название системы	Тип базовой платформы	Масса КА (на орбите), кг	Мощность СЭП	САС, лет	Средства вывода КА на орбиту
Геостационарные и высокоэллиптические КА систем мобильной и персональной спутниковой связи					
AceS	A2100	4400 (стартовая)	4000	12	"Протон"
AMSC	HS 601	1500	3600	12	Atlas 2A
Artemis	DRS	2600 (стартовая).	2800	12	H2A
Eutelsat II	Eurostar 2000	900	3000	9	Ariane 44L
Inmarsat-2 Inmarsat-3	Eurostar 2000 Satcom 4000	860 1200	1200 1670	10 13	Delta 2, Ariane 44LP Atlas 2A
Italsat F2	-	1983 (стартовая)	1450	8	Ariane 44L
MSAT	HS 601	1650	3300	12	Atlas 2A
Optus	HS 601	1650	3000	13	Long March CZ-2 E
Solidaridad II	HS-601	1672	3150	12-14	Ariane 44LP
Spaceway	HS-702	4000 (стартовая)	н/д	15	н/д
Геостационарные и высокоэллиптические КА систем мобильной и персональной спутниковой связи					
"Банкир"	"Купон"	2200	1200	<b>10</b>	"Протон"
"Горизонт"	-	2100 (стартовая)	1300	3-5	"Протон"
"Марафон"	"Аркос" "Маяк"	2400 2700	н/д	8-10 5-7	"Протон"
"Полярная звезда"	"Ямал-200"	2100	2500	10	"Протон"
Низкоорбитальные и средневысотные КА систем радиотелефонной и широкополосной связи					
Celestri	Matra Marconi	3100 (стартовая) 2500	13600 (пик) 4600 (сред)	8	н/д
Ellipso	-	730/680*	1780/1880*	5	н/д
Globalstar	-	450	1100	7,5	Delta 2, "Зенит-2"
ICO	HS-601	2750	8700	12	Delta 2, Ariane 4
Iridium	Lockheed	690	1400	5	Delta-2, "Протон" Long March 2C
Odyssey	-	2500	4600	15	Atlas 2A
Skybridge	-	800	3000	8	Ariane 4, Ariane 5
Teledesic	-	795	11600	10	Delta 3
"Сигнал"	-	310	100**	6	"Циклон"
Низкоорбитальные системы передачи коротких пакетов данных					
"Гонец"	-	250	500	7	"Рокот"
Orbcomm	Microstar	43	160	4	Pegasus XL
Faisat	-	89,5	60	5...7	"Космос-3"
Gemnet	-	45	100	5	н/д
Leo-One	-	125	210	5...7	н/д
Vitasat	UoSat	45	30	5	попутный груз

\*Через косую черту указаны данные для орбит Borealis/Concordia.

\*\*Мощность, потребляемая полезной нагрузкой.

Данные по стоимости запуска и надежности основных типов ракет-носителей различного класса приведены в табл. 10.9.

**Таблица 10.9.** Стоимость и надежность запуска ракет-носителей различного класса

Тип ракеты-носителя	Разработчик-изготовитель	Надежность	Стоимость запуска, млн.долл.
"Протон"	ГКНПЦ им. Хруничева	95,6 (более 200 пусков)	65
"Зенит"	НПО "Южное"	около 90 (25 пусков)	65 (Байконур)
Delta II модель 7925	McDonnell Douglas	98 (245 пусков)	50
Ariane 40 Ariane 44L	ESA	96	65 115
Ariane 5	Aerospatiafe	—	105 (первые пуски - 200 млн. долл.)
Atlas 2. Atlas 2A Atlas 2AS	Lockheed Martin	91,8	75 85 115
LLV	Lockheed Martin	—	16(LLV1), 22(LLV2), 25... 30 (LLV3)
Long March CZ-2 Long March CZ-3)	Great Wall Industry Corp.	менее 90	20 (CZ-2C), 40 (CZ-2E) 33 (CZ-3), 45 (CZ-3AD), 70 (CZ-3B)
Pegasus XL	Orbital Sciences Corp.	менее 70	13
"Космос"	ПО "Полет", Омск.	97	8
Conestoga	EER Systems Corp	-	12...25

### 10.3. БОРТОВОЙ РЕТРАНСЛЯЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

Структура бортового ретрансляционного комплекса (БРТК) определяется его назначением (глобальная или региональная связь), методом обработки информации на борту КА, количеством ретрансляционных каналов (приемных, передающих или приемопередающих), скоростью информационного обмена. В состав БРТК могут входить ретрансляторы сигналов абонентских, фидерных и межспутниковых линий. Что же касается оборудования КА, обеспечивающего поддержание нормального функционирования его подсистем, таких как пространственной ориентации, терморегулирования, телеметрического контроля, а также навигационной аппаратуры (приемники GPS/"Глонасс" и др.), то они конструктивно не входят в состав БРТК. Комплекс БРТК предназначен лишь для передачи телеметрических сигналов и приема команд управления в штатном режиме.

#### 10.3.1. ТИПЫ РЕТРАНСЛЯТОРОВ

В системах ССС, ориентированных на персональную связь, используются 4 основных типа ретрансляторов.

*Прозрачные ретрансляторы (типа bent-pipe).* Это наиболее простой тип ретрансляторов, в которых осуществляется преобразование группового спектра частот на промежуточной частоте без демодуляции сигналов и разфилтровки каналов. В этих ретрансляторах используются передатчики, работающие в квазилинейном режиме. Возможны варианты, когда несколько приемных стволов объединяются и переизлучаются на новой несущей. Прозрачные ретрансляторы этого типа используются в системах мобильной и персональной связи, использующих геостационарные (AMSC, MSAT, Inmarsat и др.) средневысотные (Odyssey), эллиптические (Ellipso) и низкоорбитальные (Globalstar, "Сигнал") космические аппараты.

*Прозрачные ретрансляторы с процессором.* В отличие от предыдущего, в данном типе ретранслятора производится полная или частичная разфилтровка каналов и их межствольная или межлучевая коммутация. Этот тип ретрансляторов используется в системах ACeS, ICO и других.

Новым прогрессивным техническим решением является использование на борту коммутируемой высокочастотной матрицы (15x15) или более. Матрица выполнена на основе СВЧ интегральных схем, переключателей на PIN диодах с малыми потерями. Управление работой коммутатора осуществляется с помощью бортового процессора, а резервирование обеспечивается введением дополнительных рядов и столбцов матрицы.

*Регенеративные ретрансляторы.* К регенеративным относятся ретрансляторы, в которых осуществляется ремодуляция принимаемых сигналов (т.е. Демодуляция и последующая модуляция на новой несущей). Бортовая обработка используется во всех системах, использующих межспутниковую ретрансляцию каналов (Iridium, Celestri, Teledesic). Другое преимущество бортовой обработки - это возможность использования асимметричных каналов на линиях "вверх" и "вниз", т.е. работа в так называемом интерактивном режиме. Это особенно важно в системах персональной мобильной связи, где мощность терминала "типа телефонной трубки" не должна превышать 0,25-0,6 Вт.

*Регенеративный ретранслятор с бортовым ЗУ.* Данный тип ретранслятора обладает всеми достоинствами регенеративных ретрансляторов и, кроме того, имеет на борту электронный "почтовый ящик". Такие ретрансляторы работают в пакетном режиме и используются в системах передачи данных: "Гонец", Orbcomm, Cospas-Sarsat (на частоте 406 МГц) и др. Для систем, использующих перенос информации на борту КА, не требуется непрерывность обслуживания, а их орбитальная группировка может состоять всего из нескольких КА.

Использование ретрансляторов с обработкой информации на борту позволяет одновременно обслуживать большое количество терминалов, обеспечивая гибкое и оперативное их соединение с использованием разнообразных протоколов.

### **10.3.2. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ИЗОТРОПНО ИЗЛУЧАЕМАЯ МОЩНОСТЬ И ДОБРОТНОСТЬ**

Эффективность работы бортового ретранслятора определяется диапазоном рабочих частот, ЭИИМ, добротностью G/T и плотностью потока мощности на поверхности Земли. Основные энергетические показатели ретрансляционных комплексов приведены в табл. 10.10. Как видно из таблицы, значения ЭИИМ современных систем персональной спутниковой связи, работающих в L/S диапазоне, как правило, не превышают 30-45 дБВт для систем с КА на геостационарной орбите, 20-35 дБВт - на средних орбитах и 5-25 дБВт на низких орбитах.

В бортовых комплексах используются усилители на ЛБВ и полупроводниковые усилители мощности. В системах персональной связи с КА на геостационарных орбитах усилители на ЛБВ традиционно остаются пока одним из основных видов усилителей для передатчиков. Хотя КПД современных усилителей на ЛБВ уже превышает 40 % (КПД самих ЛБВ составляет около 60%), однако реально он быстро уменьшается, если передатчик начинает работать со снижением выходной мощности на линейном участке динамической характеристики, что необходимо для достижения приемлемых уровней интермодуляции и перекрестной модуляции. Работа в режиме нескольких несущих требует обеспечения отношения несущая/интермодуляционный шум (C/I) от 20 до 30 дБ, что в свою очередь приводит к потерям, снижающим КПД усилителя на ЛБВ (до 10-20 %).

В системах с КА на средневысотных и низких орбитах обычно используются полупроводниковые усилители мощностью до 60 Вт в L диапазоне, до 20 Вт в C диапазоне и 5-10 Вт в Ku диапазоне частот. В отличие от усилителей на ЛБВ, полупроводниковые усилители работают при более низком напряжении питания, имеют меньшие массо-габаритные показатели и обеспечивают большую надежность.

Отношение усиления антенны к суммарной шумовой температуре бортового приемника G/T обычно изменяется в диапазоне от -12 до +3 дБ/К. Разброс значений определяется в основном размерами используемых антенн и, в меньшей степени, шумовой температурой МШУ.

Во входных каскадах бортовых приемников в настоящее время используют МШУ, выполненные в виде СВЧ интегральной схемы на полевых транзисторах. Коэффициент шума приемника на полевых транзисторах составляет менее 3 дБ в диапазоне частот 1,5-4 ГГц и не менее 4,5 дБ в 11-14 ГГц. В перспективе ожидается еще большее снижение шумовых характеристик бортовых приемников. Так, применение в МШУ транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ) позволит достигнуть коэффициент шума в диапазоне 1,5-4 ГГц около 2 дБ, а в диапазоне 11-14 ГГц - 3,5 дБ. При этом размеры МШУ уменьшаются вследствие использования высокого уровня интеграции, а надежность повышается.

**Таблица 10.10.** Основные энергетические показатели ретрансляционных комплексов

Наименование системы	Диапазон частот	ЭИИМ/мощность, дБВт/Вт	Г/Т, ДБ/К	Плотность потока мощности, дБВт/м <sup>2</sup>
<b>Системы спутниковой связи с КА на геостационарной орбите</b>				
ACeS	L	73/-	15(d <sub>a</sub> =12 м)	н/д
AMSC	L Ku	56,6/- 36/-	-1...-2,3	-114,0
Artemis	L Ku	19/- 7/-	-2,0 -1,4	н/д
Inmarsat-3F	L C	46/22,5 27/12	н/д	н/д
MSAT	L	47,1-65 (ПК); 42,2 (ОК)/-	. -4 (ПК); 2,3 (ОК)	н/д
Optus B	L	55/150 (SSPA) 47-52/50 (TWTA)	н/д	-71...-98
Spaceway	Ka	56-61/-	н/д	н/д
"Банкир"	Ku	36-50/-	3,1	-80...-95
"Марафон"	L	35-41/-	-12...-5	н/д
<b>Системы спутниковой связи с КА на негеостационарной орбите</b>				
Archimedes	L	62,5/-	8	н/д
Celestri-LEO	Ka	4,8/-	7,2	-113...-127,9
Globalstar	L/S C	-2,9*)/- -27,7*)/-	-10 -13,7	-122,0
ICO	S	33,6/-	1,4...3	н/д
Iridium	L Ka	7,5-27,7/- 13,5-22,2/1	-4,4 -1	-120,0
Odyssey	L/S	24,2/-	-1,4	-127,8
"Электон-СТИР-М"	L/S C/X	16/- 2-7/-	-18 -28	-146,1 (в полосе 4 кГц)
ПК - прямой канал, ОК - обратный канал; *) ЭИИМ в пересчете на канал 2,4 кбит/с				

До недавнего времени считалось, что основным сдерживающим фактором развития персональной спутниковой связи является отсутствие высокоэнергетических ретрансляторов с большой излучаемой мощностью и высокой чувствительностью приемника. Однако зарубежный и отечественный опыт разработки спутниковых систем показал, что огромные резервы в повышении энергетики радиолиний заключены в использовании многолучевых антенных систем, обеспечивающих многократное использование полосы частот в глобальной зоне обслуживания.

В отличие от глобального обслуживания, когда вся видимая поверхность Земли освещается одним лучом, узкие парциальные лучи обеспечивают ту же плотность потока мощности при значительно меньших энергетических затратах.

При конструировании антенн для персональных КА основной упор сделан на гибкость в формировании множества сканирующих, "прыгающих" или изменяемых по форме лучей. Для реализации указанных возможностей антенна интегрирована с другими элементами бортового комплекса. Создание сложных антенных систем и обеспечение их высоких технических характеристик может быть достигнуто не только путем увеличения их массы и мощности, а за счет использования современных схемных технологий и новых материалов.

Несмотря на то, что принцип повторного использования частоты с помощью многолучевых антенн (МЛА) существует уже давно, однако только с появлением систем персональной связи, в том числе низкоорбитальных и Средневысотных, появилась реальная возможность многократного использования частот.

Использование обычных антенных систем с рефлектором или пассивных облучающих решеток в системах с управляемой формой луча при уровнях мощности бортовых передатчиков 10-30 Вт может привести к потерям не менее 3-4 дБ. Чтобы их исключить на борту КА Iridium, Globalstar и других систем используются активные фазированные антенные решетки (АФАР).

### 10.3.3. ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА МОЩНОСТИ

Бортовой ретранслятор, кроме основных энергетических показателей ЭИИМ и  $G/T$ , характеризуется также уровнем плотности потока мощности (ППМ). Этот параметр влияет на условия электромагнитной совместимости с другими РЭС, а поэтому жестко регламентируется. При проектировании характеристики бортовых антенн в каждом луче стремятся выбирать таким образом, чтобы плотность потока мощности, создаваемая на поверхности Земли, была бы постоянной и не зависела от направления излучения.

В соответствии с международными рекомендациями, плотность потока мощности  $S$  (дБВт/м<sup>2</sup>) на поверхности Земли зависит от рабочего угла места в земной станции и определяется следующим соотношением:

$$\begin{aligned} & \text{при } 0^\circ \leq \theta < 5^\circ \\ & 0,5 (\theta - 5) \quad \text{при } 5^\circ \leq \theta < 25^\circ \\ & S_0 + 10 \quad \text{при } \theta \geq 25^\circ, \end{aligned} \quad (10.6)$$

где  $S_0$  - минимально-допустимый уровень плотности потока мощности на поверхности Земли в определенном диапазоне частот, выражается в дБВт/м<sup>2</sup>.

Расчетные значения ППМ, полученные на основании выражения (10.6), для разных диапазонов частот указаны в табл. 10.11.

**Таблица 10.11.** Максимально допустимая плотность потока мощности на поверхности Земли, дБВт/м<sup>2</sup>

Диапазон частот, ГГц	$0^\circ \leq \theta < 5^\circ$	$5^\circ \leq \theta < 25^\circ$	$25^\circ \leq \theta < 90^\circ$	Примечание
1,5-2,5	-154	$-154 + 0,5 (\theta - 5)$	-144	В полосе 4 кГц
2,5-2,69	-152	$-152 + 0,75 (\theta - 5)$	-137	В полосе 4 кГц
3,4-7,75	-152	$-152 + 0,5 (\theta - 5)$	-142	В полосе 4 кГц
8,025-11,7	-150	$-150 + 0,5 (\theta - 5)$	-140	В полосе 4 кГц
12,2-12,75	-148	$-148 + 0,5 (\theta - 5)$	-138	В полосе 4 кГц
17,7-19,7	-115	$-115 + 0,5 (\theta - 5)$	-105	В полосе 1 МГц
31-40,5	-115	$-115 + 0,5 (\theta - 5)$	-105	В полосе 1 МГц

В существующих международных рекомендациях оговаривается, что в диапазонах частот L, S, C, X и Ku измерение плотности потока мощности производится в полосе частот 4 кГц, а в более высоких диапазонах частот (Ka и KВЧ) - в полосе 1 МГц. Наряду с ППМ в расчетах по электромагнитной совместимости используется максимальная спектральная плотность потока мощности, выражаемая в Вт/м<sup>2</sup>·Гц.

Существующие нормы международного сотрудничества в области использования частотно-орбитального ресурса отдают предпочтение геостационарным системам, которые априорно требуют защиты от помех систем со спутниками на негеостационарных орбитах. Оценка уровней взаимных радиопомех между негеостационарными и геостационарными спутниковыми сетями представляет собой сложную техническую задачу, так как до сих пор не разработаны единые международные подходы к оценке электромагнитной совместимости, как это имеет место для геостационарных сетей. Существующие методики носят, как правило, статистический характер, что не позволяет в традиционных показателях оценить степень воздействия одной системы на другую.

Кроме того, средства персональной спутниковой связи, использующие негеостационарные КА, в выделенных диапазонах частот работают на вторичной основе. Это означает, что они не должны создавать помех для служб с первичным приоритетом, частоты которым уже

присвоены или могут быть присвоены в ближайшее время. Кроме того, они сами не могут предъявлять требований по электромагнитной совместимости к службам других систем.

Выделение полос частот на вторичной основе влияет на выбор метода многостанционного доступа - во многих системах связи используется метод многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA), при котором может быть обеспечен достаточно низкий уровень плотности потока мощности на поверхности Земли ( $-170$  дБВт/м<sup>2</sup> в полосе 4 кГц для системы "Сигнал"). Расчетные значения ППМ для других систем приведены в табл. 10.10.

## 10.4. МЕТОДЫ МНОГОСТАНЦИОННОГО ДОСТУПА

Основным интегральным показателем, определяющим эффективность функционирования КА, является его пропускная способность. В зависимости от вида передаваемой информации, обычно используют два критерия оценки:

- в системах речевой связи - число эквивалентных<sup>2</sup> телефонных каналов, приходящихся на один КА;
- в низкоорбитальных системах пакетной передачи данных - суммарный поток информации, передаваемый через один КА в течение заданного промежутка времени (в один час, в сутки).

Пропускная способность КА зависит как от его энергетических параметров (ЭИИМ и G/T), показателей антенных систем, так и от метода обработки информации на борту КА и многостанционного доступа.

Как и в наземных сетях, в спутниковой связи все виды доступа можно разделить на три группы. Первые две образуют системы, использующие классические методы многостанционного доступа с частотным (FDMA) и временным (TDMA) разделением каналов. К третьей относятся методы, основанные на технологии кодового разделения каналов (CDMA). Основные виды многостанционного доступа, используемые в спутниковых системах персональной связи, приведены в табл. 10.12.

Наиболее простым и широко распространенным в системах с КА на геостационарных орбитах является метод FDMA, при котором спектр разделен на участки определенной ширины для каждого канала. Для защиты от внутрисистемных помех между каналами введены защитные интервалы  $\Delta F$ , позволяющие разделить соседние каналы с требуемой точностью. Так же, как и в аналоговых сотовых системах подвижной радиосвязи NMT-450, AMPS (стандарт IS-41), метод FDMA позволяет создать наиболее простое абонентское оборудование с малым энергопотреблением при условии, что в линии связи обеспечена достаточная энергетика. Недостатком данного метода является низкая пропускная способность, а также необходимость вводить расширенные защитные интервалы, что обусловлено большой частотной неопределенностью вследствие доплеровского сдвига, особенно в случае использования низкоорбитальных КА. Типовой сдвиг между каналами при радиотелефонной связи со скоростью передачи 2,4-9,6 кбит/с составляет 25 кГц (система Inmarsat-M и др.).

При многостанционном доступе TDMA в качестве каналов служат временные интервалы. Метод TDMA используется в системах Iridium, Orbcomm, ICO, "Гонец" и др. Высокая пропускная способность обеспечивается в сочетании TDMA с пространственным разделением каналов. Современная техника позволяет формировать на одном КА сто и более узких лучей одновременно (ACeS, Celestri).

В CDMA применяются сигналы с расширенным спектром, при этом все абоненты одновременно используют один и тот же выделенный участок диапазона частот. Применение технологии CDMA регламентируется международным стандартом IS-95.

До недавнего времени считалось, что внедрение технологии CDMA на практике достаточно сложно. Однако в последние годы ситуация изменилась - CDMA находит все большее применение в локальных сетях, системах сотовой и спутниковой связи. К числу основных достоинств технологии CDMA относят более высокую емкость системы, меньшую вероятность блокировки вызова (при перегрузке), уменьшение мощности излучения и др.

Такие преимущества, как низкая пиковая мощность, более низкие требования к динамике регулирования мощности передачи делают технологию CDMA привлекательной особенно для персональной подвижной радиосвязи с терминалами типа "телефонная трубка". Одним

<sup>2</sup> Эквивалентным считается канал, по которому передача информации в различных системах осуществляется с одинаковой скоростью R (кбит/с).

**Таблица 10.12. Характеристики методов доступа и пропускной способности ретрансляторов**

Наименование системы	Тип ретранслятора	Метод доступа	Количество лучей на КА	Пропускная способность на КА
<b>Системы спутниковой связи с КА на геостационарной орбите</b>				
ACeS	регенеративный процессор DSP	TDMA(GSM)	140	11000 тлф. каналов
AMSC	bent- pipe	FDMA	6	н/д
Archimedes	прозрачный	FDMA	6	н/д
Artemis	bent-pipe	FDMA	1 - широкий 3 - узкие	1500 тлф. каналов
Celestri-GEO	регенеративный с процессором	DAMA	1 - широкий, 84 - узкие	1600 каналов T1
Euteltracs (OmniTracs)	bent-pipe	CDMA	1	н/д
Inmarsat F3	bent-pipe	FDMA	1 - широкий 5 - узкие 1 - GPS/Глонасс	1000
MSAT	bent-pipe	FDMA	6	1500
Optus	bent-pipe	FDMA	1	н/д
Prodat	bent-pipe	TDMA (ПК) SS/CDMA (ОК)	1	н/д
Spaceway	регенеративный	TDMA	48	276480 по 16 кбит/с
"Марафон"	прозрачный	FDMA	1 - широкий 3 - узкие	250-300 тлф. каналов
<b>Системы спутниковой связи с КА на негеостационарной орбите</b>				
Celestri-LEO	регенеративный	TDMA	432 (прием) 260 (передача)	50000 каналов T1
Ellipso	bent-pipe	SS/CDMA	37 (Borealis) 61 (Concordia)	200
Faisat	регенеративный	FDMA	1	н/д
Gemnet	регенеративный	FDMA	1	н/д
Globalstar	bent- pipe	CDMA	16	2400 по 2,4 кбит/с
ICO	прозрачный	TDMA	163	4500
Iridium	регенеративный	TDMA	48	1100
Leo-One	регенеративный	FDMA	1	н/д
Odyssey	bent-pipe	CDMA	61	3000
Orbcomm	регенеративный с 3У	FDMA	1 (6x2,4 -прием)	50 Мбит/сут
SECOMS	регенеративный	MF-TDMA или CDMA/CDM	32 (Ka) 64 (EHF)	4 Гбит/с (Ka) 50 Мбит (EHF)
Starsys	bent-pipe	SSMA	1	2,4 Мбит/с
Teledesic	регенеративный	MF-TDMA/ ATDMA	64	1,24416 Гбит/с
Vitasat	регенеративный 3У	FDMA	1	н/д
"Гонец"	регенеративный 3У	FDMA	1	400 Мбит/сут
"Сигнал"	bent- pipe	CD/CDMA	3	н/д
"Элекон-Стир"	регенеративный	FDMA	9	н/д

из основных достоинств CDMA является режим "мягкого" переключения при переходе абонента с одного спутника на другой. Метод CDMA эффективен и для обеспечения разносигнального приема через разные КА с автовыбором лучшего из принимаемых сигналов (система Globalstar).

Идеологом CDMA на мировом рынке подвижной связи является американская компания Qualcomm. Первая из коммерческих систем, успешно прошедшая апробацию технологии CDMA, является геостационарная система по контролю перевозок грузов Omnitrac. Дальнейшее развитие техника CDMA получила в американских системах Globalstar, Odyssey, Starsys, Ellipso и российской "Сигнал". Еще одно немаловажное преимущество CDMA - повышенная скрытность передачи информации.

Техническая реализация разделения каналов на земной станции обходится дешевле, чем на борту спутника, поэтому технология CDMA предполагает использование прозрачных ретрансляторов (см. табл. 10.12).

Что же касается уже проверенных технологий FDMA и TDMA, то эти испытанные методы являются по сравнению с CDMA гораздо проще реализуемыми, а поэтому более дешевыми. Кроме того, понятно, почему в системах Iridium, Celestri, Teledesic не используют CDMA: наличие обработки сигналов на борту и межспутниковых линий связи в случае CDMA приведет к росту потребляемой энергии и усложнению аппаратуры КА.

# **11. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

## **11.1. ВИДЫ УСЛУГ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

В настоящем разделе приведены услуги, предоставляемые системами персональной спутниковой связи и обобщенные требования пользователей.

### **Системы передачи данных класса little LEO**

Для систем мобильной спутниковой связи, ориентированных на передачу данных, как показывают маркетинговые исследования, наиболее приоритетными областями применения являются следующие:

- глобальный мониторинг перевозки грузов с обеспечением сквозного контроля от пункта загрузки до пункта назначения (контроль с диспетчерского пункта);
- определение географических координат подвижного объекта (долгота, широта, универсальное время, UTC);
- обмен данными по электронной почте в интересах государственных, ведомственных и корпоративных пользователей;
- связь с подвижными объектами (судно, автомобиль, вагон, самолет), в том числе двусторонний обмен данными;
- обмен оперативной информацией, обеспечивающей координацию поисково-спасательных и проведение аварийно-восстановительных работ;
- обеспечение приоритетного предоставления экстренных услуг связи в условиях возникновения на обслуживаемой территории чрезвычайных ситуаций (ЧС);
- глобальный пейджинг;
- доступ к БД информационно-справочных систем по разовым запросам удаленных пользователей, доступ в Internet;
- передача формализованных сообщений (коротких буквенно-цифровых сообщений, заранее записанных в память терминала);
- передача групповых, циркулярных и экстренных сообщений;
- управление парком транспортных средств, включая контроль графика движения междугородного и общественного транспорта;
- автоматизированный учет показаний газовых, водяных и электрических счетчиков;
- отслеживание потерянного или угнанного транспорта, в том числе с помощью терминалов, которые могут быть скрыты в машине во время или после ее производства, отслеживание автомобилей, выданных напрокат;
- мониторинг окружающей среды, автоматизированный сбор данных с датчиков экологического или промышленного мониторинга;
- сбор данных и контроль состояния удаленных объектов (нефте- и газопроводов и др.);
- оповещение о срабатывании охранной сигнализации;
- сфера отдыха, спорта и развлечений (яхты, альпинисты);
- отслеживание миграции животных по собственным сигналам низкоорбитальных КА.

### **Системы радиотелефонной и пейджинговой связи класса big LEO**

Наиболее приоритетными областями применения узкополосных радиотелефонных спутниковых систем связи являются:

- обеспечение персональной радиотелефонной связи, как правило, совмещенной с одним из стандартов сотовых сетей связи (GSM, D-AMPS, CDMA и др.) в малонаселенных, удаленных и труднодоступных районах;
- расширение спектра услуг для абонентов спутниковой связи, которым предоставляется возможность пользоваться услугами местных и национальных операторов сотовой связи, если они находятся в зоне их действия;

- дополнение существующей сотовой сети, за счет обеспечения мобильной связью в районах, не охваченных сотовой связью или использующих несовместимые стандарты;
- обеспечение глобальной пейджинговой связи;
- персональная радиотелефонная связь с возможностью глобального роуминга;
- полужесткая связь, ориентированная на корпоративный рынок нефте- и газодобывающей промышленности, малый бизнес (склады, большие магазины и др.), а также телефоны общего пользования, установленные в сельской местности;
- связь в интересах государственных и военных ведомств, служб массовой информации, работающих в глобальной зоне обслуживания;
- организация радиотелефонной связи в чрезвычайных ситуациях (землетрясения, наводнения, экологические и промышленные катастрофы);
- дополнительные услуги, такие как определение местоположения, голосовая почта, передача аварийных и экстренных сообщений.

#### **Системы широкополосной связи**

По прогнозу, через 10-15 лет рынок средств широкополосной связи и мультимедиа будет иметь примерно такие же размеры, как и существующий рынок средств узкополосной связи. Более того, верится, что перспективные спутниковые системы смогут удовлетворить 20-30% потребностей этого рынка. В настоящее время средства спутниковой связи не имеют пропускной способности, чтобы удовлетворить хотя бы минимальные потребности существующего рынка.

Основной рынок широкополосных услуг - это обмен данными в интерактивном режиме. В деловом мире к самым распространенным типам применения мультимедиа относятся телеконференции, телеработа (теледоступ), услуги по совершению деловых операций в малом бизнесе, информационный поиск документов и др.

В частном секторе мультимедиа предназначается для развлечения, телеобучения, передачи версий программного обеспечения по каналам связи и др. Именно мультимедиа, по своей интерактивной природе, оптимально подходит для обучения персонала и повышения квалификации сотрудников. Программы можно в индивидуальном порядке адаптировать к личным способностям обучающегося.

Широкое распространение в США и ряде других стран получил такой вид услуг, как телешопинг (покупки из дому). Там этот вид услуг уже превратился в огромный рынок со все увеличивающимся сбытом - одежду, украшения и даже машины покупают посредством телешопинга.

Не менее популярный вид услуг, получивший широкое распространение в Северной Америке и Западной Европе, - теледоступ. Сотрудники из дома или по пути на работу могут связываться с офисом по телефону и через спутниковые каналы получать доступ к базам данных своего офиса.

#### **Обобщенные требования пользователей**

Современные требования пользователей в услугах связи выходят далеко за рамки традиционных прямых соединений между ними. Их учет является одним из наиболее важных факторов, определяющих целесообразность применения системы для решения определенного класса задач. Перечень обобщенных требований потенциальных пользователей без конкретизации технических характеристик и возможностей систем подвижной спутниковой связи приведен в табл. 11.1.

В отличие от систем наземной персональной связи в спутниковых ССС, информационный обмен обеспечивается преимущественно только с открытого пространства. Возможности связи из зданий (расположение антенн на подоконнике и т.п.) ограничена. Персональная спутниковая связь в городских условиях затруднена из-за затенения городскими застройками, а следовательно, работа возможна только при больших углах возвышения.

**Таблица 11.1.** Перечень основных требований, определяющих спрос на абонентскую аппаратуру

Требования пользователей	Элемент системы (характеристика), к которому предъявляются требования
Цена аппаратуры и стоимость услуг	Стоимость терминала Абонентская плата (долл. в месяц) Тариф за трафик: речь (долл/мин), данные (долл.за 1 кбит)
Вид передаваемой информации	Речь (узкополосная, высококачественная) Данные (вероятность ошибки $10^{-9}$ - $10^{-4}$ ) Графика, карты, неподвижные изображения
Взаимодействие с КА	Одностороннее Двустороннее (симметричный, асимметричный трафик)
Объем передаваемых данных	Объем одного сообщения Интенсивность обращения к КА (N раз в единицу времени)
Категория срочности сообщений	Обычные (доставка в течение суток) Срочные (в течение нескольких часов) Экстренные (немедленно)
Режим организации связи	Персональная связь (типа "каждый с каждым") Режим группового обслуживания Циркулярная связь
Готовность	Постоянная (в течение 24 часов) По расписанию По мере необходимости
Зона обслуживания (площадь на которой размещены абоненты)	Локальная (местная) Национальная, региональная Глобальная
Место, откуда ведется информационный обмен	Непосредственно из здания В городе с плотной застройкой В пригороде В сельской местности С открытого пространства
Базовый тип терминала	Портативный (клавиатура, автономное питание) Мобильный (GPS приемник и др.) Стационарный
Требования к источникам питания	Сеть переменного тока Бортовая сеть подвижного объекта Автономный источник питания

## 11.2. СТРУКТУРА ЗЕМНОГО СЕГМЕНТА

Анализ структуры мобильных и персональных ССС, ориентированных на передачу данных и узкополосную персональную радиотелефонную связь, показывает, что в их состав входят следующие типы земных станций и абонентских терминалов:

- центральная станция, которая может быть как совмещена с центром управления и контроля спутниковой группировкой, так и расположена автономно и соединена с ним через телефонную сеть;
- наземные станции сопряжения, которые предназначены для организации связи в регионе и сопряжения с сетями общего пользования;
- портативные, мобильные и стационарные терминалы, предназначенные для организации односторонней или двусторонней связи.

Обобщенная структура земного сегмента в составе станций сопряжения и абонентских средств различного назначения иллюстрируется на рис. 11.1.



Рис. 11.1. Обобщенная структура земного сегмента

### 11.2.1. РОЛЬ И МЕСТО ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ СОПРЯЖЕНИЯ

Важную роль в сетях персональной спутниковой связи играют так называемые станции сопряжения. В их задачу входит "замыкание" на себя части или всего трафика в данном географическом регионе и сопряжение с сетями общего пользования. В зарубежной литературе для обозначения этого типа станций используется общепринятый термин "gateway". В отечественной литературе нет термина, однозначно отображающего понятие "gateway". Так, в сетях радиотелефонной связи такие станции называются станциями сопряжения, узловыми станциями и даже базовыми (по аналогии с наземными сетями). В сетях передачи данных для их обозначения чаще используется термин "региональная станция", так как он наиболее точно отражает назначение наземной станции, а именно управление и контроль за работой сети абонентских терминалов в определенном географическом регионе, в том числе сбор данных с необслуживаемых или обслуживаемых объектов.

Через станции сопряжения обеспечивается выход абонентов в наземные выделенные сети, телефонные сети общего пользования ТФОП или цифровые сети интегрального обслуживания (ISDN).

Между станциями сопряжения и ретранслятором организуются так называемые фидерные линии, т.е. линии, по которым передаются большие потоки информации. Связь по фидерным линиям осуществляется, как правило, в диапазоне частот от 4 до 30 ГГц.

Станции сопряжения располагаются исключительно в обжитых районах земного шара, поскольку они содержат базу данных о начисляемой абонентской плате и должны подключаться к телефонным сетям общего пользования. На них также производится регистрация абонентов, ведется учет поступающих вызовов, времени разговора абонента и других показателей, необходимых для выставления абонентских счетов.

Подсоединение абонентов спутниковых систем к каналам других систем осуществляется через станции сопряжения. Станции сопряжения реализуют аппаратную и программную поддержку протоколов этих систем, выполняя при этом функции шлюза, где происходит промежуточное хранение сообщений.

Взаимодействие с ТфОП в каждой стране или регионе осуществляется с учетом национальной системы нумерации и вида сигнализации (SS №7 и др.)- По каналу сигнализации передаются сигналы начала и окончания разговора, тональные послышки вызова, сигналы оповещения и индикации условий разговора.

Количество станций сопряжения зависит от способа организации связи в глобальном масштабе. Так, в низкоорбитальных системах с межспутниковыми линиями достаточно 20-25 станций (Iridium), в системах с ретрансляцией через наземные станции их количество возрастает до 150-210 станций (Globalstar). Что же касается систем со средневисотными орбитами, то в них для глобального обслуживания требуется всего 7-12 станций (ICO, Odyssey).

### **11.2.2. МОДИФИКАЦИИ АБОНЕНТСКИХ ТЕРМИНАЛОВ**

В системе персональной связи предусматривается разработка широкой номенклатуры абонентских терминалов, удовлетворяющих требованиям различных категорий пользователей. В зависимости от назначения и выполняемых функций их можно разделить на четыре базовые группы:

- терминалы радиотелефонной связи (в них может быть предусмотрен режим передачи данных);
- терминалы только передачи данных, работающие в режиме двусторонней связи;
- чисто приемные терминалы (цифровой или буквенно-цифровой пейджер, стационарный терминал для приема электронных таблиц, информационно-справочных материалов и др.);
- передающие терминалы (необслуживаемые терминалы экологического мониторинга, радиомаяки, радиобуи).

Проведенный анализ отечественных и зарубежных разработок показывает, что в большинстве из них выбран модульный принцип построения абонентской аппаратуры. Каждый независимый модуль представляет собой стандартную съемную плату или конструктивно-законченный узел, подключаемый к базовому модулю. Благодаря модульной концепции построения абонентской аппаратуры, в принципе, не существует ограничений по созданию большого ассортимента терминалов и учета индивидуальных требований различных категорий пользователей. В зависимости от своего конструктивного исполнения и условий эксплуатации терминалы, в свою очередь, подразделяются на три типа: портативные, мобильные и стационарные (см. рис. 11.1).

Персональные радиотелефонные терминалы спутниковых систем мало отличаются по своему внешнему виду и дизайну от существующих моделей сотовых телефонов, хотя и несколько больше по размерам. Можно выделить следующие базовые типы портативных радиотелефонных терминалов:

- однорежимные, работающие только в сети спутниковой связи;
- двухрежимные (многорежимные), рассчитанные на обслуживание абонентов спутниковой и наземной сотовой сети.

Многофункциональность телефонных аппаратов достигается по-разному. Фирма Motorola изготовила портативный спутниковый телефон со сменными картриджами. Установка сменных картриджей в спутниковый телефон Iridium позволяет использовать его в качестве сотового аппарата соответствующего стандарта.

Японская фирма Куосега выпустила многофункциональный радиотелефон, который сделан в виде базовой конструкции, в которую вставляется обыкновенный сотовый телефон. В состав спутникового телефона входит также сменный или постоянно устанавливаемый элемент - модуль идентификации абонента (SIM-карта), который содержит индивидуальный номер телефона и другую информацию (данные об абоненте, блокирующие коды и т.д.). Абонент системы Iridium будет иметь единый номер телефона, доступный в любом уголке мира, где разрешено пользоваться услугами системы.

Портативные терминалы для передачи данных в системах класса little LEO обеспечивают автоматическое вхождение в связь, подготовку и ведение сеансов связи, ввод и вывод информации. Терминал снабжен ненаправленной антенной, обеспечивающей беспоисковую и бесподстроечную связь. Основное конструктивное отличие разных моделей терминалов - метод набора и ввода данных: с помощью встроенной клавиатуры или внешних вычислительных средств.

Мобильный терминал по сравнению с портативным имеет несколько большую мощность и может быть установлен на автомобиле, поезде, судне или самолете. Предполагается раз-

работать несколько модификаций мобильных терминалов, базовым из которых обычно является автомобильный. В его состав входят плоская ненаправленная антенна, радиомодем и при необходимости GPS/"Глонасс" приемник. Электропитание терминала осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением 12 В. К мобильному терминалу может быть подключен компьютер или пульт оператора с дисплеем и малогабаритной клавиатурой для набора текстовых сообщений.

Наличие широкой категории пользователей, уже имеющих вычислительные средства, предопределило разделение стационарного терминала на две составные части: аппаратную и внешние вычислительные средства: персональный компьютер или клавиатуру с дисплеем.

Необслуживаемый терминал является универсальным приемопередатчиком, предназначенным для установки в неотапливаемые железнодорожные или морские контейнеры, а также на нефте- и газопроводах, пунктах контроля экологической обстановки и т.д. Терминал имеет малые габариты и рассчитан на работу в полевых условиях эксплуатации. Его отличает промышленный дизайн, обеспечивающий использование терминала в местах, подверженных сильным ударам и другим неблагоприятным воздействиям. Программирование режимов работы автономного терминала и ввод/вывод данных от различных датчиков (измерения температуры, давления уровня жидкости в цистерне и др.) осуществляется через последовательный порт RS-232C.

### **11.3. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ И МАРШРУТИЗАЦИИ**

В зависимости от вида предоставляемых услуг, требований различных групп пользователей по времени ожидания и доставки сообщений, а также с учетом взаимного расположения абонентов в мобильных ССС организуются следующие варианты взаимосвязи между абонентами:

- региональная связь (связь в зоне радиовидимости одного КА);
- межрегиональная связь с ретрансляцией через спутники;
- межрегиональная связь с ретрансляцией через наземные станции сопряжения;
- перенос информации на борту КА (электронный "почтовый ящик"), при котором образуется виртуальный канал между парой абонентов, расположенных в зонах радиовидимости разных КА.

Ниже рассмотрены особенности вышеуказанных вариантов связи.

#### **Региональная связь**

При расположении абонентов в зоне радиовидимости одного КА связь между ними (речевая или передача данных) может быть организована в реальном времени и с минимальной задержкой. Как показывает практика, более 80% от общего объема регионального трафика составляют сообщения, передаваемые внутри одного региона, протяженностью 1000-2000 км. Размеры зоны обслуживания зависят от высоты орбиты, характеристик бортовых антенн и рабочих углов земных терминалов. Зона обслуживания для низкоорбитальных КА с высотой орбиты 700-1500 км при рабочих углах 10°-15° составляет 3000-5000 км. При рабочих углах терминалов 15°-25° для средневысотных КА (h=10000 км) размеры зоны обслуживания возрастают до 7000-8000 км.

Величина задержки при региональной (односкачковой) связи зависит от высоты орбиты, методов многостанционного доступа и протоколов организации связи. В качестве примера в табл. 11.2 приведены основные характеристики систем радиотелефонной связи с КА на низких (Iridium, Globalstar), средних (Odyssey, ICO) и геостационарной (КА Triton с шириной луча 1,5°) орбитах. Время установления радиотелефонной связи в Iridium и Globalstar, аналогично как и в наземной сотовой сети, не превышает 2 с. Наименьшая задержка (120 мс) обеспечивается в случае использования прозрачного ретранслятора и метода доступа CDMA (Globalstar). Средняя задержка в Iridium при местной и зоновой связи - 240 мс.

Небольшие размеры мгновенной зоны, высвечиваемой лучом спутниковой антенны на поверхности Земли, ограничивают возможности связи между абонентами в одном луче. Время радиовидимости в одном луче низкоорбитальных КА не более 1,5-2 мин, т.е. примерно равно средней длительности телефонного разговора. Для исключения перерывов в обслуживании, обусловленные переходом абонента из одной зоны связи в другую, в ряде систем

(Globalstar - двухрежимный терминал) предусмотрен механизм плавного перехода без ухудшения качества связи.

Таблица 11.2. Основные характеристики систем спутниковой радиотелефонной связи

Наименование системы	Iridium	Globalstar	Odyssey	ICO	GEO
Ширина луча, град	8,2	20,5	6,5	4,5	1,5
Диаметр мгновенной зоны парциального луча, км	600	1642	1192	813	942
Время радиовидимости КА, мин	9	10-12	120	120	постоянно
Время радиовидимости КА в одном луче, мин	1,5	2	н/д	н/д	постоянно
Задержка при одном скачке (местная связь), мс	240	120	190	240	400
Глобальная задержка (международная связь), мс	410	250	380	480	600

Алгоритм смены рабочих зон в общем случае основан на передаче контрольного (зондирующего) сигнала, позволяющего оперативно оценивать уровень принимаемого сигнала или отношение сигнал/шум. Наиболее простой механизм смены зон реализован в системе с кодовым разделением каналов Globalstar. В каждом из 16 лучей КА ретранслируется шумоподобный пилот-сигнал, а в терминале используется, как минимум, двухканальный приемник. Один из каналов приемника является информационным, а второй - поисковым. Периодически в терминале производится оценка уровня в каждом из 16 лучей и запоминается лучший из них. Как только произойдет снижение уровня в рабочем луче, абонентский терминал сообщает об этом станции сопряжения и переключается на двухканальный режим работы. Одновременный прием двух сигналов продолжается до тех пор, пока не поступит команда о смене зоны (переключения на другой луч).

#### **Межрегиональная связь с ретрансляцией через спутники**

В случае расположения абонентов в зонах радиовидимости разных КА связь может быть организована без промежуточного сброса сообщения на Землю. Такой режим возможен, если соседние КА в орбитальной группировке связаны между собой с помощью межспутниковых линий. Основное преимущество такого режима - связь между абонентами практически не зависит от наземных соединительных линий. Режим межспутниковой связи обеспечивает высокую гибкость в установлении соединений между удаленными абонентами, что позволяет минимизировать число станций сопряжения, но естественно за счет усложнения самой процедуры организации связи.

Для абонентов, удаленных на большие расстояния, длина канала связи, созданного с помощью межспутниковых линий, существенно больше, чем в наземной сети, что обуславливает задержку сигнала. Особенно отрицательно это сказывается при двухсторонней связи в режиме реального времени. Максимальная задержка в Iridium при международной телефонной связи равна 410 мс для 90% вызовов [37]. При глобальной речевой связи задержка в Iridium хотя и остается меньше, чем в случае использования геостационарных КА, однако все же превышает 300 мс.

Межспутниковая маршрутизация используется в ряде систем персональной спутниковой связи: Iridium (4 межспутниковые линии на КА), Celestri (6 МСЛ на КА) и Teledesic (8 МСЛ на КА).

#### **Межрегиональная связь с ретрансляцией через станцию сопряжения**

Большинство систем персональной связи строятся по региональному принципу в соответствии с которым информация со спутника сбрасывается на ближайшую наземную станцию сопряжения, которая отвечает за организацию связи в данном регионе.

Межрегиональная связь может быть организована двумя способами: по спутниковым (фидерным) линиям через соседние станции сопряжения или по магистральным линиям: наземным или спутниковым (служба ФСС).

"Замыкание" трафика в регионе на отдельную станцию сопряжения позволяет сделать ее частью национальной сети каждой страны, что привлекает провайдеров услуг этих стран, позволяя в будущем получать доход от системы. ,

Преимущество регионального подхода к организации связи в том, что местные станции сопряжения позволяют обеспечить минимальную задержку для основного контингента пользователей в своем регионе. В то же время межрегиональные и международные соединения становятся зависящими от состояния наземных сетей.

Обеспечение непрерывности радиотелефонной связи потребует большого количества станций сопряжения с дорогим коммуникационным оборудованием.

### **Связь в режиме электронного "почтового ящика"**

Один из эффективных способов организации связи, позволяющий обеспечить высокую пропускную способность, основан на использовании ретрансляторов с ЗУ на борту КА.

Радиолиния с электронным "почтовым ящиком" работает следующим образом. При появлении КА в зоне радиовидимости наземного терминала последний в выделенном временном интервале передает запрос на КА, производит интерактивный обмен с квитированием, а затем в течение отведенного для связи промежутка времени  $\Delta t$  осуществляет передачу данных. При этом моменты времени начала передачи могут произвольным образом сдвигаться, чтобы обеспечить максимальную пропускную способность в зоне.

Данные запоминаются на борту и хранятся до момента сброса их на Землю в зоне радиовидимости получателя. Используемые транспортные протоколы, как правило, обеспечивают возможность сборки пакетов одного сообщения, доставленных по различным маршрутам, в том числе через различные КА и региональные станции сопряжения.

Для увеличения темпа обмена с КА сообщения вначале подготавливаются, а затем считываются в автоматическом режиме. Способ использования виртуальных каналов позволяет увеличить пропускную способность, т.к. отпадает необходимость жестко закреплять каналы за пользователями на все время связи.

При равной высоте орбиты доля времени связи, обеспечиваемая одним КА с ЗУ на борту, значительно больше, чем в случае КА с мгновенной ретрансляцией. Действительно, если КА с мгновенной ретрансляцией обеспечивает связь только во время нахождения его в зоне радиовидимости двух абонентов одновременно, то КА с задержанной ретрансляцией обеспечивает связь с одной и той же станцией в значительно большей зоне обслуживания.

Достоинство режима с переносом информации на борту КА - возможность соединения абонентов без создания разветвленной наземной сети. В принципе для организации связи достаточно одного КА на полярной орбите. С его помощью можно организовать виртуальный канал между любой парой абонентов, расположенных в самых удаленных уголках мира. Естественно, что при таком обслуживании время доставки сообщения будет значительным.

При невысоких требованиях к задержке в обслуживании доставка осуществляется тем спутником, на который первоначально было передано сообщение. Если же требуется срочная доставка, то в этом случае осуществляется сброс сообщения на ближайшую к получателю региональную станцию и далее сообщение доставляется адресату по наземным каналам или каналам других систем.

В случае использования КА на орбитах, близких к полярным, оперативность доставки может быть повышена за счет переретрансляции сообщений между КА соседних "колец". Реализация такого режима потребует введения в состав системы дополнительной наземной станции переретрансляции, расположенной в одном из северных высокоширотных районов, где проходят орбиты разных орбитальных плоскостей.

Ретрансляторы с бортовыми ЗУ используются в большинстве систем спутниковой связи класса little LEO, ориентированных на передачу данных ("Гонец", Orbcomm, Faisat и др.).

## **11.4. ИНТЕГРАЦИЯ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ**

Организация радиотелефонной связи по спутниковым каналам имеет ряд особенностей. Во-первых, обязательно выполнение общепринятых международных стандартов, в частности, сквозная задержка сигнала при передаче от абонента к абоненту не должна превышать 300 мс. Во-вторых, переговоры не должны прерываться из-за переключения лучей при переходе с одного КА на другой, а обслуживание абонентов должно быть непрерывным и в реальном времени.

Это приводит к следующим принципам построения радиотелефонной системы: она должна объединять в единую сеть терминалы спутниковой и наземной сотовых систем связи различных стандартов (GSM, D-AMPS, CDMA и др.), а также обеспечивать предоставление

полного набора услуг (данные, передача телексных и факсимильных сообщений, определение местоположения, передача коротких сообщений и др.), обеспечиваемых системами класса little LEO.

На рис. 11.2. представлена схема маршрутизации каналов через наземную станцию сопряжения, которая иллюстрирует принципы интеграции спутниковых и сотовых систем персональной связи второго поколения. В случае, если абоненты находятся в радиусе действия своих базовых станций, то связь в пикозоне и макроне организуется без использования спутниковых каналов. Если абоненту А, находящемуся вне зоны действия сотового ретранслятора, необходимо связаться с абонентом В, то связь организуется через станцию сопряжения. При этом абоненты могут находиться как в зоне действия одного, так и разных КА (рис. 11.2).

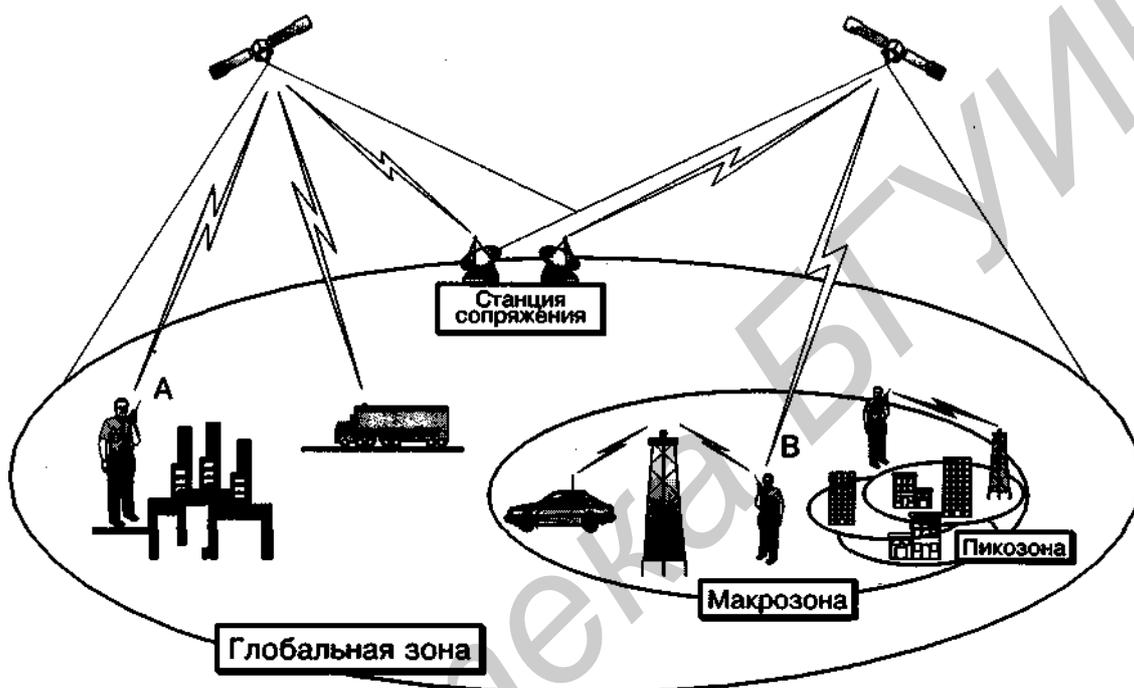


Рис. 11.2. Схема маршрутизации каналов через наземную станцию сопряжения

Теоретически терминалы радиотелефонной связи обеспечивают практически те же виды услуг, что и в наземных сетях, но в глобальном масштабе. Аналогично, как и в наземных сетях, предполагается использование многорежимных терминалов, ориентированных на работу в сотовых сетях разных стандартов. Таким образом, наметилась тенденция к интеграции наземных систем и систем персональной спутниковой связи.

В сотовых сетях наибольшее распространение получил общеевропейский стандарт GSM-900, обеспечивающий уплотнение 8 телефонных каналов в полосе частот 200 кГц. В системе GSM предусмотрено переключение вызова в движении, повторное использование частоты, медленная скачкообразная перестройка частоты (217 скачков в минуту). Для преобразования речи используется кодек с регулярным импульсным возбуждением и линейным кодированием с предсказанием (RPE/LTP). В США широкое распространение получила цифровая система D-AMPS (стандарт IS-54), в которой групповой сигнал образуется путем временного уплотнения трех каналов в полосе 30 кГц.

В спутниковой системе Iridium, аналогично как в GSM, формат TDMA состоит из 8 временных интервалов. Однако кадры для радиолиний "вверх" и "вниз", хотя и идентичны по структуре, но отличаются по скорости передачи (соответственно 180 кбит/с и 400 кбит/с). Суммарная длительность кадра равна 90 мс. Ширина полосы частот каждого канала составляет: 126 кГц (линия "вверх") и 280 кГц (линия "вниз"). В отличие от стандарта GSM, в котором в каждый момент времени организуется 8 каналов, в формате TDMA Iridium одновременно на несущей могут передаваться 29 (из них 4 служебных) и приниматься 64 (9 служебных) каналов (табл. 11.3).

**Таблица 11.3.** Основные характеристики цифровых стандартов сотовой и спутниковых систем

Тип системы	Наземные сотовые системы			Спутниковые системы	
	GSM	D-AMPS (IS-54)	CDMA (IS-95)	Iridium	Globalstar
Диапазон частот, МГц	890-915	800/1900	824,04-848,86	1616-1626,5	1610-1626,5 2483,5-2500
Метод доступа	TDMA	TDMA	CDMA	TDMA	CDMA
Ширина полосы канала связи, кГц	200	30	1250	126 (передача) 280 (прием)	1250
Количество каналов в заданной полосе	8	3	127	29 (передача) 64 (прием)	127
Скорость преобразования речевого кодека, кбит/с	13 (6,5)	8	2,4... 9,6	2,4	2,4
Общая скорость передачи, кбит/с	270	48	2,4... 9,6	2,4...4,8	2,4...9,6
Вид речевого кодека	RPE/LTP	VSELP	CELP	VSELP	CELP
Вид модуляции несущей частоты	GMSK (0,3)	$\pi/4$ DQPSK	QPSK (прием), OQPSK (передача)	QPSK	QPSK
Мощность передатчика, Вт	20 (1 класс) 8 (2 класс) 5 (3 класс) 2 (4 класс) 0,8 (5 класс)	3	6,3 (1 класс) 2,5 (2 класс) 1,0(3 класс)	5,9-8,8 дБВт (ЭИИМ)	3 (мобильн.) 0,4 (портат.)
Кодирование	$r=1/2, k=5$	$r=1/2$	$r=1/3, k=9$	$r=3/4, k=7$	$r=1/3$

В речевом кодеке используется алгоритм с линейным предсказанием VSELP (скорость передачи - 2,4 кбит/с). В линии связи речь передается дискретными блоками. Каждый передаваемый блок защищен от ошибок с помощью помехоустойчивого кода с прямым исправлением ошибок. Средняя оценка качества составляет 3,2 (оценка MOS).

Что касается метода CDMA, то как видно из табл. 11.3, сотовые и спутниковые системы используют практически один и тот же стандарт, хотя отличаются средними скоростями передачи: от 2,4 до 9,6 кбит/с (в наземной сети) и 2,4 кбит/с в спутниковой сети.

Основные услуги различных систем персональной (радиотелефонной) спутниковой связи идентичны. Ниже приведены дополнительные виды услуг, предлагаемые в системе Iridium.

#### **Дополнительные виды услуг в системе Iridium**

**Конференц-связь.** В системе Iridium предусматривается одновременная конференц-связь до 6 абонентов. Имея один активный звонок и один звонок на удержании, предусматривается возможность установить связь еще с тремя абонентами. При этом только сторона, которая является инициатором конференц-связи, может добавлять другую сторону к участию в разговоре.

**Голосовая почта.** Почта доступна для абонентов как телефонных, так и пейджинговых сетей, она позволяет оставлять голосовое и пейджинговое сообщение в голосовом ящике. Абонент, которому оно предназначено, может получить его, позвонив по номеру голосовой почты и введя свой персональный номер идентификации.

**Услуги экстренного вызова.** Услуги экстренной связи обеспечиваются системой Iridium в глобальном масштабе двумя способами:

- используя общесистемный код экстренного вызова 112 (при наборе номера абонентское устройство системы Iridium распознает звонок как экстренный вызов и обрабатывает его соответствующим образом);

- используя обеспеченный код экстренного вызова (для абонента предоставляется до 5-ти обеспечиваемых кодов на SIM-карте).

После распознавания такого звонка станция сопряжения определяет соответствующий местоположению абонента сервисный центр или службу экстренного вызова для оказания необходимой помощи.

**Услуга глобального оповещения.** Услуга дает возможность абонентам системы Iridium осуществлять глобальный пейджинг, основываясь на данных о последнем местоположении пользователя. Этот вид услуг позволяет сохранять связь даже в тех случаях, когда по какой-либо причине номер телефона абонента не доступен. В этом случае звонящий может, используя тоновый набор, оставить на пейджере абонента цифровое сообщение до 20-ти знаков, или же оставить "сообщение в голосовой почте". В последнем случае абонент будет извещен о наличии сообщений по пейджеру.

**Переадресация вызова.** Перенаправление всех входящих звонков на другой телефонный номер используется в том случае, если номер телефона абонента занят, а также когда абонент не отвечает или недоступен (отключен телефон абонента, отсутствие связи).

**Удержание вызова.** Услуга ожидания вызова, при которой происходит перевод входящего звонка в режим удержания. Удержание звонка применимо только к голосовому сервису. Однако, абонент, имеющий звонок на удержании, может осуществить другой звонок, используя различные виды услуг (например, передача факса или данных).

**Ожидание вызова.** Во время телефонного разговора может быть получено тоновое сообщение о входящем звонке. Ожидание вызова часто используется с такими видами услуг, как переадресация, удержание и отказ от входящего звонка.

**Усиление вызова.** Возможность, предоставляемая звонящему абоненту оставлять свой номер телефона, когда невозможно установить голосовую связь с абонентом, вследствие того, что абонентское устройство находится в состоянии "недоступен" (звонящий может передать до 20 цифр на дисплей телефона абонента).

**Запрет входящих и исходящих звонков.** Преодоление запрета осуществляется за счет введения пароля.

Сотовый роуминг в Iridium осуществляется за счет использования конвертора сигнальных протоколов системы Iridium. Услуги глобальной подвижной и персональной связи предоставляются абонентам системы Iridium и сотовых систем связи большинства стандартов на основании единых абонентских контрактов, единых абонентских номеров и единых телефонных аппаратов. Предусматривается полное взаимодействие сетей Iridium, GSM и IS-41, версия C (обработка 15 цифр), и частичное - с японским стандартом PDC (перенаправление вызова на номер абонента в системе Iridium).

## 11.5. СЕТИ ПЕЙДЖИНГОВОЙ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

### 11.5.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕЙДЖИНГОВОЙ СВЯЗИ

Новый вид услуг, предоставляемый системами спутниковой связи - это глобальный персональный радиовывоз. Такой вид услуг пока предоставляют две системы: Inmarsat-D и Iridium. Сигналы персонального вызова могут приниматься как с помощью специальных приемников (пейджеров), так и абонентских терминалов с встроенными пейджерами (оповещение о вызове). В каждой из систем создаются свои модификации пейджеров, работающие в сетевом поле (протокольном и адресном) своей системы. Объем передаваемых сообщений для уже действующих систем составляет:

- цифровое сообщение: 32 знака (Inmarsat), 20 знаков (Iridium);
- буквенно-цифровое сообщение: 128 символов (Inmarsat), 200 символов (Iridium);
- прозрачная передача данных (например, иероглифов): 400 символов (Inmarsat).

Спутниковая система может быть использована для наращивания наземной пейджинговой сети. Географическое положение зоны расширения действующей пейджинговой сети может быть любым. Она может примыкать к уже обслуживаемой зоне или находиться на любом удалении (в любой точке Земного шара). Время доставки сообщений в другую зону определяется орбитальной группировкой и структурой наземного сегмента.

Можно выделить три варианта организации глобального пейджинга в системах персональной спутниковой связи:

- вызов по телефонным каналам через оператора одной из действующих пейджинговых компаний и станцию сопряжения;
- непосредственный вызов через оператора станции сопряжения, если вызывающий абонент находится в зоне обслуживания этой станции или даже за ее пределами (в системах с межспутниковыми линиями);
- прямой вызов через спутниковый ретранслятор.

Доступ к спутниковой пейджинговой службе практически не будет отличаться от организации пейджинговой связи в наземной сети. Автоматически набранный код персонального вызова абонента через телефонную сеть поступает в службу пейджинга. Используя телефон с тоновым набором, или, позвонив на станцию сопряжения, абонент может изменить область доставки сообщения. Операторы, предоставляющие услуги глобального пейджинга в различных регионах (странах), установят соглашения, в соответствии с которыми пользователь будет иметь доступ к сети передачи данных на его страну. В случае пребывания в другой стране или регионе пользователь должен информировать об этом своего оператора.

Предлагаемый пейджинговый сервис в системе Iridium включает в себя: повтор сообщения, его блокировку, групповой вызов по зоне или по абонентам, переадресацию сообщений, посылку сообщений в указанное время, запись сообщения в почтовый ящик абонента и его считывание по запросу, а также возможность передачи голосового сообщения. Возможна передача сообщений одновременно в несколько регионов (до 10 в Iridium), если точно неизвестно местоположение адресата. Однако стоимость услуг в этом случае увеличится.

В системах передачи данных с бортовых ЗУ вопрос о выборе оптимального маршрута может решать бортовой процессор. При перемещении спутника он постоянно определяет номер обслуживаемого в данный момент региона и сравнивает его с номером, который содержится в сообщении. При совпадении этих номеров спутник передает сообщения абоненту.

Для отдельных пользователей, у которых отсутствует возможность доступа к наземной пейджинговой службе, может быть обеспечен радиодоступ через оператора станции сопряжения или прямой доступ к спутниковому ретранслятору (в системах с электронным почтовым ящиком на борту).

### **11.5.2. СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

Режим передачи данных по сравнению с речевой связью, как известно, обеспечивает более эффективное использование пропускной способности спутниковых каналов и не требует использования значительных системных ресурсов. Так, объем одного речевого сообщения, соответствующего 3-минутному разговору, будет не менее 50 кбайт (вокодер 2,4 кбит/с), в то же время средний объем одного сообщения той же информативности в сети передачи данных не превысит 1 кбайт.

Режимы передачи данных в системах класса little LEO и big LEO во многом сходны, хотя и имеются некоторые отличия. В обеих системах осуществляется прозрачная передача данных с переменной длиной сообщения и скоростью передачи от 2,4 до 9,6 кбит/с с вероятностью ошибки в радиоканале не хуже  $10^{-5}$ - $10^{-6}$ . Предусматривается также возможность передачи коротких и статусных сообщений, а также сообщений о местоположении подвижных объектов.

Персональные пользователи системы Iridium получают собственный телефонный номер для передачи данных и SIM-карту Iridium. Что же касается абонентов системы GSM, то они сохраняют свой существующий номер сотовой сети и SIM-карту GSM.

Как показывает анализ, большинство критических параметров при передаче данных зависят не только от скорости передачи, времени ожидания, но и от величины сквозной задержки. В табл. 11.4 иллюстрируется, как требования по задержке изменяются в зависимости от категории предоставляемых услуг и типа соединения.

Ниже приведены режимы, реализуемые в системах передачи данных.

#### **Режим передачи коротких и статусных сообщений**

Режим передачи коротких и статусных сообщений является основным в сетях передачи данных класса little LEO. Средний объем одного короткого составляет 64-128 байт (см. табл. 11.4). Пропускная способность сети в режиме коротких сообщений зависит от соотношения служебной и информационной частей сообщения. Длина служебной части сообщения определяется длительностью синхропреамбулы, адресной части и числом контрольных символов. В сетях пакетной передачи данных оптимизация этих параметров обеспечивается на уровне сетевых протоколов.

**Таблица 11.4.** Требования к передаче данных в сетях класса little LEO

Вид сообщения	Средний объем сообщения, байт	Среднее время ожидания, мин	Сквозная задержка в сети, с	Тип соединения
Короткое и аварийное сообщение	64-128 (короткое) 8 (аварийное)	30 (короткое) 5 (аварийное)	5 (короткое) 0,5 (аварийное)	Асимметричное одностороннее
Сообщения о местоположении	32	30	5	Асимметричное одностороннее
Пейджинг	200	5-15	30	Асимметричное одностороннее
Циркулярные сообщения	100-10000	30	1	Асимметричное одностороннее
Электронная почта и факс (обмен файлами)	5000-15000	30	1	Симметричное, двустороннее
Доступ в Интернет Работа с базами данных	50 (передача) 50·10 <sup>3</sup> (прием) и более	5	0,5	Асимметричное, двустороннее
Сбор данных (режим группового опроса)	8-10 (прием) 5000 (передача)	По расписанию	0,5	Асимметричное, двустороннее

### Экстренные и аварийные сообщения

Одной из наиболее важных задач в системах передачи данных является приоритетное обслуживание абонентов, передающих аварийные и экстренные сообщения в случае нештатных или чрезвычайных ситуаций. Возможны два способа организации экстренной связи:

- приоритетное предоставление спутниковых каналов для передачи аварийных и экстренных сообщений;
- передача экстренных сообщений по каналам связи общего пользования, а приоритетную обработку осуществлять на региональной станции сопряжения.

При радиотелефонной связи услуги экстренной связи могут обеспечиваться в глобальном масштабе с использованием специальных кодов экстренного вызова, которые обрабатываются приоритетным образом на станции сопряжения.

После распознавания такого звонка станция сопряжения определяет соответствующий местоположению абонента сервисный центр или службу экстренного вызова для оказания необходимой помощи.

### Передача факсимильных сообщений

Практически во всех системах персональной связи предусмотрен режим обмена факсимильными сообщениями со скоростью 2,4 кбит/с с использованием факсимильных аппаратов группы 3. Для этих целей в абонентском терминале обычно предусмотрен порт, к которому может быть подключен внешний факсимильный аппарат. Терминал способен принимать и хранить в памяти факсимильные сообщения, которые абонент может просмотреть, прокручивая телеграмму ее на экране дисплея. Жесткая копия факсимильного сообщения может быть получена при подключении внешнего факса или печатающего устройства.

В системе Iridium факсимильное сообщение посылается вызывающей стороной на номер факса абонента и хранится в его "почтовом ящике". Далее на пейджер или телефон абонента поступает сообщение о полученном на его имя факсе, после чего оно может быть переадресовано на факсимильный аппарат или по сети Iridium на компьютер, соединенный с телефонным аппаратом Iridium. Персональные абоненты системы Iridium получают специальный номер для услуг факсимильной связи и SIM-карту Iridium. Что же касается пользователей наземных сетей GSM и IS-41, то для них такой вид услуг не предусмотрен.

### Сбор данных от необслуживаемых датчиков

Задача сбора данных от необслуживаемых датчиков возникает во многих системах промышленного мониторинга и контроля окружающей среды. Эти системы могут создаваться с различными целями и контролировать различные параметры, например, экологические, гидрометеорологические, геофизические и сейсмические. Но в любой из них необходим мониторинг состояния объектов с заданной периодичностью.

Групповой сеанс проводится региональной станцией, которая последовательно опрашивает терминалы, расположенные в ее зоне обслуживания, посылая им короткие запросы. Терминалы работают в групповом сеансе по "жесткой" или адаптивно перестраиваемой программе. В каждом сеансе определены номера работающих терминалов, временной интервал их работы и объем передаваемой информации.

Географическое расположение наземных станций, организующих групповые сеансы, должно быть таким, чтобы любой подвижный или стационарный терминал находился в общей зоне радиовидимости хотя бы с одной региональной станцией.

Групповой сеанс позволяет оптимально использовать ресурсы системы за счет сокращения времени, требуемого для вхождения в связь, и снижения потерь, обусловленных конфликтами при установлении доступа. Пропускная способность в режиме автоматизированного сбора данных определяется количеством обслуживаемых объектов и периодичностью их опроса.

## 11.6. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АБОНЕНТСКИХ ТЕРМИНАЛОВ

Основными показателями абонентских терминалов являются диапазоны частот, ЭИИМ, добротность станции на прием G/T, а также тип антенны (направленная, ненаправленная) и ее размеры. Основные характеристики абонентских терминалов мобильной и персональной спутниковой связи приведены в табл. 11.5.

В системах с КА на ГСО широкое распространение получили стационарные терминалы типа VSAT, оснащенные антеннами 0,6-2 м и твердотельными усилителями мощности до 5 Вт. В негеостационарных системах персональной спутниковой связи используются портативные терминалы типа телефонной трубки с выходной мощностью 0,25-0,6 Вт и мобильные радиотелефонные терминалы с выходной мощностью 2-5 Вт. В соответствии с международным регламентом портативные и мобильные терминалы работают в диапазонах частот от 150 до 400 МГц (системы класса little LEO) и от 1,5 до 2,5 ГГц (системы класса big LEO), что позволяет использовать ненаправленные или слабонаправленные антенны.

### Выбор метода модуляции и кодирования

В системах персональной спутниковой связи энергетический потенциал сильно ограничен как в линиях "вверх", так и в линиях "вниз", что является определяющим фактором при выборе методов модуляции и кодирования информации.

В штатных режимах работы радиолиний<sup>1</sup> используются спектрально-эффективные виды модуляции, обеспечивающие, с одной стороны, минимальные затраты энергии при передаче информации с требуемым качеством а, с другой стороны, эффективное использование выделенной полосы частот. Последний фактор является особенно важным в системах глобальной связи, так как требует обеспечения электромагнитной совместимости одновременно на огромных территориях.

При ограниченной энергетике радиолиний имеют преимущество те виды модуляции, которые обеспечивают высокую помехоустойчивость: квадратурная фазовая манипуляция (QPSK), ее разновидность OQPSK, гауссовская манипуляция с минимальным сдвигом GMSK.

Наибольшее распространение получила квадратурная фазовая манипуляция QPSK, которая обеспечивает предельную спектральную эффективность около 2 бит/с • Гц. С точки зрения технической реализации использование QPSK также является более предпочтительным, поскольку обеспечивает более простую реализацию модема. Это обстоятельство явилось определяющим при выборе метода модуляции в системах Iridium, Inmarsat и других (см. табл. 11.5).

При реализации модема следует учитывать также ограничения, обусловленные большой частотной и временной неоднозначностью. Поэтому, если не применять специальных методов компенсации доплеровского сдвига, то выигрыш от применения QPSK окажется незначительным. Кроме того, использование на борту КА передатчиков, работающих в режиме ограничения, может вызвать восстановление боковых полос сигналов с многофазной модуляцией, ранее подавленных фильтрами.

<sup>1</sup> В командно-телеметрической радиолинии используются, как правило, методы частотной манипуляции, которые не приводят к потери связи в случае быстрых флуктуации фазы сигнала вследствие вращения или "кувыркания" КА (режим потери пространственной стабилизации).

**Таблица 11.5.** Основные характеристики абонентских терминалов

Наименование системы	Диапазон частот	Скорость передачи, кбит/с	Модуляция (скорость передачи)	ЭИИМ/Р <sub>вых</sub> , дБВт/Вт	Г/Т, дБ/К
<b>Системы с КА на геостационарной и высокоэллиптической орбите</b>					
ACeS	L	2,4-9,6	GMSK	-/0,6	
AMSC	L/Ku	2,4 или 4,8	QPSK (2,4) 8PSK (4,8)	12-26/-	-22
Archimedes	L	4,8 (местная) 9,6 (глобальная)	OQPSK	7/0,5	-22,5
Euteltracs (OmniTracs)	Ku	0,055-0,165 (передача) 4,96-14,88 (прием)	QPSK BPSK	н/д	н/д
Inmarsat-B Inmarsat-M Inmarsat-C	L	64 (24 - речь) 9,6 (8 - речь) 0,6 (данные)	QPSK QPSK BPSK	33/- 27/- 12-14/-	-4 -10-12 -23
MSAT	L	2,4 или 4,8	QPSK (2,4) 8PSK (4,8)	12-26/-	-22
Optus B	L	6,6 (4,2 - речь)	QPSK	-/3	-18
Prodat	L	0,6 (передача) 1,5 (прием)	OQPSK BPSK	13/-	-24
<b>Системы с КА на низких и средневысотных орбитах</b>					
Celestri-LEO	Ka	2048/16384 10000/16384 до 51 840	QPSK	48,5-60,7/5 39,8-52/5 33,2-39/20	19,5 15,1 6,5
Ellipso	L/S	4,8 (4,15 - речь)	QPSK (OQPSK)	-/0,25-1 (порт) до 5 (моб)	-25,4 -21
Globalstar	L/S	до 9,6 (2,4 - речь)	QPSK (OQPSK)	-0,7/0,6 (порт), 3 (моб)	-22
ICO	S	2,4-9,6	QPSK	-/0,25	-23,8
Iridium	L	2,4	QPSK	-/5,9	-23,8
Odyssey	L/S	4,8 (4,2 - речь) 64 (стационарный)	QPSK	-/0,5 (порт) 5 (моб)	-23,1
Teledesic	Ka	16... 2048 (передача) 28000/64000 (прием)	QPSK	-/0,01-4,7	н/д
"Гонец- Д1"	ДО 1 ГГц	2,7	BPSK	-/10	-23,5
"Гонец"	до 1 ГГц	2,4-9,6 (передач) 9,6-64 (прием)	GMSK	-/5-10	-24
Faisat	ДО 1 ГГц	1,2-9,6 19,2	GMSK(9,6) OQPSK(19,2)	н/д	н/д
Gemnet	ДО 1 ГГц	9,6	OQPSK	н/д	н/д
Leo-One	ДО 1 ГГц	2,4-9,6 (передач) 24 (прием)	н/д	н/д	н/д
Orbcomm	ДО 1 ГГц	2,4 (передача) 4,8 (прием)	SDPSK	-/5,0	н/д
Starsys	ДО 1 ГГц	0,6	BPSK	н/д	н/д
Vitasat	ДО 1 ГГц	2,4-9,6	FSK/AFSK	н/д	н/д

Поэтому более предпочтительной, с точки зрения снижения уровня внеполосного излучения, является квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом (OQPSK), в которой осуществляется сдвиг синфазного I и квадратурного Q каналов на половину периода символа и сглаживание спектра по закону Найквиста.

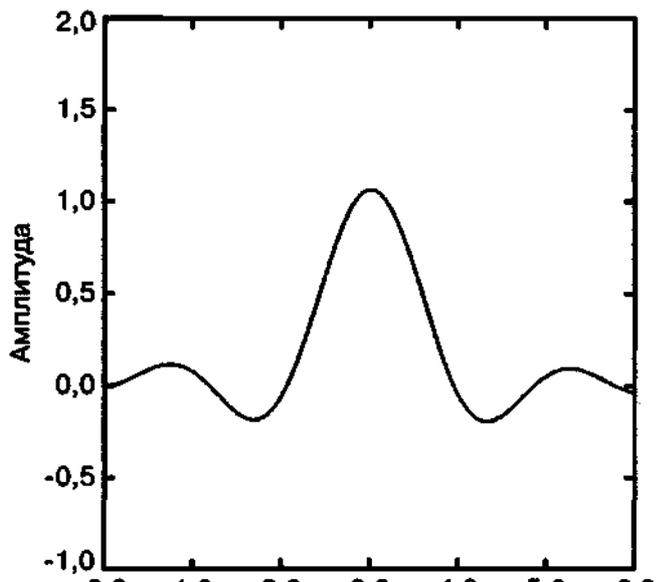


Рис. 11.3. Форма импульса с косинусным округлением спектра ( $\beta = 0,5$ )

На практике используют спектры Найквиста с так называемым косинусным скруглением (рис. 11.3). Коэффициент округления спектра  $\beta$  может принимать значения от 0 до 1. При малом коэффициенте  $\beta$  получается компактный спектр, однако демодулятор становится более чувствителен к ошибкам в радиоканале, что приводит к большим затратам при аппаратурной реализации. Поэтому на практике коэффициент  $\beta$  выбирается в пределах от  $\beta=0,35$  (стандарт IS-54) до  $\beta=0,7$ .

Исходя из необходимости отсутствия межканальных помех частотный разнос между каналами  $\Delta F$  должен удовлетворять условию  $\Delta F > (1+\beta)/T$ , где  $T$  - длительность информационного символа.

При выполнении указанного условия гарантируется, что снижение качества в результате искажения спектра сигнала будет незначительным, а энергетические потери невелики (спектральная эффективность OQPSK - 1,5 бит/с·Гц).

Зависимость спектра от нормированной частоты для различных значений ограничения импульсов по длительности приведена на рис. 11.4.

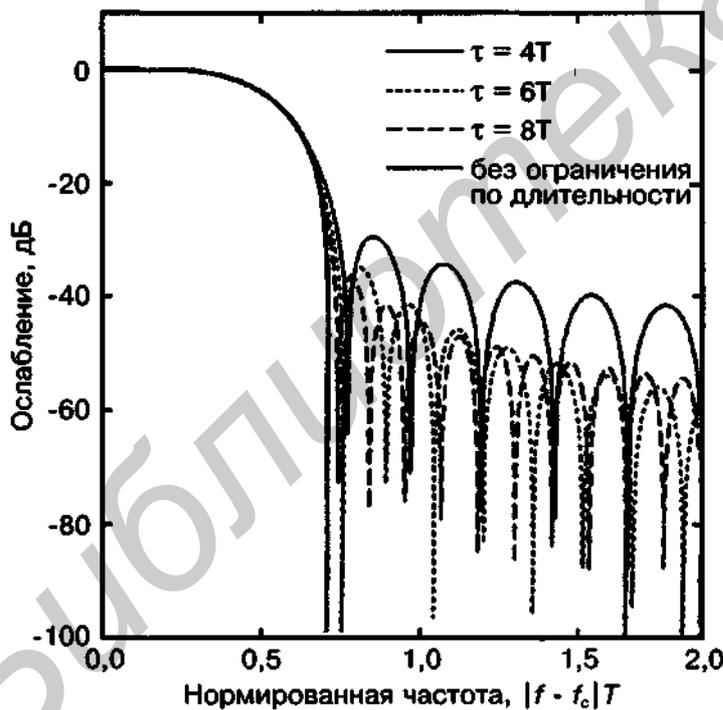


Рис. 11.4. Спектр OQPSK для  $\beta=0,5$  ( $f_c$  - частота сигнала)

Из рисунка видно, что если не применять ограничение, то спектр спадает практически мгновенно. Однако такой вид модуляции очень чувствителен к ошибкам и его аппаратурная реализация достаточно сложна.

Как уже говорилось ранее, только в системах с компенсацией доплеровского сдвига частоты целесообразно использование сигналов с компактным спектром и быстрым спадом внеполосного излучения. Наиболее высокая скорость убывания спектральных составляющих (пропорционально  $f^4$ ) обеспечивается при использовании манипуляции с минимальным сдвигом (MSK).

Для еще большей скорости снижения уровня внеполосного излучения входной информационный поток пропускается через фильтр с гауссовской характеристикой. Такая разновидность MSK получила название гауссовской манипуляции с минимальным сдвигом (GMSK).

Несмотря на то, что данный вид

манипуляции по сравнению с

QPSK имеет более низкую спектральную эффективность ( $\approx 0,7$  бит/с · Гц), однако он обеспечивает, как минимум, на порядок более низкий уровень внеполосного излучения, а следова-

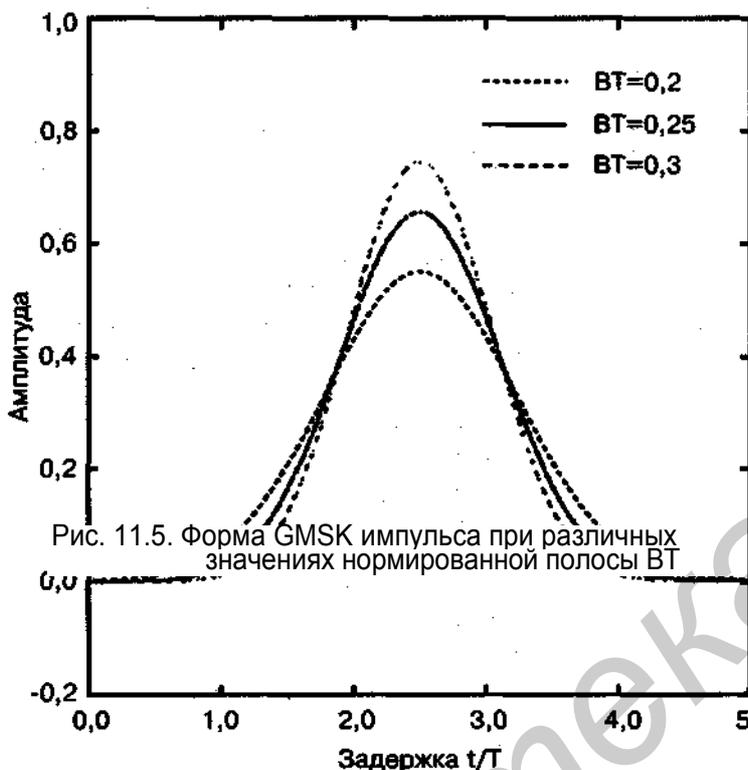


Рис. 11.5. Форма GMSK импульса при различных значениях нормированной полосы  $BT$

значение 0,25). В стандарте GSM нормированная полоса выбрана равной  $BT = 0,3$ .

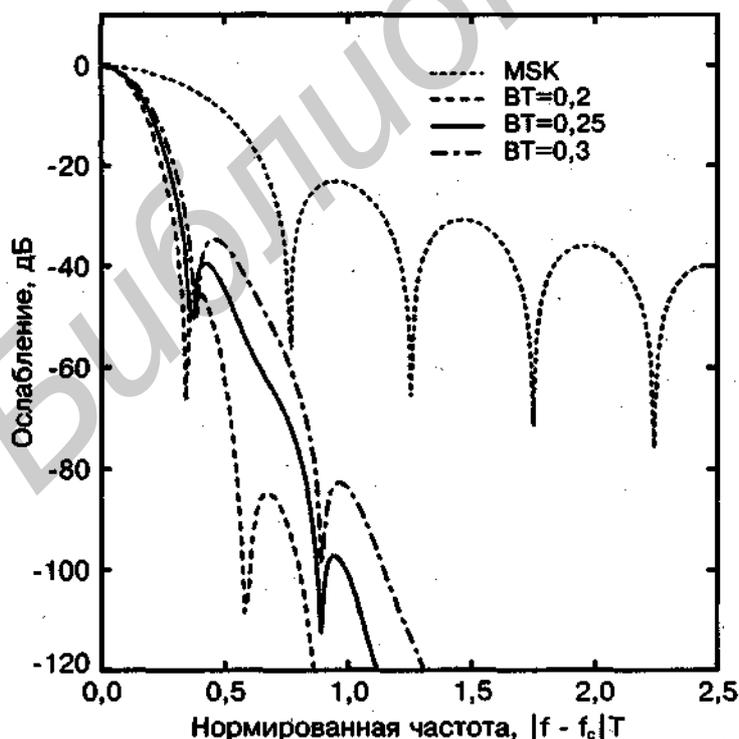


Рис. 11.6. Спектр MSK и GMSK затруднений.

тельно, более предпочтителен с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости. В основном GMSK предполагается использовать в спутниковых линиях, обеспечивающих низкоскоростную передачу информации (ACeS, Faisat, "Гонец").

Эффективность сглаживания спектра в GMSK зависит от величины нормированной полосы  $BT$  ( $B$  - ширина гауссовского фильтра по уровню 3 дБ,  $T$  - длительность одного символа). Зависимость формы гауссовского импульса от нормированной полосы  $BT$  показана на рис. 11.5. Заметим, что все используемые на практике импульсы ограничены по длительности. На рис. 11.5 длительность гауссовского импульса ограничена величиной  $\tau = 5T$ , т.е. временной сдвиг равен  $\pm 2,5T$ .

Спектр MSK и GMSK сигналов в зависимости от относительного сдвига частоты приведен на рис. 11.6. Уменьшение нормированной полосы  $BT$ , с одной стороны, делает спектр более компактным, однако, с другой стороны, это приводит к снижению помехоустойчивости.

Как показали исследования, на практике  $BT$  выбирается в пределах от 0,2 до 0,3 (типичное

Выбор совместимых методов кодирования и модуляции является одним из ключевых вопросов проектирования абонентских терминалов. Наиболее широкое распространение получили методы помехоустойчивого кодирования, основанные на использовании сверточных кодов. Так, сверточный код двойной избыточности ( $r=1/2$ ,  $k=7$ ) в сочетании с кодом Рида-Соломона дает выигрыш в энергетике не менее 4,5 дБ.

Используемые методы кодирования достаточно эффективны при случайном характере ошибок в канале. В реальном же канале из-за наличия мешающих сигналов от РЭС, работающих в том же диапазоне частот, следует ожидать возникновения пакетов ошибок. Для борьбы с пакетированием ошибок используется перемежение исходной информации. Для относительно невысоких скоростей передачи информации реализация соответствующих кодеров не представляет

### Сравнение энергетических характеристик абонентских терминалов систем персональной радиотелефонной связи

В настоящее время известны 4 наиболее крупных проекта глобальных систем персональной связи на низких и средних орбитах - Iridium, Globalstar (LEO), Odyssey и ICO (MEO), а также 2 проекта систем персональной связи на геостационарной орбите: Tritium-G (GEO-G) - глобальная связь с помощью трех КА и Tritium-R (GEO-R) - региональная персональная связь. Сравнительные энергетические характеристики радиотелефонных терминалов этих систем приведены в табл. 11.6.

**Таблица 11.6.** Сравнительные энергетические характеристики радиотелефонных терминалов систем персональной спутниковой связи

Наименование системы	Iridium	Globalstar	Odyssey	ICO	GEO-G	GEO-R
Диапазоны частот, ГГц Линия "Земля-спутник" Линии "спутник-Земля"	1,61-1,63 1,61-1,63	1,61-1,63 2,48-2,5	1,61-1,63 2,48-2,5	1,98-2,01 2,17-2,2	2,0 2,2	1,5 1,6
Ширина полосы частот, МГц	10,5	16,5	16,5	30	30	34
Ширина полосы частот канала, кГц	50,0	1250,0	67,4	25,2	20,0	27,0
Скорость передачи на несущую, кбит/с	50	2,19	4,8	36	32	45
Выходная мощность, Вт (усред.)	0,45	0,5	0,8	0,25	0,625	0,5
Выходная мощность, Вт (номин.)	3,6	0,5	0,8		5,0	4,0
Коэффициент усиления антенны, дБи	1,0	2,6	1,6	1,7	1,7	1,7
ЭИИМ среднее, дБВт	-3,1	-0,7	0,5	-1,0	-1,0	-2,0
ЭИИМ пиковое, дБВт	5,9	-0,7	0,5	6,8	8,0	7,0
Шумовая температура, дБ • град	24,8	24,6	24,7	25,5	25,5	25,5
Г/Т, дБ/К	-23,8	-22,0	-23,1	-23,8	-23,8	-23,8
Скорость передачи речи, кбит/с	2,4	2,4	4,8	4,0 (6,0)	2,4 (4,0)	4,0 (5,6)
Eb/No для речи	5,5	5	4,2	5,2	5,4	5,1
Кодирование (FEC код)	3/4	1/3	3/4	1/3	3/5	3/4
Вероятность ошибки при передаче данных	5-10 <sup>-6</sup>	10-6	10-5	10-5	5-10 <sup>-6</sup>	5-10 <sup>-6</sup>
Отношение сигнал помеха С/И по боковым лепесткам, дБ	18	н/Д	н/Д	15	13,2	15
Запас в линии "вверх", дБ	15,7	13	6	5 7	7	10
Запас в линии "вниз", дБ	15,7	16	4,5		7	10

## **12. ИНТЕГРАЦИЯ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ И СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

### **12.1. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ**

Внедрение в системы персональной (радиотелефонной) спутниковой связи услуг местоопределения в определенной степени усилило интеграцию средств навигации и связи в интересах широкой группы сухопутных, морских и авиационных пользователей.

Как показывает мировой опыт, обеспечение безопасного и эффективного движения транспортных средств зависит от трех факторов: связи, навигации и наблюдения. Связь предполагает возможность оперативного обмена информацией между подвижным объектом и диспетчером или службой, отвечающей за безопасность движения. Навигация - это точное определение координат подвижного объекта. И, наконец, наблюдение заключается в использовании связной и навигационной информации для отображения текущего положения объекта и отслеживания по электронной карте маршрута его передвижения. Данные три функции являются основными при сопровождении перевозок ценных и опасных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом, при организации управления воздушным движением и обеспечении безопасности судоходства.

В настоящее время в мире все время возрастает число подвижных объектов, которым требуются средства навигационного обеспечения, позволяющие определять их координаты, скорость и другие параметры движения. Так, в середине 90-х годов мировой парк насчитывал около 1 млн. подвижных объектов, которым требовалось определение местоположения на профессиональной основе. К 2000 г. их количество возрастет до 2,5 млн., причем из их числа, по крайней мере, несколько сотен тысяч потребителей навигационных услуг будут находиться в РФ.

До недавнего времени средства навигации применялись исключительно для военных нужд, мореплавания и полетов авиации. Однако с появлением малогабаритных навигационных средств, в том числе персональных, круг потенциальных потребителей существенно расширится. Их число существенно превышает указанные выше цифры. Интегральные услуги связи и навигации необходимы для всех видов транспорта - автомобильного, железнодорожного, морского и гражданской авиации.

#### **Основные категории пользователей навигационных и связных услуг**

В настоящее время можно выделить несколько различных категорий сухопутных, морских и авиационных пользователей, которые с точки зрения оптимального обслуживания, можно отнести к разным сегментам рынка:

- персональные пользователи ССС;
- дальние транспортные и грузовые перевозки, транспортировка контейнеров смешанными видами транспорта;
- местное движение, включая связь и навигацию на дорогах и в пределах города;
- обеспечение навигационными средствами индивидуального транспорта;
- движение в сельских, удаленных, малонаселенных и лесных районах;
- связь и навигация на железнодорожном транспорте, повышение интенсивности движения поездов без угрозы безопасности, контроль местонахождения вагонного парка;
- непрерывное глобальное навигационное обеспечение гражданской авиации;
- навигация и связь для малых судов, рыболовства, отдыха на воде;
- обеспечение деятельности различных служб в чрезвычайных ситуациях (спасательные службы, службы скорой помощи, милиция, пожарники).

Для обеспечения дальних перевозок требуется использование глобальных навигационных систем типа GPS/Глонасс", имеющих глобальную рабочую зону и позволяющих производить определение местоположения в любое время и в любом месте Земли. Парк междугородных автобусов также является потенциальным потребителем на рынке услуг связи, т.к. их движение предусматривается строго по расписанию, а следовательно, необходимы услуги по определению местоположения на всем маршруте следования транспорта.

В управлении местным движением спутниковые системы связи и навигации могут использоваться для планирования и распределения транспортных потоков.

Индивидуальный транспорт является перспективной областью использования интегрированных систем связи и навигации. Благодаря новым системам управления, электронным картам, информационной службе предупреждения о заторах на дорогах, можно снизить загруженность городских магистралей в часы пик и сократить время поездок. В перспективе с помощью интегрированной спутниковой системы связи и навигации можно решить задачу нахождения потерянного или угнанного транспорта.

Особо важную роль играют персональные средства спутниковой связи и глобальной навигации в сельской местности, удаленных и труднодоступных районах, где использование других видов связи и навигации крайне затруднительно.

В области железнодорожного транспорта спутниковую навигацию можно использовать для регулярной передачи данных о местонахождении поездов, контроля параметров движения на электронных картах. Железнодорожный транспорт считается более безопасным, чем автомобильный, а следовательно, необходимость в передаче экстренной информации возникает сравнительно редко, в основном, лишь в нестандартных ситуациях. Здесь важны аспекты безопасности и обеспечения контроля за графиком движения поездов, особенно при прохождении в топографически сложных местах (туннелях и др.)

Основная цель применения интегрированных систем глобальной навигации и связи на море - обеспечение безопасности мореплавания. Транспортировка речным или морским транспортом опасных грузов, в первую очередь, химических материалов и нефтепродуктов, несет большую опасность. Многие трагедии на море можно было бы избежать, если бы суда точно знали свое местоположение и были бы своевременно организованы поисково-спасательные работы. Статистика свидетельствует, что при среднемировом количестве танкеров и судов с опасными грузами, равном 7500, годовое количество аварий на море с разливами груза составляет около 0,3% в год. В настоящее время созданы все предпосылки для интеграции на средних и крупных судах средств навигации, связи и радиолокации.

Средства связи с возможностью определения координат необходимы при поиске людей в чрезвычайных ситуациях, для ориентирования на маршруте туристических групп и отдельных путешественников, исследования миграции животных.

Среди других областей можно выделить задачу определения местоположения при геодезических и геологических изысканиях, определении координат при прокладке трасс, дорог и др.

### **Классификация систем навигации**

Для определения местоположения объекта можно применять различные методы навигации. Развитие радионавигационных систем (РНС) имеет более, чем 60-летнюю историю. Некоторые из РНС уже прекратили существование, другие оказались более живучими и до сих пор используются для целей навигации. Классификация существующих и перспективных глобальных систем навигации приведена на рис. 12.1. Все системы глобальной навигации могут быть разделены на три группы: спутниковые навигационные системы (СНС), наземные РНС дальнего и сверхдальнего действия и системы навигации, построенные на базе связных и метеорологических КА. В зависимости от высоты орбиты СНС, в свою очередь, разделяются на три группы: геостационарные (система GNSS), средневысотные с высотой орбиты порядка 20 тыс км (системы GPS и "Глонасс") и низкоорбитальные с высотой орбиты порядка 1000 км (системы Transit и "Цикада").

В зависимости от диапазона используемых частот (ОНЧ или НЧ) системы навигации наземного базирования могут быть разделены на две группы: РНС сверхдальнего действия с наземным базированием станций (Omega, "Альфа") и РНС дальнего действия (Logan-C, Десса, "Чайка"). Все вышеуказанные системы обеспечивают координатно-временное обеспечение заинтересованных потребителей.

Следует отметить, что специализированные глобальные навигационные системы, будучи системами двойного назначения, принадлежат военным ведомствам своих стран, что вызывает определенные сложности при их использовании гражданскими потребителями. Об этом свидетельствует, в частности, нежелание США при разработке проекта глобальной системы передачи дифференциальных поправок ориентироваться на гражданских пользователей.

Возможность создания чисто коммерческих (гражданских) систем глобальной навигации основана, в первую очередь, на использовании низкоорбитальных связных и метеорологических КА (см. рис. 12.1). Однако принципиально существует возможность определения местоположения и с использованием геостационарных КА (системы Omnitrac и Euteltracs). Все перечисленные способы определения местоположения будут более подробно рассмотрены в последующих разделах данной главы.

Использование интегрированных систем навигации и связи позволяет значительно улучшить массогабаритные характеристики навигационных комплексов, снизить их энергопотребление и повысить надежность.

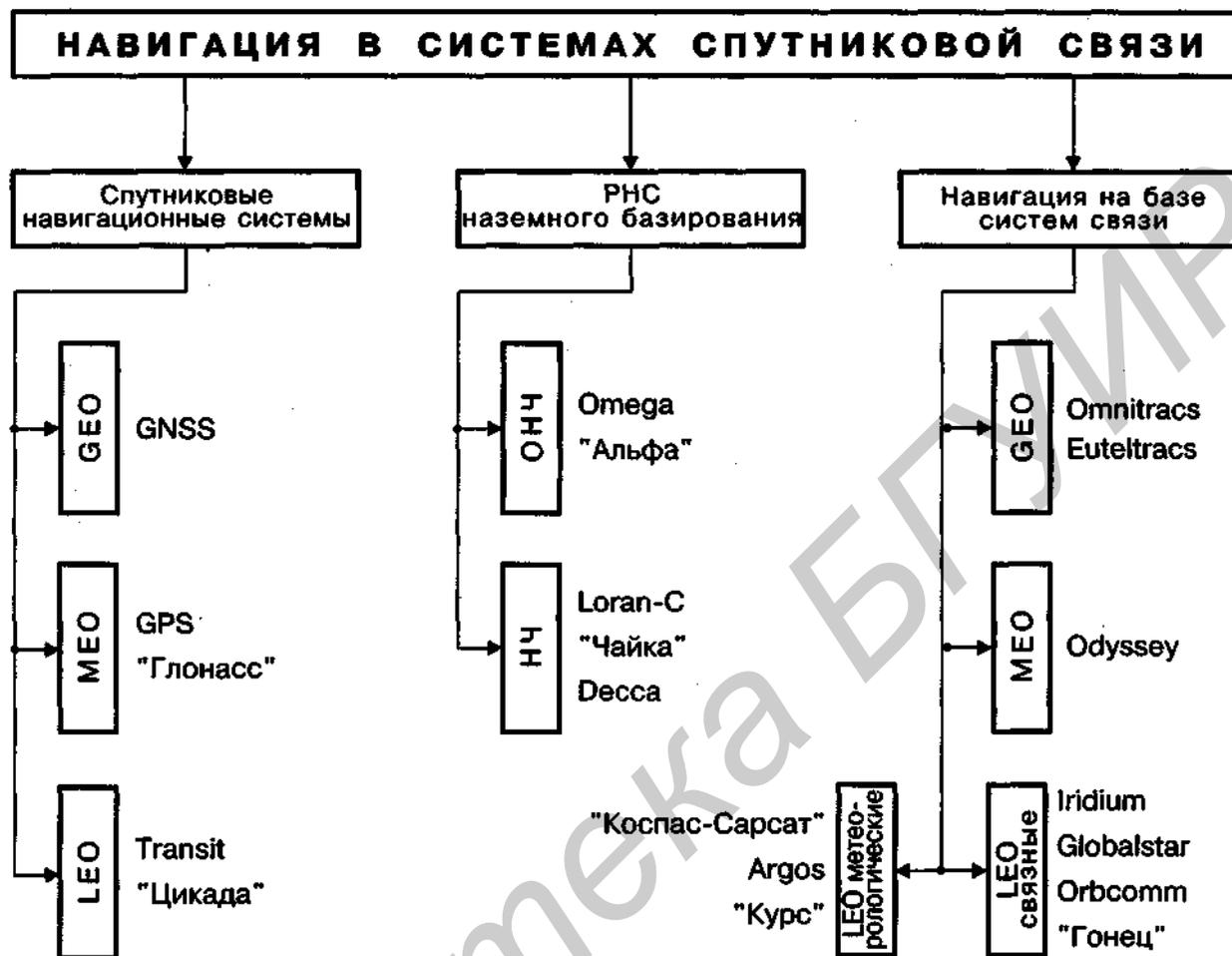


Рис. 12.1. Классификация систем навигации

## 12.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ GPS/"ГЛОНАСС"

### 12.2.1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ GPS И "ГЛОНАСС"

Глобальная навигационная система GPS (Global Positioning System), известная также как Navstar (Navigation System with Time and Ranging - Навигационная система определения времени и дальности), предназначена для передачи навигационных сигналов, которые могут одновременно приниматься неограниченным количеством пользователей в различных регионах мира. Система была разработана по заказу министерства обороны США, а изготовление КА осуществлялось компанией Rockwell International. Первая штатная орбитальная группировка системы разворачивалась с июня 1989 г. по март 1994 г, когда на орбиту были выведены 24 КА Block II. Окончательный ввод в эксплуатацию системы состоялся в 1995 г. Ее обслуживание осуществляет МО США.

Первоначально система GPS была ориентирована только на военных потребителей, но уже сегодня она вышла за рамки чисто навигационных задач и широко используется во всем мире в системах связи, геодезии, картографии, метеорологии. С помощью GPS приемника может быть произведено высокоточное определение координат объекта (широта и долгота), скорости и точного времени.

Российская спутниковая навигационная система (СНС) аналогичного назначения, известная под названием "Глонасс" (ГЛОбальная Навигационная Спутниковая Система) тоже разрабатывалась по заказу МО (но - России). В настоящее время она применяется для предоставления навигационных услуг различным категориям пользователей без каких-либо ограничений. Орбитальная группировка российской системы была развернута в начале 90-х годов, а коммерческая эксплуатация осуществляется с 1995 г.

## 12.2.2. СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В системах GPS и "Глонасс" очень схожая архитектура - их орбитальная группировка состоит из 24 КА, обе системы работают в L диапазоне частот. Однако имеется и ряд отличий. Спутники GPS находятся в 6 орбитальных плоскостях по 4 КА в каждой в отличие от КА "Глонасс", в которой КА распределены в 3-х плоскостях по 8 спутников в каждой. Высота орбиты и период обращения КА "Глонасс" несколько меньше, чем у GPS. Система координат GPS основана на всемирной геодезической системе WGS-84, а время связано с UTC, которое поддерживается морской обсерваторией США. Система "Глонасс" связана с отечественной геодезической системой ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 г.) и работает по национальному стандарту. Основные характеристики рассматриваемых систем приведены в табл. 12.1.

**Таблица 12.1.** Основные характеристики спутниковых навигационных систем GPS и "Глонасс"

Название системы	GPS	"Глонасс"
<b>Основные характеристики орбитальной группировки</b>		
Количество КА	24	24
Число орбитальных плоскостей	6	3
Количество КА в каждой плоскости	4	8
Высота орбиты, км	20000	19100
Наклонение орбиты, град	55	64,8
Период обращения КА	1 ч 11 мин 58 сек	11 ч 16 мин
<b>Основные характеристики КА</b>		
Масса КА, кг	1055	1400
Мощность солнечных батарей, Вт	450	н/д
Срок эксплуатации, лет	7,5	3 ("Глонасс") 7 ("Глонасс-М")
<b>Характеристики навигационных ретрансляторов</b>		
Рабочие частоты, МГц	L1 =1575,42 L2=12275,6	1602,56-1615,5
ЭИИМ/мощность передатчика, дБВт/Вт	-150 (L1) -18 (L2)	24-27/-
Поляризация	правосторонняя	правосторонняя
<b>Показатели точности навигационных определений</b>		
Точность определения местоположения, м	100 (С/А код) 16 (Р-код)	100(СКО)
Точность определения скорости движения, м/с	10 (С/А код) 0,1 (Р код)	0,9
Точность определения времени	340 нс (С/А код) 90 нс (Р-код)	0,33 мкс
Надежность навигационных определений	95%	95%

Контроль за работой навигационных КА осуществляется с помощью сети наземных станций наблюдения. Все спутники GPS/"Глонасс" являются автономными. Параметры их орбит периодически контролируются сетью наземных станций слежения, с помощью которых не

реже одного-двух раз в сутки вычисляются баллистические характеристики, регистрируются отклонения КА от расчетных траекторий движения и определяется собственное время бортовых часов.

Сеть наземных станций служит также для контроля исправности навигационной аппаратуры, установленной на борту КА. Процедура обнаружения отказов с помощью штатных средств систем GPS/"Глонасс" занимает, как минимум, несколько часов. Поэтому ни одна из этих навигационных систем не отвечает требованиям доступности, тем более, что неизбежно будут неисправные спутники или моменты, когда они будут выводиться из эксплуатации для технического обслуживания.

### **Структура навигационных сигналов системы GPS**

Каждый GPS спутник излучает специальный навигационный сигнал в виде фазоманипулированной псевдослучайной последовательности на двух частотах L1 и L2.

В системе используются два кода, один из которых, так называемый C/A код (coarse/acquisition или clear/acquisition), доступен широкому кругу гражданских пользователей. Этот код позволяет получать приближенную оценку местоположения и поэтому называется грубым кодом.

Точный код, известный как P код (precision code), позволяет более точно вычислять координаты, но доступ к нему ограничен провайдером услуг GPS. В основном этот код предоставляется военным и федеральным службам США. Кроме двух вышеуказанных кодов, в GPS может использоваться так называемый Y код, являющийся шифрованной версией P кода.

Передача C/A кода осуществляется на частоте L1 с использованием фазовой манипуляции псевдослучайной последовательности длиной 1023 символа. Защита от ошибок обеспечивается с помощью кода Гоулда. Период повторения C/A кода - 1 мс. Тактовая частота - 1,023 МГц.

P код передается на частоте L2 с использованием сверхдлинной псевдослучайной последовательности с периодом повторения 267 дней. Тактовая частота равна 10,23 МГц.

Кроме C/A и P кода с навигационного спутника регулярно передается специальное сообщение, которое содержит дополнительные сведения, информирующие пользователя о состоянии самого спутника и его параметрах: системном времени, эфемеридах, прогнозе ионосферной задержки и показателях работоспособности. Передача навигационного сообщения осуществляется со скоростью 50 бит/с на частотах L1 и (или) L2. Длина навигационного сообщения - 1500 бит.

### **Отличие структуры GPS и "Глонасс"**

В отличие от GPS, в которой осуществляется многостанционный доступ с разделением по коду, в системе "Глонасс" используется многостанционный доступ с частотным разделением и C/A код начинается на частоте L1, равной  $1602 \text{ МГц} + 0,5625n$ , где  $n=1...24$ .

В системе "Глонасс" отсутствует так называемый режим селективного доступа, при котором преднамеренно снижается точность, предоставляемая гражданским пользователям системы GPS, использующим C/A код. В системе GPS с C/A кодом в навигационное сообщение вносятся ошибки искусственного происхождения. Такими ошибками являются неверные данные об орбите спутника и искаженные показания бортовых часов (за счет внесения добавочного псевдослучайного сигнала).

### **12.2.3. ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ**

Определение координат подвижного абонента осуществляется с помощью стандартного навигационного GPS или GPS/"Глонасс" приемника, встроенного в терминал пользователя. Устройство, как правило, использует собственную миниатюрную антенну и автономно вычисляет географические координаты и всемирное время (UTC) по навигационным сигналам систем GPS/"Глонасс". В отдельных случаях навигационная антенна может быть совмещена со связной антенной терминала (например, в системе Inmarsat-C). Сбор навигационных данных может осуществляться как в обслуживаемом, так и в необслуживаемом режиме работы терминала.

Существуют два основных подхода к определению местоположения. Первый предполагает наличие у абонента стандартной навигационной аппаратуры, которая позволяет с заданной точностью определять координаты. Данные о местоположении по каналам спутниковой связи поступают в диспетчерский пункт. Второй метод основан на определении координат по доплеровскому сдвигу частоты и не требует использования специальной навигационной аппаратуры.

Принцип определения местоположения объектов с использованием GPS/"Глонасс" приемников иллюстрируется на рис. 12.2. Этот метод наиболее пригоден для пользователей, которым необходима высокая точность определения местоположения (100 м и менее). Суть его заключается в следующем: после того, как навигационный приемник захватил сигнал, он автоматически вычисляет координаты объекта, скорость и всемирное время и формирует отчет. Сопряжение навигационного приемника с абонентским терминалом осуществляется по стандартному интерфейсу RS-232.

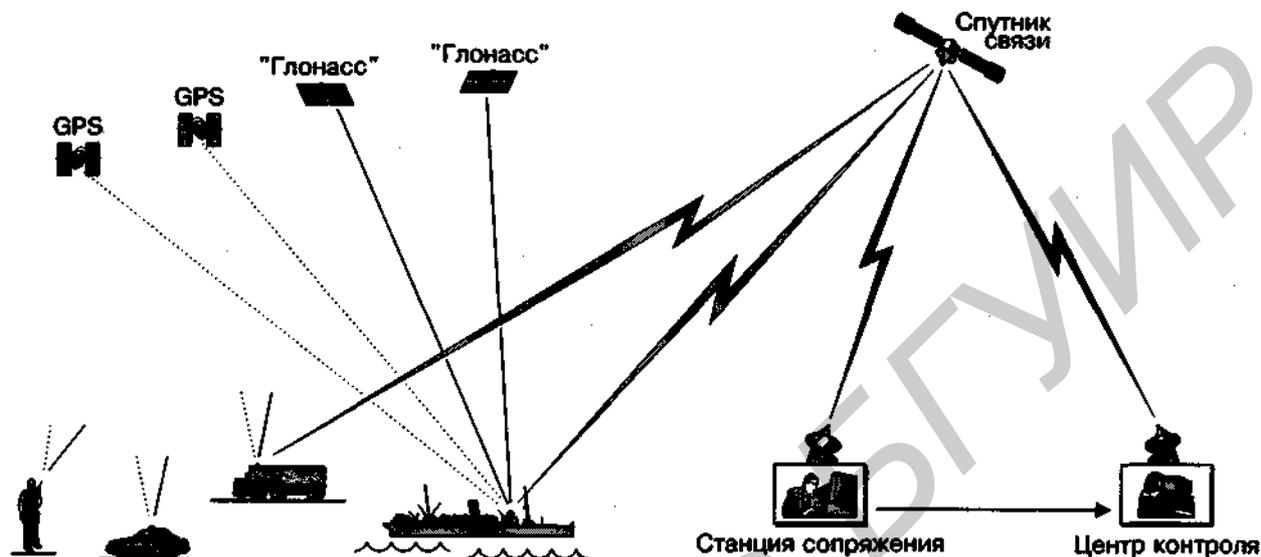


Рис. 12.2. Схема определения местоположения в системах спутниковой связи с использованием GPS/"Глонасс" приемников

#### 12.2.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЕМНИКОВ GPS И "ГЛОНАСС"

К числу основных параметров навигационных приемников относятся: количество каналов приема, скорость обновления данных, время вычислений, точность определения координат и надежность навигационных определений.

В современных GPS-приемниках обычно имеется от 6 до 8 приемников, что позволяет отслеживать практически все навигационные спутники, находящиеся в зоне радиовидимости объекта. Если число каналов меньше количества "наблюдаемых" спутников, то автоматически выбирается наиболее оптимальное сочетание КА. Скорость обновления навигационных данных составляет порядка 1 секунды. Время обнаружения зависит от количества одновременно наблюдаемых спутников и режима определения местоположения.

Определение навигационных параметров может производиться в двух режимах: 2D (двумерный) и 3D (пространственный). В режиме 2D определяется широта и долгота (высота считается известной), и для этого достаточно присутствие в зоне радиовидимости 3-х и более спутников. Время определения координат в режиме 2D обычно не превышает 2 мин. Для определения пространственных координат абонента (режим 3D) требуется одновременное наличие в зоне не менее четырех КА, что гарантирует время обнаружения не более 3-4 мин, а точность вычисления координат не хуже 100 м.

Функционально навигационный приемник сигналов для системы GPS состоит из приемного модуля и малогабаритной антенны с малошумящим усилителем. Приемный модуль выпускается как в виде автономного устройства со встроенными источниками питания, так и в виде отдельной платы, встраиваемой в терминал.

Что же касается аппаратуры "Глонасс", то, к сожалению, до настоящего времени выпуск малогабаритных и относительно дешевых приемников "Глонасс" не налажен. По этим причинам определение местоположения с помощью приемников "Глонасс" ограничено. Этим видом услуг пользуются преимущественно российские пользователи, да и то в системах специального назначения.

## **Особенности построения интегрированных GPS/Глонасс" приемников**

Идея создания интегрированной аппаратуры с обобщенным алгоритмом определения местоположения основана на представлении GPS/Глонасс" в виде одной системы с единой орбитальной группировкой.

В состав типовой интегрированной аппаратуры потребителя входят малогабаритная антенна с выносным маломощным усилителем, широкополосный приемник, АЦП, многоканальный коррелятор и процессор, реализующий алгоритм многомерной фильтрации.

Широкополосный приемник должен перекрывать весь рабочий диапазон систем GPS и Глонасс". С выхода АЦП на вход многоканального коррелятора поступают сигналы всех "видимых" КА этих систем. Коррелятор может работать как с кодами GPS, так и "Глонасс". Обработка сигналов в широкой полосе предполагает выбор достаточно высокой частоты дискретизации. Если ограничиться только приемом открытых кодов (C/A), то минимальная частота дискретизации должна быть не менее 20 МГц. В случае приема точного P кода GPS или работы по сигналу ВТ "Глонасс" частота дискретизации возрастет до 40-50 МГц.

Выходным сигналом коррелятора является величина рассогласования между измеряемым параметром и его ожидаемым значением (например, разность времени прихода сигналов и их фаз). Многомерный фильтр осуществляет преобразование совокупности измеряемых параметров в навигационные параметры (координаты, скорость и точное время).

Алгоритм предусматривает возможность исключения навигационных КА с низкими рабочими углами, что позволяет повысить точность за счет ослабления влияния тропосферной рефракции, ионосферы и многолучевости.

Применение комбинированных GPS/Глонасс" приемников с обобщенным алгоритмом определения местоположения при использовании стандартного C/A кода позволяет достичь более высокой точности - 15-20 м.

## **12.3. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ**

### **12.3.1. АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Для определения местоположения объекта могут применяться различные методы навигации, которые характеризуются следующими основными показателями:

- рабочая зона действия (глобальная или региональная);
- точность определения координат, скорость и точное время;
- доступность временная, пространственная или организационно-техническая;
- непрерывность и надежность навигационных определений;
- целостность;
- период измерений.

Для потребителей спутниковых навигационных систем вопрос о точности и надежности определения координат зависит от доступности навигационной информации. Под доступностью понимается способность доведения навигационных сообщений до пользователя. На практике доступность оценивается как вероятность получения потребителем навигационной информации в заданном интервале времени с требуемой точностью.

Целостность характеризует способность системы обнаруживать свое неправильное функционирование и исключать возможность использования ее данных потребителями при выходе рабочих характеристик за допустимые пределы. Фактически, когда речь идет о целостности системы, основной информацией являются данные о состоянии неисправных спутников. Показатель целостности системы оценивается как вероятность оповещения пользователей при нарушении работы системы в пределах допустимого интервала времени.

У разных пользователей требования по точности, доступности и целостности в рабочей зоне сильно отличаются. Некоторым пользователям нужна высокая точность повсеместно, другим - лишь в определенных условиях. Рассмотрим требования по точности для основных категорий пользователей.

#### **Требования к точности для наземных потребителей**

Требования к спутниковой навигации для пешеходов, автомобильных и железнодорожных потребителей разработаны недостаточно. Сегодня их применение зависит от точности, кото-

рую гарантируют системы GPS/Глонасс" и системы, построенные на базе связных и метеорологических КА. Можно прогнозировать следующую точность определения координат:

- низкая точность (1 км и более) требуется при ориентировании на местности пеших путешественников, организации роуминга в системах связи, отслеживании миграции животных и др.;
- средняя точность (100 м) требуется для автоматического определения местонахождения автомобилей и железнодорожных вагонов, контроля движения транспорта в сельских и лесных районах, обеспечения работы в чрезвычайных ситуациях (спасательные службы, скорая помощь);
- высокая точность (10-15 м) требуется при поиске людей во время проведения спасательных работ, при управлении движением наземного транспорта в городских условиях, Отслеживании передвижения автомобилей, в том числе угнанных, управления дорожным движением, управления движением наземного транспорта в аэродромной зоне и др.

### Требования к точности для морских потребителей

Для морских потребителей требуется определение местоположения по двум координатам (широте, долготе). С точки зрения обеспечения безопасности судоходства и использования систем навигации с глобальным рабочем полем различают несколько зон, требования к точности навигационно-временных определений приведены в табл. 12.2.

**Таблица 12.2.** Требования к точности навигационно-временных определений для морских пользователей

Вид плавания	Точность в гор. плоскости (2 $\sigma$ ), м	Доступность, %	Целостность, %	Дискретность отсчетов, с
Плавание в прибрежной зоне	100	99,8	99	30
Плавание в портах	10	99,97	99	2
Швартовые операции	1-5	99,97	99	2
Рыболовство	5-100	99,8	99	10

При плавании судов с низкой осадкой в сложных навигационных условиях (морские каналы, узкие проходы, форватеры рек) требуется точность от 2 до 5 м. Рыболовам также нужна высокая точность для того, чтобы возвращаться в места хорошего лова и избегать препятствий.

Кроме коммерческих судов, имеется большое количество яхт, прогулочных судов и других малых плавсредств, требования к точности которых еще не определены.

### Требования к точности в авиации

В системах авиации можно выделить две категории потребителей: самолеты для перевозки пассажиров и грузов и самолеты малой авиации, использующие аэродромы с ограниченными радионавигационными возможностями. В первом случае требуется высокоточное навигационное определение параметров, что связано с необходимостью обеспечения безопасности движения. Требования второй группы пользователей значительно отличаются от требований пассажирских и грузовых перевозок. Для гражданской авиации требуемая точность навигационно-временных определений приведена в табл. 12.3.

Для малой авиации точность навигационных определений при полете по воздушным трассам равна 250-1000 м в горизонтальной плоскости. Наиболее жесткие требования по допустимым ошибкам, как видно из табл. 12.3, предъявляются к точности определения высоты до земной поверхности. В соответствии с требованиями ИКАО она должна обеспечиваться в пределах 0,5-10 м.

Для авиации навигационная система должна быть глобальной, единой для всех фаз полета, иметь простое и дешевое оборудование на борту и обеспечивать дешевую систему посадки без каких-либо сложных навигационных систем. Целостность такой системы также должна быть высокой, по крайней мере, не ниже, чем у существующих систем. Отказ системы, потеря функций или появление помех должны легко и надежно распознаваться.

Анализ показывает, что ни одна из существующих и перспективных систем навигации пока не удовлетворяет вышеприведенным требованиям гражданской авиации.

Таблица 12.3. Требования к точности навигационно-временных определений для гражданской авиации

Категория захода на посадку	Точность (2 $\sigma$ ), м		Целостность (вероятность риска)	Доступность в%	Время оповещения, с	Дискретность отсчетов, с
	дальность	высота				
Некатегоризованная	50-75		1-10 <sup>-4</sup>	н/д	2	н/д
I	10	4	3*10 <sup>-7</sup>	99,75	6	0,2
II	5	1,6	3*10 <sup>-8</sup>	99,85	2	0,2
III	4	0,5	5*10 <sup>-9</sup>	99,9	1	0,2

### 12.3.2. ФАКТОРЫ СНИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Существует ряд факторов, влияющих на степень неопределенности вычисления координат, зависящих от параметров процедуры их определения. Эти факторы принято называть факторами снижения точности. Как правило, при вычислении координат с помощью системы GPS применяются следующие стандартные составляющие фактора снижения точности.

**Геометрический фактор снижения точности (GDOP)**, описывающий степень влияния неопределенности псевдодальности и показаний часов на неточность вычисления координат, который зависит от положения спутника относительно GPS приемника и от смещения GPS часов.

**Горизонтальный фактор снижения точности (HDOP)**, описывающий степень влияния неопределенности в горизонтальной плоскости на погрешность определения координат.

**Фактор снижения точности положения (PDOP)**, описывающий как неопределенность псевдодальности влияет на погрешность определения координат (безразмерный показатель).

**Относительный фактор снижения точности (RDOP)**, который по сути равен фактору снижения точности, нормализованному за период, равный 60 сек.

**Временной фактор снижения точности (TDOP)**, описывающий степень влияния неопределенности показаний часов на погрешность определения координат.

**Вертикальный фактор снижения точности (VDOP)**, описывающий степень влияния неопределенности в вертикальной плоскости на погрешность определения координат.

Основными источниками ошибок, влияющими на точность навигационных определений, являются следующие.

**Погрешности, обусловленные режимом селективного доступа (Selective availability, S/A).** Реализуя этот режим, провайдер услуг GPS (MO США) преднамеренно снижает точность, предоставляемую системой GPS гражданским пользователям. В режиме S/A формируются ошибки искусственного происхождения, вносимые в сигнал на борту GPS спутников с целью загробления навигационных измерений. Величина среднеквадратической ошибки из-за влияния этого фактора составляет примерно 30 м.

**Погрешности, обусловленные распространением радиоволн в ионосфере.** Ионосферные задержки распространения сигналов, связанные с прохождением через верхние слои атмосферы, приводят к ошибкам порядка 20-30 м днем и 3-6 м ночью. Несмотря на то, что навигационное сообщение, передаваемое с борта GPS спутника, содержит параметры модели ионосферы, однако компенсация фактической задержки в лучшем случае составляет 50%. Для борьбы с ошибками, вызванными ионосферной рефракцией, используется передача навигационных сигналов с КА на двух частотах.

**Погрешность, обусловленная распространением радиоволн в тропосфере.** Тропосферные задержки навигационных сигналов возникают при прохождении радиоволн через нижние слои атмосферы. Величина этого вида погрешности при использования сигналов с S/A кодом не превышает 30 м.

**Эфемеридная погрешность.** Данный вид ошибок обусловлен расхождением между фактическим положением GPS спутника и его расчетным положением, определенным по данным навигационного сигнала, передаваемого с борта КА. Обычно значение такой погрешности не превышает 3 м.

**Погрешность ухода шкалы времени спутника.** Этот вид погрешности обусловлен расхождением шкал времени различных спутников и устраняется с помощью наземных станций слежения или за счет компенсации ухода шкалы времени в дифференциальном режиме определения местоположения.

**Погрешность определения расстояния до спутника.** Данный показатель является статистическим и вычисляется для конкретного спутника на заданном интервале времени. Ошибка определения расстояния некоррелирована с другими видами составляющих погрешностей. Величина ошибки обычно не превышает 10м.

### 12.3.3. МЕТОД ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВОК

Один из основных методов повышения точности определения местоположения связан с применением известного в радионавигации принципа дифференциальных навигационных измерений.

Дифференциальный режим DGPS (Differential GPS) дает возможность определить местоположение с точностью не хуже, чем 5 м в динамической навигационной обстановке и порядка 2 м - в стационарных условиях. Дифференциальный режим реализуется с помощью контрольного GPS приемника, называемого опорной станцией, которая располагается в пункте с известными координатами, и том же районе, что и пользователи, чтобы одновременно отслеживать одни и те же GPS-спутники (рис. 12.3).

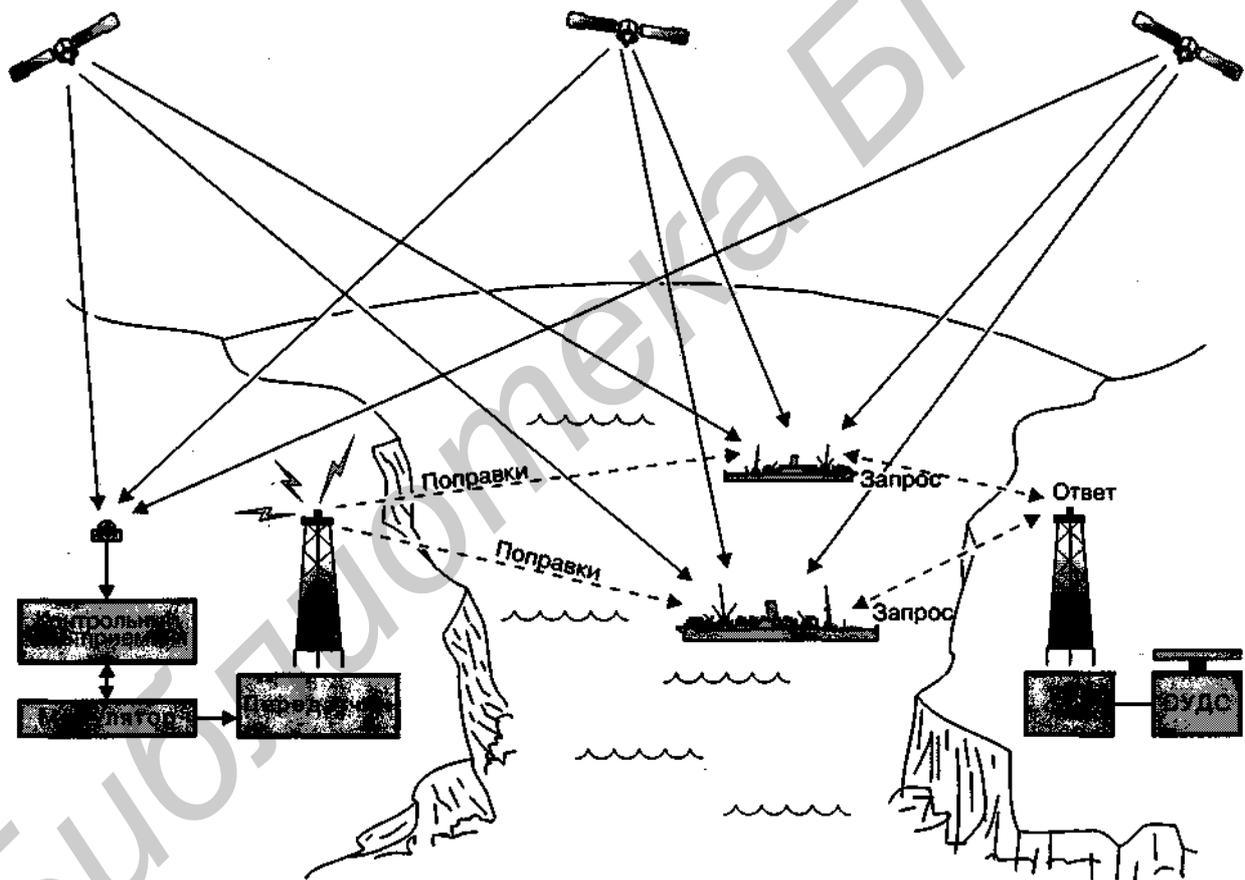


Рис. 12.3. Принципы определения местоположения в дифференциальном режиме (СУДС - система управления движением судов)

Каналы передачи корректирующей информации относятся к наиболее важным элементам дифференциальных подсистем, так как должны обеспечивать доставку поправок с требуемой точностью навигационным потребителям. В настоящее время используются УКВ каналы с дальностью в пределах прямой видимости, средневолновые с передачей поверхностной волной и спутниковые радиоканалы.

Опорная станция включает в себя измерительный GPS приемник с антенной, процессор и передатчик данных с антенной. В станции, как правило, применяется многоканальный приемник, каждый канал которого предназначен для отслеживания одного видимого КА. Необходимость непрерывного отслеживания каждого КА обусловлена тем, что опорная станция должна «захватывать» навигационные сообщения раньше, чем приемники потребителей. Сравнивая известные координаты с измеренными, контрольный GPS приемник вырабатывает корректирующие поправки, которые передаются потребителям по радиоканалу в заранее оговоренном формате.

Аппаратура потребителя включает GPS-приемник с антенной, процессор и дополнительный радиоприемник с антенной, который позволяет получать дифференциальные поправки с опорной станции. Процессор вносит поправки, принятые от опорной станции, в результаты измерений собственного приемника GPS сигналов, который может быть выполнен по одноканальной или многоканальной схеме.

Потребитель использует дифференциальные поправки при решении навигационных задач для уточнения своих координат/Для каждого КА, сигналы которого поступают в GPS-приемник, поправка, полученная от опорной станции, складывается с результатом измерения псевдодальности. Вычисленная поправка  $\Delta_{\text{СУМ}}$  определяется в виде:

$$= \Delta 1 + \Delta 2 \cdot (t - \Delta t),$$

где:  $\Delta 1$  - поправка псевдодальности, передаваемая в сообщении;

$\Delta 2$  - поправка псевдоскорости (скорости изменения поправки), передаваемая в сообщении;

$t$  - время измерения приемником пользователя;

$A$ , -временная привязка поправки.

Дифференциальный метод наиболее эффективен, когда преобладающими погрешностями являются систематические ошибки, обусловленные внешними по отношению к приемнику причинами, что обычно характерно для системы GPS.

Погрешности S/A и уходы шкалы времени компенсируются в дифференциальном режиме полностью. Погрешности вследствие задержки сигналов в атмосфере зависят от идентичности условий прохождения сигналов к опорной станции и объекта, следовательно, от расстояния между ними. Полностью компенсируются эти погрешности лишь при близком расположении опорной станции и объекта. Эфемеридная погрешность также лучше всего компенсируется на небольших удалениях пользователя от опорной станции. По этим причинам рабочая зона опорной станции обычно ограничена радиусом до 500 км.

#### 12.3.4. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ

Основными достоинствами систем навигации GPS и "Глонасс" являются глобальность обслуживания, высокая точность и непрерывность определения координат и скорости движения объекта. Кроме того, обе навигационные системы обладают возможностями повышения точности и надежности навигационных измерений в результате применения дифференциального режима.

Действуя в штатном и дифференциальном режимах, эти системы полностью удовлетворяют требованиям по точности для многих категорий гражданских потребителей. Как показывают результаты отечественных и зарубежных исследований, существующие системы GPS и Глонасс" с КА на круговых орбитах в глобальной рабочей зоне не отвечают требованиям отдельных категорий пользователей, в первую очередь, авиационных. Разработанные ИКАО требуемые навигационные характеристики предъявляют требования не только к точности захода самолетов на посадку, но и к целостности и непрерывности данных DGPS. Для этой категории пользователей высокая точность достигается лишь в интегрированных навигационных комплексах (см. табл. 12.4). Причиной является прежде всего превышение допустимых ошибок определения высоты до земной поверхности.

Дальнейшее повышение точности может быть достигнуто за счет использования более совершенных методов навигации, например, так называемого, кинематического дифференциального режима с реализацией слежения за фазой радиосигнала и достижением точности определения высоты на уровне 0,3 м [45].

**Таблица 12.4.** Уровни точности в интегрированных навигационных комплексах

Режим работы	Точность, м (2<math>\sigma</math>)	
	По дальности	По высоте
GPS + INS	20	30
DGPS	4-6	5-7
DGPS + INS	2-3	3-4

INS - инерциальная навигационная система

Отличительная особенность систем с геостационарными КА - возможность мгновенно оценивать текущее состояние орбитальных группировок GPS/Глонасс" и своевременно оповещать об этом потребителей.

Возможны два варианта контроля целостности системы, основанные на внутренних и внешних методах контроля. Внутренние методы предполагают использование избыточной информации навигационных датчиков, расположенных у потребителя. Избыточная информация образуется благодаря приему навигационных сигналов от большего, чем минимально необходимо, числа спутников. Применяя специальные алгоритмы, можно легко обнаружить и (или) идентифицировать источник неправильной информации. При обнаружении источника производится полная отбраковка полученных решений навигационных задач, если точно идентифицирован спутник, передающий неверные данные, то из расчетов исключаются только те параметры, которые были определены по сигналам этого спутника.

Внешние методы контроля целостности основаны на создании сети станций для обеспечения контроля работоспособности навигационных спутников в режиме реального времени. В этом случае узел сети - региональный вычислительный центр, будет осуществлять обработку данных, получаемых от наземных станций слежения и формировать сообщение о целостности системы.

Процедура внешнего контроля является более сложной, т.к. требует создания наземной сети. Однако такое решение задачи целостности позволяет получить более полную информацию о системе, которой принципиально не может располагать отдельный пользователь при автономном контроле целостности. В частности, внешние методы контроля позволяют точно определять координаты КА в орбитальных группировках систем GPS и "Глонасс", а также точные поправки для синхронизации временных шкал геостационарных КА и спутников GPS/Глонасс".

## **12.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ GNSS**

Новые возможности для потребителей навигационной информации открывает европейская глобальная навигационная спутниковая система GNSS (Global Navigation Satellite System). Сигналы этой системы будут иметь структуру, аналогичную с сигналами систем GPS и "Глонасс", однако в отличие от последних, в навигационные сообщения GNSS будут добавлены сведения о целостности навигационной системы и ряд других данных, позволяющих повысить точность навигационных определений. Система GNSS, несмотря на имеющиеся различия, станет естественным расширением GPS и "Глонасс", обладая совместимостью с ними по основным сигналам навигации.

Идея создания системы GNSS базируется на возможности мгновенно с помощью геостационарных КА оценивать текущее состояние орбитальных группировок GPS/Глонасс" и своевременно оповещать об этом потребителей. Аппаратура GNSS для потребителей будет оснащена оборудованием для приема дополнительного навигационного сигнала.

Концепция создания системы регионального дополнения RAS (Regional Augmentation System) на базе геостационарного КА иллюстрируется на рис. 12.4. В настоящее время она реализуется на основе КА Inmarsat-3, на борту которого и его последующих модификаций размещается дополнительный ретранслятор навигационных сигналов.

Принцип работы системы регионального дополнения следующий. Навигационные сигналы, излучаемые спутниками GPS и "Глонасс", принимаются наземными потребителями и одновременно сетевыми станциями контроля целостности (рис. 12.4). Формирование дополнительных сигналов о состоянии навигационных систем будет осуществляться на специаль-

ном координационно-вычислительном центре (КВЦ), на который поступают сообщения со станций контроля целостности. С КВЦ навигационные сообщения направляются на ведущую и резервную земные станции (NES).

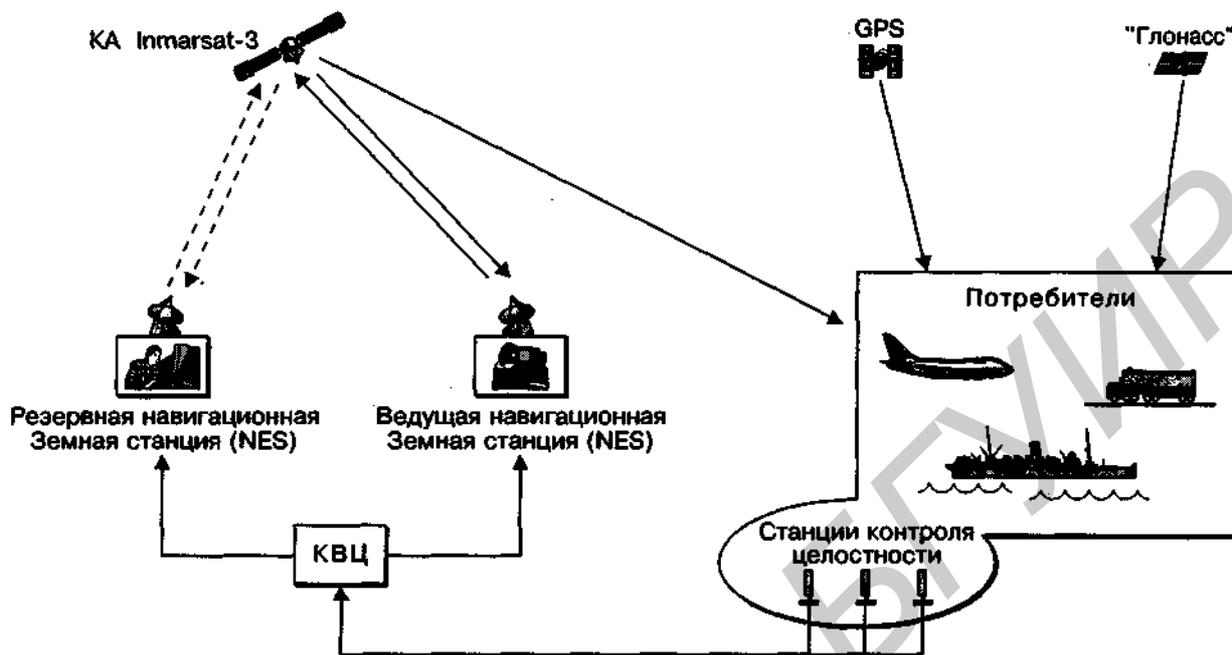


Рис. 12.4. Концепция системы геостационарного регионального дополнения

В ведущей ЗС широкополосный сигнал, синхронизированный по системному времени, модулируется низкоскоростным сообщением о целостности и в С диапазоне излучается на КА. Принятый навигационным комплектом КА Inmarsat-3 сигнал преобразуется по частоте и переизлучается потребителям в L диапазоне. Идентичный широкополосный сигнал, используемый для временной синхронизации, также ретранслируется в С диапазоне. Этот сигнал необходим для обеспечения временной синхронизации в замкнутом контуре. Ведущая станция NES и КВЦ могут располагаться в разных или в одном пункте. Резервная ЗС работает в горячем режиме, принимая те же данные из КВЦ и поддерживая временную синхронизацию сигнала, что гарантирует бесперебойную работу системы в случае выхода из строя ведущей станции.

Навигационный комплекс КА Inmarsat-3 значительно проще аппаратуры, установленной на КА GPS и "Глонасс". Фактически он является прозрачным ретранслятором навигационных сигналов, формируемых наземной станцией. Ретранслятор осуществляет прием сигналов в С диапазоне (5,9-6,4 ГГц) и их переизлучение на частотах С (3,6-4,1 ГГц) и L (1,5 ГГц) диапазонов. Сигналы, излучаемые КА Inmarsat-3 в С диапазоне, предназначены для приема ведущей и ведомыми станциями GNSS системы, а в L диапазоне - пользователями систем GPS и "Глонасс".

Информацию о целостности GPS и "Глонасс" предполагается доводить до пользователей с помощью геостационарных КА по узкополосным каналам, называемым каналами целостности GIC (GPS Integrity Channel).

Однако, для передачи данных и результатов навигационных измерений с помощью традиционных GPS/"Глонасс" сигналов необходим широкополосный канал DGIC (distance GIC), позволяющий производить измерение дальности.

Использование широкополосного канала в системе регионального дополнения RAS систем GPS и "Глонасс" позволит улучшить доступность (благодаря дополнительным навигационным сигналам) и целостность (благодаря оперативной передаче потребителям информации о целостности в самих навигационных сообщениях), а также реализовать дифференциальный режим с помощью передачи сообщений о дифференциальных поправках в тех же навигационных сообщениях.

Передача навигационных сообщений в радиоканале осуществляется со скоростью 500 бит/с с использованием сверточного корректирующего кода. Длительность GNSS сообщения - 1 сек.

Начало блока данных жестко синхронизировано с 6-секундными временными метками GPS системы. Каждый блок содержит часть преамбулы из 8 бит, идентификатор типа сообщения из 6 бит, поле данных из 212 бит и 24 бит кода контроля четности. Преамбула является уникальным словом из 24 бит, распределенным на три последовательных блока. Идентификатор типа сообщения позволяет определить 64 разных вида сообщений (табл. 12.5).

**Таблица 12.5.** Типы передаваемых навигационных сообщений

Тип	Содержание навигационного сообщения
0	Не используйте этот GEO (резерв для тестовых целей)
1	Маска ПШ кодов (до 52 бит из 210 возможных кодовых комбинаций)
2	Быстро меняющиеся поправки
9	GEO навигационное сообщение (X,Y,Z, время и т.д.)
12	Сдвиг шкал времени
17	Альманах GEO спутников
18-22	Маски узлов сетки ионосферных поправок
24	Совмещенные быстро/медленно меняющиеся поправки
25	Долговременные (медленно меняющиеся) поправки
26	Ионосферные поправки (вертикальные задержки и 99,5% точность)
27	Резерв для тестовых целей
63	"Пустое" сообщение
3-8, 10-11, 13-16, 23, 28-62	Резерв для будущих сообщений

Другие характеристики, такие как фазовый шум, паразитное излучение и поляризация, должны соответствовать спецификации ICD-GPS-200 на систему GPS. Поскольку навигационный комплекс Inmarsat-3 - это прозрачный ретранслятор, то для обеспечения когерентного приема необходим дополнительный контроль с наземной станции и при необходимости - соответствующая коррекция.

В системе GNSS предполагается, что навигационный сигнал будет включать в себя информацию о целостности, и содержать дифференциальные поправки для глобальной системы WAAC (Wide Area Augmentation System). Сообщение WAAC содержит точные поправки для всех видимых спутников и другие необходимые для решения навигационных задач данные, точность которых соответствует требованиям прецизионной посадки воздушных судов по категории 1.

Предложенная концепция упрощенных навигационных спутников NLS (Navigation LightSat), удовлетворяющих требованиям гражданских потребителей, позволят создать навигационный комплекс с малой массой, потребляемой мощностью и стоимостью. Для обеспечения совместимости с аппаратурой потребителей систем GPS и "Глонасс" в структуру навигационного сигнала введены минимальные изменения. Несущая частота смещена относительно частоты L1 на 1,023 МГц (C/A код) и равна 1576,443 МГц. Используемые коды также относятся к семейству Gold кодов, как и в GPS.

Обнаружение и слежение за сигналом L2 поддерживается контуром слежения сигнала L1. Несущая частота L2 смещена относительно сигнала GPS на 0,797 МГц и равна 1228,397 МГц, при этом уровень сигнала на 10 дБ ниже, чем на частоте L1.

## 12.5. НИЗКООРБИТАЛЬНЫЕ И НАЗЕМНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ

### 12.5.1. НИЗКООРБИТАЛЬНЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ

Одной из самых первых была предложена спутниковая навигационная система Transit, использующая КА, выводимые на полярную орбиту высотой около 1000 км. На борту спутника установлены эталоны частоты и времени, синхронизируемые с Земли по каналам телеуправления каждые 100 мкс, а на наземной станции - приемоиндикатор. Определение местоположения на подвижном объекте осуществляется по доплеровскому сдвигу частоты. Точность определения координат составляет около 4 м [46] (по другим данным в наихудшем случае 300 м), погрешность синхронизации шкал времени не превышает  $\pm 50$  мкс.

Система Transit не нашла широкого применения в коммерческих системах из-за сложности абонентского оборудования и его высокой стоимости. Основные характеристики системы приведены в табл. 12.6.

**Таблица 12.6.** Основные характеристики существующих систем спутниковой навигации и РНС дальнего и сверхдальнего действия

Тип РНС	Количество станций	Диапазон частот, МГц	Дальность, км	Точность (СКО), м
Transit	10	399-988	Глобальная	4...300
"Цикада"	4	150-400	Глобальная	80-120
Omega	8	0,01-0,014	11000	3600
"Альфа"	3(5)	0,12-0,017	12000	2300-7600
Loran-G	3-4	0,09-0,1	900-2200	90-460
"Чайка"	3-4	0,1	1500-1800	100-700
Деcca	3-4	0,07-0,13	320	90-1500

### 12.5.2. НАЗЕМНЫЕ ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

#### Система Omega

Низкочастотная навигационная система Omega находится в эксплуатации свыше 20 лет. Принцип определения местоположения основан на так называемой гиперболической навигации. В диапазоне 10-14 кГц два передатчика излучают высокостабильные (около  $10^{-12}$ ) синхронные сигналы на одной частоте. Радиоволны на этих частотах отражаются от самых нижних слоев ионосферы и поэтому в меньшей степени подвержены затуханию в ионосфере (ослабление 3 дБ на 1000 км), однако фаза волны очень чувствительна к высоте отражения.

Приемник измеряет разность фаз сигналов от навигационных передатчиков и строит семейство гипербол. Подвижный объект всегда может определить свое местоположение, если не теряет способность слежения за сигналами навигационных передатчиков. Фаза волны зависит от высоты отражающих слоев ионосферы, а поэтому сезонные и суточные вариации могут быть скомпенсированы. Точность определения местоположения - не хуже двух морских миль, однако на высоких широтах и в полярных районах, где могут возникать внезапные фазовые аномалии, точность снижается до 7 мор. миль.

В России разработана РНС аналогичного назначения "Альфа", основные параметры которой указаны в табл. 12.6.

#### Система Loran-C

Импульсно-фазовая разностно-дальномерная система Loran-C работает на частотах около 100 кГц. На этих частотах поглощение радиоволн в ионосфере может быть значительным, особенно при больших углах падения. Система Loran-C относится к классу гиперболических систем, хотя и основана на измерении не фазы, а задержки импульсов, принимаемых от цепочки передающих станций. В каждой цепочке одна из станций является ведущей, а остальные - ведомые. Все они точно синхронизируются. Приемник измеряет точность прихода импульсов с точностью 0,1 мкс, и, если используется земная волна, местоположение может

определяться с точностью 150 м на расстояниях до 1500 км (на море). В общем случае сигнал представляет собой сумму земной волны и сигналов, отраженных один или несколько раз от ионосферы. На расстояниях свыше 2000 км ионосферная волна преобладает и точность будет зависеть от состояния ионосферы. Испытания показали, что в отдельных случаях могут возникнуть ошибки в несколько километров. Таким образом, даже при идеальных условиях система Loran-C не будет иметь точность, которую обеспечивают спутниковые системы GPS/Глонасс". На сегодняшний день навигационная система Loran-C имеет в мире 34 цепи, охватывающие территорию США, Северной Европы и прилегающих морских районов в северном полушарии. Приемниками Loran-C оснащены отдельные образцы терминалов американской системы OmnitracS.

В России эксплуатируется система аналогичного назначения, что и Loran-C, получившая название "Чайка". Основные параметры системы "Чайка" приведены в табл. 12.6.

## 12.6. СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ КООРДИНАТ НА ОСНОВЕ РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНОГО МЕТОДА

### 12.6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ OMNITRACS И EUTELTRACS

В системах связи, использующих для определения координат геостационарный КА, может быть использован разностно-дальномерный метод, получивший название метод автоматического вычисления положения спутника ASPR (Automatic Satellite Position Reporting). Согласно ASPR определение координат объекта производится триангуляционным методом между связным КА, дополнительным КА (названных авторами проекта навигационным спутником - positioning satellite) и мобильным терминалом. При этом основные (информационные) сигналы передаются центральной станцией через связной КА, а контрольные (навигационные) сигналы - через второй КА. Прежде чем начать сеанс связи, мобильный терминал автоматически переориентирует свою антенну на навигационный спутник. Встроенное в терминал устройство определяет разницу времени прихода сигналов от двух КА ( $\Delta t$ ) и включает эти данные в состав навигационного сообщения, которое передается по обратному каналу на наземную центральную станцию (диспетчерский центр).

В настоящее время Европейским космическим агентством накоплен большой статистический материал по оценкам точности определения местоположения с использованием системы Euteltracs. Всего было произведено более 1000 измерений для различных типов рельефов местности в разных широтных районах от 25° с.ш. (Сахара) до 70° с.ш. (Финляндия) и при различных углах разнесения (3°, 6° и 9°). Оценка точности определения координат контролировалась путем сопоставления вычисленных навигационных данных с параметрами, определенными с помощью контрольного GPS приемника и мелкомасштабной карты. Результаты исследований показали, что основным фактором, определяющим точность, является угловое разнесение между навигационным и связным спутниками (рис. 12.5).

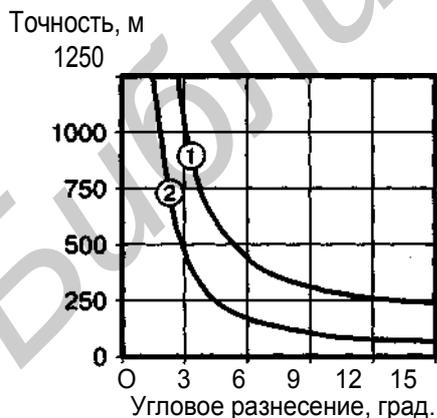


Рис. 12.5. Точность определения местоположения в системе Euteltracs  
1 - гарантированная в 95% времени,  
2 - среднее значение

## 12.6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ АВТОМАТИЧЕСКИХ РАДИОМАЯКОВ В СИСТЕМЕ "ЭЛИКОН-СТИР-М"

Принцип определения координат основан на использовании дальномерно-доплеровского метода. Региональная станция (РС) излучает пилот-сигнал на частоте  $f_1$ , который принимает КА и ретранслирует его на частоте  $f_2$ . Пилот-сигнал принимают все автоматические радиомаяки (АРМ), находящиеся в зоне радиовидимости КА. По принятому сигналу на АРМ осуществляется синхронизация местного опорного генератора и формируется временная развертка. В заданный момент времени (отсчитывается по таймеру) АРМ излучает ответный сигнал, который привязан по частоте и времени к принятому сигналу, т.е., по существу, АРМ ретранслирует в обратном направлении принятый пилот-сигнал. Включение в режим передачи происходит только в том случае, если доплеровская поправка принимаемого радиомаяком сигнала имеет "разрешенное" для данного АРМ значение. Значение доплеровской поправки передается в составе ответного сигнала. Принятые на КА сигналы всех АРМ ретранслируются на РС. В качестве опорного используется пилот-сигнал, принимаемый после его ретрансляции на КА. Измеренная разность между фазами опорного сигнала и фазой принятых сигналов позволяет определить дальность, а измеренное значение доплеровской поправки - радиальную скорость.

Основными составляющими ошибок измерения радиальной скорости являются шумовые ошибки и ионосферная погрешность. Шумовая ошибка измерения радиальной скорости рассчитывается по соотношению [20]:

$$\sigma_{D_{ш}} = \frac{c}{2F} \sqrt{\frac{\Delta F}{H}} \frac{1}{T_{изм}},$$

где  $c$  - скорость света;

$\Delta f$  - шумовая полоса системы ФАПЧ в наземном измерительном комплексе РС;

$H$  - эквивалентный энергетический потенциал радиоизмерений в линии АРМ-КА-РС;

$T_{изм}$  - время измерений.

На основании выражения (12.1) погрешность шумовой ошибки равна  $\sigma_{D_{ш}} = 3,5$  см/с. Ионосферная погрешность измерения радиальной скорости может быть получена на основании результатов навигационной системы Transit. На частоте 400 МГц в год максимальной солнечной активности для КА с высотой 1000 км ее величина не превышала 1м/с. В диапазонах частот (L и S), используемых в системе "Электрон-СТИР" величина ионосферной погрешности, как показано в [20], не превышает 0,26 м/с.

Аппаратурные погрешности за счет уходов частоты задающего генератора за время измерения пренебрежимо малы.

Шумовая ошибка измерения дальности определяется из выражения:

$$\sigma_{D_{ш}} = \frac{c}{2} k_p \sqrt{\frac{1}{2HT_{изм}} \frac{1}{2\pi F_{шт}}}, \quad (12.2)$$

где  $k_p$  - коэффициент, учитывающий неидеальность реального измерителя,  $k_p = 2$ ;

$F_{шт}$  - частота модуляции точной шкалы измерителя дальности (в расчетах принимается равной 511 кГц).

Аппаратурная погрешность из-за нестабильности суммарной задержки сигнала в приемопередающих трактах АРМ и БРТК может быть принята равной  $\sigma_{\tau_{ан}} = 500$  нс, а составляющая ошибки по дальности определяется в виде  $\sigma_{D_{ан}} = c/2 \cdot \sigma_{\tau_{ан}} = 75$  м. Суммарная ошибка измерения радиальной скорости или дальности определяется из выражения:

$$(12.3) \sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_i \sigma_i^2},$$

где  $\sigma_i$  - погрешность измерения

радиальной скорости/дальности, значения

которых указаны

в табл. 12.7.

Результаты расчетов суммарных составляющих погрешностей измерения радиальной скорости и дальности в системе "Электрон-СТИР-М" сведены в табл. 12.7.

**Таблица 12.7.** Погрешности измерения радиальной скорости и дальности

Вид погрешности	Ошибка измерения радиальной скорости, м/с	Ошибка измерения дальности, м
Шумовая ошибка	0,035	3,5
Ионосферная погрешность	0,26	2,5
Погрешность за счет дискретности счетчиков измерителей частоты	0,05	-
Нестабильность суммарной аппаратурной задержки	-	75
Суммарная ошибка	0,3	77

Как видно из табл. 12:7, основным фактором, определяющим точность измерения радиальной скорости, является ионосферная ошибка, а при определении дальности - нестабильность аппаратурной задержки, возникающей в приемопередающих трактах АРМ и БРТК. Учитывая большую, неопределенность в оценке величины аппаратурной задержки, она должна составлять не менее 150 м.

Не останавливаясь на подробных расчетных соотношениях для вычисления погрешности определения местонахождения АРМ, на основании полученных выше значений ошибок по скорости (0,3 м/с) и дальности (150 м), для высоты орбиты  $H=1000$  км и наклонной дальности  $S=2500$  км приведем расчетные погрешности определения координат при сделанных выше допущениях. Они составят: 172 м по широте и 64 м по долготе.

## 12.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПО ДОПЛЕРОВСКОМУ СДВИГУ ЧАСТОТЫ

Существующие автономные навигационные приемники или встраиваемая в спутниковый терминал навигационная платы GPS/"Глонасс" позволяют повысить оперативность и точность определения координат, однако их использование приводит к увеличению энергопотребления и усложнению абонентского оборудования. Сегодня комплект навигационной аппаратуры стоит практически не дешевле, чем портативный спутниковый терминал.

В то же время анализ существующих потребностей показывает, что далеко не всем им нужна столь высокая точность, какую обеспечивают GPS/"Глонасс" приемники. Для решения многих задач достаточно упрощенных навигационных устройств, какими фактически являются связные терминалы, радиомаяки, радиобуи.

И, наконец, определение координат потребителя даже с невысокой точностью играет важную роль в системах персональной спутниковой связи с портативными терминалами типа "телефонная трубка", что необходимо для организации глобального роуминга.

### Учет доплеровского сдвига частоты

Одной из характерных особенностей систем связи на базе низкоорбитальных КА (без прогнозирования траекторий их движения) является большая начальная неопределенность по частоте и времени прихода сигналов. Вследствие того, что положение спутника во время движения по орбите динамически изменяется относительно терминала пользователя, то это приводит к возникновению так называемого эффекта Доплера или доплеровскому сдвигу частоты. Если при движении по геостационарной орбите теоретически влиянием эффекта Доп-

речь (для реальных КА относительный сдвиг частоты не превышает  $\Delta f_{\text{Д макс}} = \pm 10^{-8} f_0$ , где  $f_0$  - частота передаваемых сигналов), то с понижением высоты значе-  
ние доплеровского сдвига частоты приближенно равна  $\Delta f_{\text{Д макс}} \approx \pm (1,8 - 2,4) 10^{-5} f_0$  низких орбитах высотой 800-1500 км его величина

На практике учет влияния эффекта Доплера носит двоякий характер. С одной стороны, возникновение доплеровского сдвига приводит к большой начальной неопределенности по частоте, что усложняет абонентскую аппаратуру за счет применения специальных методов компенсации доплеровского сдвига.

С другой стороны, знание характера изменения доплеровской кривой позволяет вычислить радиальную скорость движения низкоорбитального КА, а следовательно, и расстояние от

него до объекта. Этой информации при определенных условиях достаточно для определения местоположения абонентов несколько меньшей точностью, чем в системах навигации специального назначения, но вполне приемлемой для ряда потребителей.

Точность доплеровского метода определения дальности до КА зависит не только от вида доплеровской кривой (чем больше крутизна, тем выше точность), но и от количества КА в орбитальной группировке и высоты орбиты. К снижению точности измерений приводит нестабильность частоты генераторов, которые установлены на борту КА и объекте.

Таким образом, метод определения местоположения с помощью низкоорбитальных спутников связи не приводит к усложнению аппаратуры, а обеспечивается только за счет оснащения терминала дополнительным программным обеспечением. Для определения положения объекта по доплеровскому сдвигу частоты наибольшее применение получили два метода: дифференциальный и интегральный.

При дифференциальном методе измеряется минимальное расстояние  $R_0$  до КА в момент  $t_0$  перехода доплеровской кривой  $F_d(t)$  через нуль. В этом случае значение доплеровского сдвига и его производной определяется зависимостью:

$$F_d(t) = -\frac{V_0^2 t}{\lambda \sqrt{R_0^2 + V_0^2 t^2}} \approx -\frac{V_0^2 t^2}{\lambda R_0}, \quad (12.4)$$

где  $\lambda$  - длина волны,  $V_0$  - скорость движения КА в момент  $t_0$

Момент  $t_0$  определяется как время, при котором доплеровский сдвиг равен нулю, т.е. когда соблюдается равенство:

$$F'_d = -\frac{V_0^2}{\lambda R_0}. \quad (12.5)$$

Из (12.5) видно, что по измеренному доплеровскому сдвигу и известным параметрам  $\lambda$  и  $V_0$  можно легко найти требуемое расстояние  $R_0$ . При этом объект будет находиться в плоскости, перпендикулярной орбите на пересечении двух сферических поверхностей, одна из которых проводится радиусом  $R_0$  с КА в центре (точка минимального расстояния до объекта), а вторая определяется геоцентрической высотой объекта.

При интегральном доплеровском методе на объекте производится интегрирование доплеровского сдвига  $F_d(t)$  за время измерения  $(t_2 - t_1)$ . Действительно,

$$\int_{t_1}^{t_2} F_d(t) dt = -\frac{\Delta R}{\lambda}. \quad (12.6)$$

При интегральном методе объект будет находиться в точке пересечения двух гиперболоидов, фокусы которых совпадают с положениями КА в моменты измерения времени  $t_1$  и  $t_2$  со сферической поверхностью, определяемой высотой объекта. Данный метод обеспечивает более высокую точность измерений, так как при интегрировании флуктуации, обусловленные кратковременной нестабильностью частоты, усредняются.

### Определение местоположения по сигналам аварийных радиомаяков

Наиболее простые навигационные устройства, такие как спутниковые радиомаяки, предназначены для обнаружения и определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию. Они применяются в системах "Коспас-Сарсат", ARGOS (Франция), "Курс" (Россия). Система "Коспас-Сарсат" состоит из двух подсистем обнаружения сигналов бедствия:

- первая обеспечивает работу через прозрачный ретранслятор на частоте 121,5 (243) МГц, выделенной МСЭ в качестве аварийной для авиационной подвижной службы;
- вторая обеспечивает работу через регенеративный ретранслятор в диапазоне частот 406,0-406,1 МГц, выделенном специально для сбора данных с аварийных радиомаяков (в этом диапазоне радиомаяк излучает не только координаты объекта, но и дополнительную информацию, содержащую сведения о самом объекте).

Местоположение излучающих радиомаяков и радиобуев также определяется спутниковой системой автоматически с использованием эффекта Доплера. Обеспечиваемая точность

определения координат - не более 20 км на рабочей частоте 121,5 МГц и 5 км в случае излучения на частоте 406 МГц. Достаточно низкая точность определения координат в первом случае обусловлена большой нестабильностью частоты генераторов, особенно в радиомаяках старого поколения.

Определение места катастрофы с помощью этих систем осуществляется следующим образом. Радиомаяки или радиобуи обычно находятся в выключенном состоянии и срабатывают лишь в момент бедствия. После этого они начинают с заданной периодичностью посылать аварийные сообщения в эфир на одной из указанных выше частот. На входе ретранслятора частоты разных излучающих маяков случайным образом сдвинуты друг относительно друга вследствие различного доплеровского сдвига от произвольно расположенных на поверхности Земли объектов. Любой из низкоорбитальных спутников "Коспас" или "Сарсат" может обнаружить их и ретранслировать на наземные станции приема и обработки информации. Наземная станция обрабатывает аварийные сообщения, разделяя сигналы от разных радиомаяков по частоте, которая для разных объектов является неодинаковой вследствие различного доплеровского сдвига. На основании полученных со спутника данных строится доплеровская кривая. Поскольку траектория движения КА на наземной станции точно известна, то координаты объекта легко вычисляются путем решения системы навигационных уравнений. Для достижения необходимой точности расчетов для радиомаяков на частоте 121,5 МГц требуется не менее двух вычислительных итераций, т.е. неоднозначность в них разрешается только при двух проходах КА над объектом.

При приеме посылок аварийных радиомаяков в диапазоне 406 МГц бортовая аппаратура осуществляет демодуляцию входных сигналов, производит измерение входной частоты и определяет доплеровский сдвиг. Кроме того, из сигналов радиомаяков извлекается информационное сообщение. Затем выделенная информация привязывается ко времени и производится ее преобразование в цифровую форму со скоростью 2,4 кбит/с. Сформированные сообщения накапливаются и хранятся в бортовом ЗУ для последующей передачи на Землю в режиме глобального оповещения. Если в процессе сброса информации из памяти КА на Землю принимается сигнал другого аварийного радиомаяка, то сброс данных на Землю прерывается с тем, чтобы вновь принятый сигнал мог быть обработан, и результат его обработки включен в состав информативного кадра.

Вероятность определения местоположения на частоте 406 МГц определяется как вероятность обнаружения и декодирования, по крайней мере, четырех отдельных посылок за один проход спутника. При этом на станции приема и обработки информации может быть построена доплеровская кривая за один проход КА над объектом.

Как известно, доплеровское определение местоположения дает два решения для каждого радиомаяка: истинное и зеркально отраженное относительно наземной проекции траектории движения КА. Эта неоднозначность устраняется с помощью расчетов, учитывающих эффект вращения Земли.

### **Вычисление координат с использованием низкоорбитальных спутников связи**

В многоспутниковых системах связи, построенных на базе низкоорбитальных КА, вычисление координат объекта может выполняться непосредственно в абонентском оборудовании (терминале) или наземной станции сопряжения (диспетчерском пункте).

При определении координат непосредственно у потребителя, используются расчеты, основанные на измерении дальности до КА по принимаемому сигналу при его пролете в зоне радиовидимости абонента и эфемеридная информация, которая периодически передается с борта КА по служебному каналу (эфемериды формируются средствами бортовой автономной навигационной системы спутника связи). На основе полученных баллистических данных производится расчет траектории движения КА и определяется его текущее положение. Зная координаты КА и доплеровский сдвиг, с помощью дифференциального или интегрального методов определяются координаты объекта.

Если в зоне радиовидимости объекта виден только один КА, то для решения навигационной задачи достаточно четырех измерений, сделанных с заданным интервалом времени во время его пролета над объектом. Точность вычислений может быть повышена, если измерение доплеровского сдвига производится от нескольких КА или одновременно на нескольких частотах. Результаты навигационных измерений могут быть использованы непосредственно потребителем или в автоматическом режиме с заданной периодичностью (например, 1 раз в 30 мин) передаваться по каналу спутниковой связи в диспетчерский центр.

Определение координат на наземной станции осуществляется лишь в случае, если на борту КА используется прозрачный ретранслятор (без обработки информации на борту). Возможны два метода: пассивный и активный (запрос с активным ответом). При пассивном ме-

тоде наземная станция принимает сигналы от абонентского терминала и измеряет доплеровский сдвиг. Поскольку доплеровский сдвиг в линиях связи "Земля-спутник" и "спутник-Земля" изменяется независимо, т.е. его частота может принимать не только различные значения, но и иметь противоположный знак, то для устранения этой неопределенности необходимо, чтобы на наземной станции были не только точно известны ее географические координаты и текущее положение КА, но и точное время. В этом случае возможно вычисление доплеровской кривой на каждом участке линии, а следовательно, однозначное определение координат объекта.

При использовании метода "запрос с активным ответом" наземная станция посылает запросные сигналы на частоте  $f_1$ , которые ретранслируются всем наземным объектам. Терминалы пользователя принимают запросные сигналы и перетранслируют их на разных частотах или в разных временных интервалах. На наземной станции измеряется время запаздывания  $\Delta t$  ответных сигналов относительно запросных. Достаточно трех измерений  $\Delta t_1, \Delta t_2$  и  $\Delta t_3$ , сделанных через разные КА или через один КА, но в смещенные моменты времени, чтобы вычислить координаты потребителя. Объект будет находиться в точке пересечения трех сфер с КА в их центрах. При таком способе точность вычисления координат повышается, но на это затрачивается часть пропускной способности системы, необходимой для передачи избыточной (служебной) информации.

С помощью наземной станции можно достаточно точно определить координаты объекта, если в зоне радиовидимости находятся одновременно не менее двух КА. В этом случае оценивается разность прихода во времени одного и того же сигнала по двум различным путям. Наличие в зоне одновременно нескольких КА позволяет организовать разнесенный прием через разные спутники, а следовательно, повысить надежность связи (как это реализовано в системе Globalstar).

Если в зоне радиовидимости присутствует только один спутник, то на наземной станции также существует возможность однозначного определения координат потребителя. Для этого производят несколько последовательных отсчетов дальности и их накапливают по мере движения КА на орбите.

Возможность определения местоположения по собственным сигналам низкоорбитальных КА предусмотрена в системах Orbcomm, Globalstar, Iridium и др. Достижимая точность определения координат обычно не превышает 0,3-1 км и зависит от таких факторов, как количество наблюдаемых КА, точности вычисления параметров КА, продолжительности связи и других.

При связи с одним КА определение местоположения обеспечивается с точностью не менее 10 км. Если же в зоне радиовидимости находятся одновременно два КА (и угол между ними не менее  $22^\circ$ ), то с вероятностью 0,95 менее чем за 10 сек. координаты абонента вычисляются с точностью не хуже 300 м (Globalstar). Точность определения местоположения при пассивном методе не превышает 0,5-1 км. Данные по точности навигационных определений для низкоорбитальных систем Orbcomm и Globalstar приведены в табл. 12.8.

Определение координат подвижных абонентов принципиально возможно и в системах со средневысотными КА. При периоде обращения 6 часов максимальный доплеровский сдвиг для систем с высотой орбиты 10350 км (Odyssey, ICO) составляет  $\Delta f_{D \text{ макс}} = \pm 6 \cdot 10^{-6} / 0$ . Количество КА в системах на средних высотах достаточно, чтобы наблюдать созвездие из двух или трех спутников под большими рабочими углами видимости. При этом обеспечивается точность определения местоположения не хуже 15 км (по данным системы Odyssey).

**Таблица 12.8.** Точность автономного определения местоположения по собственным сигналам низкоорбитальных КА

Название системы	Рабочая частота, МГц	Число одновременно наблюдаемых спутников		
		1	2	3
Globalstar	2483,5-2500	1600 м (1 мин) 400 м (4 мин)	200-300 м (4 мин)	-
Orbcomm	137-138 400,1 137-138/400,1	1100 м (7 мин) 371 м (7 мин) 37 м (7 мин)	725 м (24 мин) 262 м (24 мин) 26 м (24 мин)	650 м (41 мин) 214 м (41 мин) 21 м (41 мин)

Следует отметить, что появление недорогих GPS приемников позволило сделать процедуру определения местоположения простой и доступной не только для персональных пользователей ряда рассмотренных систем, но и большого числа пользователей, указанных в разделе 12.1. В системном плане указанная тенденция внедрения малогабаритных терминалов определения местоположения дала своеобразный импульс к развитию систем электронного картографирования. Зарубежные фирмы, такие как Ashtech, Trimble Navigation, Magellan Systems и др. предлагают широкий выбор не только GPS-приемников, но и соответствующих программных продуктов, ориентированных на создание электронных карт. Однако в России зарубежные электронные картографические комплексы не получили широкого распространения из-за достаточно высокой цены и низкой степени детализации оцифрованных географических районов России и стран СНГ.

Все чаще и успешнее подобная работа осуществляется российскими фирмами. Недавно прошел апробацию отечественный комплекс электронного картографирования, который использовался для отслеживания местоположения поезда, имитирующего перевозку опасных грузов (НПО "Элерон"). Эксперимент проводился летом 1997 г. на поезде, следующем по маршруту Москва-Екатеринбург и обратно. Данные о местоположении передавались по спутниковым каналам российской системы Тонец-Д1" (2,7 кбит/с) и международной Inmarsat-C (600 бит/с). Отсчет координат с GPS приемников производился каждые 10 мин. Кроме данных о местоположении передавались экстренные сообщения с аварийных датчиков, контролирующих состояние груза внутри вагона, а также датчиков охранной сигнализации (контроль несанкционированного доступа). Система управления комплексом предусматривала передачу оперативных данных по запросу автоматически через заданные интервалы времени (например 1 раз в N минут). Все переданные/полученные сообщения автоматически регистрировались в электронном журнале.

Данный комплекс обеспечил отображение движения поезда на электронной карте территории России. Нанесенная на электронные карты информация (пометки на карте или присоединенная информация из прикладных баз данных) мгновенно передавалась диспетчеру вместе с оперативными данными об объекте (местоположение, аварийные ситуации и др.).

Требования к электронным комплексам для морских и воздушных потребителей существенно отличаются от задач отслеживания местоположения наземного транспорта. Существующие стандарты, определяющие точность сопровождения судов, выделяют две зоны:

- открытое море и прибрежные районы;
- подходы к портам и плавание в районах, где свобода маневрирования судов ограничена.

Требования к точности отображения движения судов на электронной карте в каждой из зон существенно отличаются. При плавании в первой зоне точность должна быть не хуже 4% от ближайшей навигационной опасности и максимум в 4 мили между соседними интервалами отображения. Что же касается второй зоны, то в ней отображаемая на дисплее информация о месте судна должна обеспечивать точность не хуже 10 м вероятностью 95% с интервалом обновления данных на электронных картах 2-10 с [46].

# СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

## РУССКИЕ СОКРАЩЕНИЯ

АКРМ	автономный контейнерный радиомаяк
АЛ	абонентская линия
АРМ	автоматический радиомаяк
АС	абонентская станция
АСУС	автоматическая система управления связью
АТ	абонентский терминал
АФАР	активная фазированная антенная решетка
АЦП	аналого-цифровой преобразователь
БЗС	береговая земная станция
БРТК	бортовой радиотехнический комплекс
БС	базовая станция
БСОД	базовая сеть обмена данными
ВОЛС	волоконно-оптическая линия связи
ВРК	временное разделение каналов
ВСС	1. Взаимоувязанная сеть связи, 2. выделенная сеть связи
ВЭО	высокоэллиптическая орбита
ГКЛ	галактические космические лучи
ГКНПЦ	Государственный космический научно-производственный центр им. М.В.Хруничева
ГКРЧ	Государственная комиссия по радиочастотам
ГП КС	Государственное предприятие "Космическая связь"
ГСО	геостационарная орбита
ГЧ	генератор частоты
дБи (dBi)	децибелы, отсчитываемые относительно уровня изотропного излучателя
ЕКА	Европейское космическое агентство
ЗРВ	зона радиовидимости
ЗС	земная станция
ИС	интегральная схема
КА	космический аппарат
КВЧ	крайне высокая частота
КСС	координирующая сетевая станция
КТЛ	командно-телеметрическая линия
КЦС	координационный центр системы
ЛБВ	лампа бегущей волны
МДВР	многостанционный доступ с временным разделением каналов
МДКН/ОК	многостанционный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов
МДКР	многостанционный доступ с кодовым разделением каналов
МДПР	многостанционный доступ с пространственным разделением каналов
МДЧР	многостанционный доступ с частотным разделением каналов
МДЧР/ОКН	многостанционный доступ с частотным разделением каналов/отдельный канал на несущую
МККТТ	Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии
МС	маркерный сигнал

---

МСЛ	межспутниковая линия
МСТ	мобильный связной терминал
МСЭ	Международный союз электросвязи
МШУ	малошумящее устройство
н/д	нет данных
НССС	низкоорбитальная система спутниковой связи
НТВ	непосредственное телевизионное вещание
НЧ	низкая частота
ОГ	орбитальная группировка
ОК	обратный канал
ОКС	общий канал сигнализации
ОНЧ	очень низкая частота
ПД	передача данных
ПК	1. персональный компьютер, 2. прямой канал
ПО	подвижный объект
ППМ	плотность потока мощности
ППРЧ	псевдослучайная перестройка рабочей частоты
ПРД	передатчик
ПРМ	приемник
ПС	пилот-сигнал
ПСП	псевдослучайная последовательность
ПСС	подвижная спутниковая служба
ПЧ	промежуточная частота
РН	ракета-носитель
РНС	радионавигационная система
РПЗ	радиационный пояс Земли
РС	региональная станция
РСС	радиовещательная спутниковая служба
РЭС	радиоэлектронное средство
САС	срок активного существования
СДП	спутниковый диспетчерский пункт
СКЛ	солнечные космические лучи
СКО	средняя квадратическая ошибка
СМ	станция маршрутизации
СМС	станция межсетевого сопряжения
СПОИ	станция приема и обработки данных
СПСС	система персональной спутниковой связи
СС	станция сопряжения
ССС	система спутниковой связи
СЭП	система электропитания
ТЛГ	телеграф
ТЛФ	телефон
ТС	транспортное средство
ТТХ	тактико-технические характеристики
ТФК	телефонный канал
ТФОП	телефонная сеть общего пользования

ПЕРСОНАЛЬНАЯ СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ

УС	узловая станция
ФАР	фазированная антенная решетка
ФЛ	фидерная линия
ФСС	фиксированная спутниковая служба
ЦС	центральная станция
ЦУП	центр управления полетом
ЦУС	центр управления системой
ЧМ	частотная модуляция
ЧМн	частотный манипулятор
ЧНН	час наибольшей нагрузки
ЧРК	частотное разделение каналов
ЧС	чрезвычайная ситуация
ШПС	шумоподобный сигнал
ЭИИМ	эквивалентная изотропно излучаемая мощность
ЭМС	электромагнитная совместимость
ЭРИ	электрорадиоизделие

## АНГЛИЙСКИЕ СОКРАЩЕНИЯ

8PSK	8 Phase-Shift Keying	восьмифазная манипуляция
AFSK	Audio Frequency-Shift Keying	частотная манипуляция на звуковой частоте
AMPS	Advanced Mobile Phone Service	Перспективная подвижная радиотелефонная служба (аналоговый стандарт сотовой связи, США)
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	Американский стандартный код для обмена информацией
ASPR	Automatic Satellite Position Reporting	автоматическое вычисление положения спутника
ATDMA	Advanced Time Division Multiple Access	усовершенствованный многостанционный доступ с временным разделением каналов
ATM	Asynchronous Transfer Mode	асинхронный метод передачи
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network	широкополосная цифровая сеть интегрального обслуживания
BOL	Beginning Of Life	начало существования (спутника на орбите)
BPSK	Binary Phase-Shift Keying	двоичная фазовая манипуляция
C/A	Coarse/Acquisition code	код грубого определения местоположения (в системе GPS)
CDM	Code Division Multiplexing	кодовое разделение каналов
CDMA	Code Division Multiple Access	многостанционный доступ с кодовым разделением каналов, МДКР
CELP	Code-Excited Linear Prediction	линейное предсказание с кодовым возбуждением
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor	комплементарная структура металл-оксид-полупроводник
DAMA	Demand Assignment Multiple Access	многостанционный доступ с предоставлением каналов по требованию
DQDB	Distributed Queue Dual Bus	распределенная двойная шина с очередями
drms	distance root-mean-square	среднеквадратическая ошибка определения расстояния
DSI	Digital speech interpolation	цифровая интерполяция речи (метод цифрового статистического уплотнения речи)

DSP	Digital signal processing	цифровой сигнальный процессор
$E/N_0$	Energy-to-spectral Noise ratio	отношение энергии сигнала к спектральной плотности шума
EHF	Extremely-High Frequency	крайне высокая частота, КВЧ
ELT	Emergency locator transmitter	аварийный радиомаяк, АРМ
EMSS	European mobile satellite service	Европейская подвижная спутниковая служба
EOL	End Of Life	конец срока существования (спутника на орбите)
EPIRB	Emergency Position-Indicating Radio Beacon	аварийный радиобуй, срабатывающий автоматически при погружении в воду
FCC	Federal Communication Commission	Федеральная комиссия связи (США)
FDDI	Fiber Distributed Data Interface	волоконно-оптический распределенный интерфейс данных (стандарт ANSI)
FDM	Frequency Division Multiplexing	частотное разделение каналов, ЧРК
FDMA	Frequency Division Multiple Access	многостанционный доступ с частотным разделением каналов, МДЧР
FEC	Forward Error Correction	прямое исправление ошибок (без повторной передачи)
FSK	Frequency-Shift Keying	частотная манипуляция
$G/T$	Gain-to-Noise temperature	добротность (отношение коэффициента усиления приемной антенны к шумовой температуре)
GEO	Geosynchronous Earth Orbit	геостационарная орбита, ГСО
GMSK	Gaussian Minimum-Shift Keying	гауссовская манипуляция с минимальным сдвигом
GPS	Global Positioning System	глобальная навигационная система
GSM	Global System for Mobile communications	глобальная система подвижной связи (общеевропейский цифровой стандарт сотовой связи)
HDTV	High-Definition Television	телевидение высокой четкости
HEO	High Elliptical Orbit	высокоэллиптическая орбита, ВЭО
IDU	Indoor Unit	внутренний (комнатный) блок
IP	Internet Protocol	межсетевой протокол
ISDN	Integrated Services Digital Network	цифровая сеть интегрального обслуживания
LDTV	Low-Definition Television	телевидение малой четкости
LEO	Low Earth Orbit	низкая околоземная орбита
LHCP	Left-Hand Circularly Polarized	с левой круговой поляризацией
LPC	Linear Predictive Coding	линейное предиктивное кодирование
MCC	Mission Control Centre	координационный центр управления
MEO	Medium Earth Orbit	средневысотная орбита
MF-TDMA	Multifrequency Ttime Division Multiple Access	многочастотный многостанционный доступ с временным разделением каналов
MOS	1. Mean Opinion Score	усредненная оценка разборчивости речи (по пятибальной шкале)
	2. Metal-Oxide-Silicon	структура металл-оксид-полупроводник
MSK	Minimum-Shift Keying	манипуляция с с минимальным сдвигом
MXU	Mobile Exchange Unit	мобильная телефонная станция (в системе Iridium)
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства, НАСА (США)
NGSO	Non-Geostationary Orbit	негеостационарная орбита

NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы
NOCC	Network Operations Control Center	центр оперативного управления и контроля сети
OC-3	Optical Carrier level 3	оптическая несущая 3-его уровня (скорость передачи 155,52 Мбит/с)
ODU	Outdoor Unit	наружный блок (размещается вместе с антенной)
OQPSK	Offset Quadrature Phase-Shift Keying	квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом
P	Precision code	код точного определения местоположения (в системе GPS)
PCS	Personal Communications Service	служба персональной связи (стандарт США)
PDF	1. Power Density Flux 2. Power Distribution Frame	плотность потока мощности распределительный щит электропитания
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	плезеохронная цифровая иерархия
PIN	Personal Identification Number	персональный идентификационный номер
PRE-LTP	Regular-Pulse Excitation/Linear Predictive coding	кодирование с регулярным импульсным возбуждением и линейным предсказанием
PSDN	Packet Switched Data Network	сеть передачи данных с коммутацией пакетов
PSTN	Public Switched Telephone Network	автоматическая телефонная сеть общего пользования
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying	квадратурная фазовая манипуляция
RDSS	Radiodetermination Satellite Service	спутниковая служба радиоопределения
RHCP	Right-Hand Circularly Polarized	с правой круговой поляризацией
SAN	Satellite Access Node	спутниковый узел доступа
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition system	система диспетчерского управления и сбора данных
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	синхронная цифровая иерархия
SDPSK	Smoothed Differential Phase-Shift Keying	относительная фазовая манипуляция со сглаживанием
SEL	Single Event Latchup	необратимые отказы (так называемое "защелкивание" микросхемы при воздействии одиночных высокоэнергетических частиц)
SEP	Spherical Error Probable	вероятная сферическая ошибка (радиус сферы, внутри которой будут располагаться 50% оценок положения)
SEU	Single Event Upset	кратковременный отказ (вследствие воздействия одиночных высокоэнергетических частиц)
SIM	Subscriber Identity Module	модуль идентификации абонентов (SIM-карта)
SOCC	Satellite Operations Control Center	центр управления и контроля орбитальной группировкой
SS	Signalling System	система сигнализации
SSMA	Spread Spectrum Multiple Access	многостанционный доступ с использованием сигналов с расширенным спектром
SSPA	Solid State Power Amplifier	твердотельный усилитель мощности
TASI	Time Assignment Speech Interpolation	статистическое уплотнение речи с временным разделением каналов

TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	протокол управления передачей/межсетевой протокол
TDM	Time Division Multiplexing	временное разделение каналов, ВРК
TDMA	Time Division Multiple Access	многостанционный доступ с временным разделением каналов
TT&C	Tracking, Telemetry and Command	слежение, телеметрия и передача команд
TTL	Transistor-Transistor logic	транзисторно-транзисторные логические схемы, ТТЛ
TWTA	Travelling-Wave Tube Amplifier	усилитель на лампе бегущей волны
UTC	Universal Time Coordinated	всемирное координированное время (унифицированная система определения среднего времени по гринвичскому меридиану)
VSAT	Very Small Aperture Terminal	терминал со сверхмалой апертурой антенны
VSELP	Vector-Sum Exited Linear Prediction	векторное линейное предсказание с самовозвуждением
WRC	World Radio Conference	Всемирная радиоконференция

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Персональная спутниковая связь. Под. ред. Смирнова А.А. Технологии электронных коммуникаций, "ЭКО-ТРЕНДЗ Ко", М., т.64, 1996
2. Тамаркин В.М., Невдяев Л.М., Сергеев С.И. Низкоорбитальные сети спутниковой связи, ЦНТИ "Информсвязь", М., 1994
3. Корпоративные системы спутниковой и КВ связи. Под. ред. Смирнова А.А. Технологии электронных коммуникаций, "ЭКО-ТРЕНДЗ Ко", М., 1997
4. R.A.Nelson. Satellite Constellation Geometry. Via Satellite, 1995, 3
5. Small Space. A Bulletin for the International Small Satellite. Washington, winter 1995
6. The World Satellite Directory. 17th Annual Edition, Phillips Business Information, 1995
7. J. Gibson. Mobile Communications Handbook, CRC Press Inc., США, 1996
8. C.Loisy. European Mobile Satellite Services (EMSS) Regional System for Europe. International Mobile Satellite Conference, IMSC'95, Ottawa, 1995
9. I.M. Jacobs. An Overview of the Omnitrac: the First Operational Two-way Mobile Ku-band Satellite Communications System. Space communications, 1989, №7
10. J.Colcy. New Application for the Euteltracs Service. International Mobile Satellite Conference, IMSC'95, Ottawa, 1995
11. Microwave Journal, 1997, 8
12. Prodat-2: Satellite Link Protocol Specification, ESA/ESTEC, 1992
13. International Mobile Satellite Conference, IMSC'93, Pasadena, California, 1993
14. ICO - Europe's Big Hope in Mobile Satellite Services. Global Satellite Business, 1997, 8
15. Small-Satellite Technology and Applications III, SPIE, 1993
16. Конференция RUSSAT-93. С. Петербург, 1993
17. Constellation Communications: Pursuing a LEO System. Via Satellite, 1995, 3
18. D. Schoen. Orbcomm - Initial Operations. International Mobile Satellite Conference, IMSC'95, Ottawa, 1995
19. Satellite Business Forum for Russia and the CIS. Adam Smith institute, M., 1996
20. Леонов Д., Бачериков В. Многоцелевая космическая система навигации и связи "ЭЛЕКОН-СТИР". Навигация-95, Сб. трудов Международной конференции "Планирование глобальной радионавигации", 1995, 1
21. Via Satellite, 1997, 10
22. World Telecommunications Congress ISS'95, Berlin, 1995, v.1,2
23. Global horizons, 1996, v.2, №1
24. Дунаев И.Б. и др. Низкоорбитальная система спутниковой связи "Сигнал". Концепция построения и перспективы развития. 2-я Международная конференция "Спутниковая связь", М., 1996, т. 2
25. П. Чачин. Российский "Сигнал", PC Week/RE, 1997, №50
26. Teledesic - The SDI of the Personal Global Satcoms Arena, Mobile Europe, №5, v.5, 1995
27. International Small Satellite Organization Conference, 1995, may 24-25
28. Mobile Satellite News, Washington, 1995, v.7, №10
29. 15-th AIAA International Communications Satellite Systems Conference, San Diego, 1994
30. K. Jonannsen. Mobile P-service Satellite System Comparison. International Journal of Satellite Communications, 1995, v.13
31. Вронец А.П. Вопросы практической реализации новых технологий систем мобильной и фиксированной радиосвязи в России. 2-ой бизнес-форум "Мобильные системы-97", М., 1997
32. Голубев С., Качалин М. ВТ/6 - станция генерации дифференциальных поправок GPS, СТА, 1996, 1
33. В.Н Казанцев и др. Система Глонасс" - текущее состояние , перспективы развития. Международная конференция "Спутниковая связь", М., 1994, т.2
34. Зурабов Ю., Мищенко И. Inmarsat: возможности навигационного использования, Телевестник, 1996, 3
35. Forecast International 1996. Space Systems Forecast, November. 1995
36. Спутниковая связь и вещание. Под ред. Л.Я. Кантора. М., Радио и связь", 1997
37. Толмачев Ю.А., Коньков А.М. Глобальное информационное сообщество и тенденции создания глобальных систем персональной подвижной спутниковой связи. 2-ой бизнес-форум "Мобильные системы-97", М., 1997

38. Market Opportunities for Little LEO Satellite Communications Services in Asia-Pacific. KMPG, 1995
39. Спутниковые системы связи и вещания, "Радиотехника", М., 1997
40. S. Seumahu Investigation of the Equatorial LEO Orbit for Small Satellite Applications, 1996
41. Satellite Communication Systems Design. Edited by S. Tirro, 1993, New York
42. Л.М. Невдяев Мобильная спутниковая связь. Справочник. Серия изданий "Связь и бизнес", М., МЦНТИ, 1998
43. Клепиков И.А., Кукк К.И. О перспективах развития подвижной спутниковой связи в России. 3-й бизнес-форум "Мобильные системы-98", М., МЦНТИ, 1998
44. Москвитин В.Д. и др. Взаимодействие спутниковых и наземных сетей подвижной связи ВСС России. Там же
45. Навигация-95. Сборник трудов Международной конференции "Планирование глобальной радионавигации", 1995, т.1 и 2
46. Навигация-97. Сборник трудов Международной конференции "Планирование глобальной радионавигации", 1997, т.1 и 2
47. Материалы сервера организации Inmarsat <http://www.inmarsat.org>
48. Материалы сервера компании Teleglobe Inc. <http://www.teleglobe.com>
49. Материалы по системе Ellipso на сервере <http://www.ellipso.com>
50. Материалы сервера компании ICO Global Communications <http://www.i-co.co.uk>
51. Материалы сервера компании Orbcomm, L.P. <http://www.orbcomm.net>
52. Материалы сервера компании Orbital Sciences Corp. <http://www.orbital.com>
53. Материалы сервера компании Panasonic Industrial Corp. <http://www.panasonic.com>
54. Материалы сервера компании Leo One Corporation <http://www.leoone.com>
55. Материалы сервера консорциума Iridium LLC <http://www.iridium.com>
56. Материалы сервера компании Motorola <http://www.mot.com>
57. Материалы сервера компании Globalstar Limited Partnership <http://www.globalstar.com>
58. Материалы по системе Spaceway <http://www.spaceway.com>
59. Материалы сервера компании Teledesic Corp. <http://www.teledesic.com>
60. Материалы сервера ESA <http://www.esrin.esa.it>
61. Материалы сервера компании Boeing <http://www.boeing.com>
62. Материалы сервера компании Trimble Navigation Ltd <http://www.trimble.com>
63. Материалы сервера компании Ashtech <http://www.ashtech.com>
64. Материалы сервера компании Magellan Systems Corp. <http://www.magellangps.com>

Обложка художника В.В. Шикина

ЛР№ 065232 от 20.06.97

Подписано в печать с оригинал-макета 30.03.98. Формат 60x84/8.

Бумага офсетная № 1. Гарнитура журн.-русл. Печать офсетная. Усл. печ. л. 21,98. Зак. №.

Информационно-технический центр "Эко-Трендз"

Типография «ПОЛТЕКС», Москва, Кривоколенный пер., д.12