

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

А.П. Дятлов

**СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С
ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

Таганрог 1997

Дятлов А.П. Системы спутниковой связи с подвижными объектами: Учебное пособие. Ч.1. Таганрог. ТРТУ. 1997. 95 с.

Учебное пособие состоит из двух частей. В первой части рассмотрены классификация систем спутниковой связи с подвижными объектами (ССС ПО), принцип действия, состав и основные характеристики СССР ПО, методика энергетического расчета СССР ПО, распределение ресурсов спутниковых ретрансляторов, особенности использования при построении СССР ПО искусственных спутников земли (ИСЗ) с различной высотой орбиты.

Рассмотрены принципы построения геостационарных и низкоорбитальных СССР ПО.

Табл. 19. Ил. 34. Библиогр: 18 назв.

Печатается по решению Совета УМО МОПО по направлению «Телекоммуникации».

Р е ц е н з е н т ы :

Е.А. Волков, д-р техн. наук, проф. кафедры связи Ростовского государственного университета путей сообщения.

Кафедра электросвязи Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Связь является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей инфраструктуры современного общества с учетом его эволюции от индустриального к информационному. Такому положению дел способствует постоянный рост количества абонентов и спрос на ассортимент услуг связи.

В последние годы наиболее бурное развитие в РФ и в мире получили сети подвижной радиосвязи (СПР), поскольку они больше других сетей связи соответствуют принципам *глобализации* и *персонализации* связи и обеспечивают повышение оперативности обмена информацией между абонентами самых различных категорий на любых расстояниях.

Данное учебное пособие посвящено анализу основных характеристик и принципов построения одной из разновидностей СПР: *спутниковым системам связи с подвижными объектами* (ССС ПО).

Необходимость издания данного учебного пособия обусловлена открытием в ряде вузов РФ специальности 2012 «Средства связи с подвижными объектами», для которой в настоящее время отсутствует соответствующее методическое обеспечение.

В связи с бурным развитием СССР ПО и незавершенностью большого количества заявленных проектов по их реализации в учебном пособии дан обзор и систематизация отечественных и зарубежных научно-технических публикаций по этой проблеме.

Учебное пособие состоит из двух частей. В первой части пособия изложены основные особенности СССР ПО и принципы построения геостационарных и низкоорбитальных СССР ПО. Во второй части пособия изложены принципы действия технических средств земного и космического сегментов различных типов СССР ПО.

Данное учебное пособие предназначено для студентов специальностей 2012, 2014 и других специальностей направления «Телекоммуникации», а также для инженеров и аспирантов соответствующего профиля.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

1.1. Классификация систем спутниковой связи

Спутниковая связь является быстро развивающимся перспективным видом связи, что обусловлено такими ее достоинствами, как

- возможность обслуживания большого количества абонентов, удаленных на значительные расстояния и расположенных в любых регионах Земли;
- простота реконфигурации систем спутниковой связи (ССС) при изменении мест расположения абонентов;
- независимость затрат при организации связи от расстояния между объектами;
- незначительное влияние атмосферы и географических особенностей мест установки земных станций (ЗС) на устойчивость связи.

Принцип действия систем спутниковой связи (ССС) основан на использовании промежуточного спутникового ретранслятора (СР), через который обеспечивается связь между ЗС (рис. 1.1).

В зависимости от назначения ССС связываемые пункты могут быть расположены на поверхности Земли, в атмосфере или космосе. В каждом из этих пунктов устанавливается обычно приемно-передающая связная радиостанция (одноканальная или многоканальная), а на спутниках — СР, принимающие радиосигналы от одних абонентов и ретранслирующие эти сигналы другим абонентам. В простейшем случае ретрансляция сводится к усилению мощности входных сигналов и переносу их спектров на другие несущие частоты. Однако в ряде ССС в СР производится более сложная обработка сигналов, чтобы уменьшить перекрестные помехи между сигналами от различных ССС и повысить помехоустойчивость системы. В общем случае для обеспечения качественной связи между всеми пунктами (абонентами) СР приходится размещать на нескольких спутниках, вращающихся на различных орбитах.

ССС различают по степени глобальности и универсальности обслуживания абонентов. Степень глобальности ССС характеризуется принадлежностью и размером зоны обслуживания, а универсальности ССС — набором категорий абонентов и числом видов предоставляемой связи.

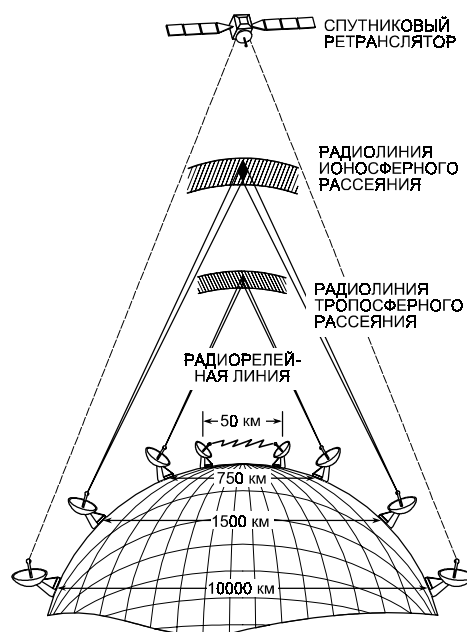


Рис. 1.1.

По принадлежности ССС подразделяются на международные, национальные, корпоративные. По зоне обслуживания ССС делятся на глобальные, региональные, зонавые (рис. 1.2).



Рис. 1.2.

В ССС осуществляется передача следующих видов информации: 1) программ телевидения и звукового вещания и других видов симплексных сообщений циркулярного характера; 2) телефонных, факсимильных, телеграфных сообщений, видеоконференций, цифровых передач — симплексных или дуплексных по своему характеру.

В зависимости от типа ЗС и назначения ССС различают следующие службы радиосвязи /1/:

- 1) фиксированную спутниковую службу (ФСС), соответствующую режиму радиосвязи между ЗС, расположенных в фиксированных пунктах при использовании одного или нескольких спутников;
- 2) подвижную спутниковую службу (ПСС), соответствующую режиму радиосвязи между подвижными ЗС при использовании одного или нескольких спутников;
- 3) радиовещательную спутниковую службу (РСС), соответствующую режиму циркулярной радиосвязи.

В данном учебном пособии рассматриваются принципы построения и особенности ССС с подвижными объектами (ССС ПО), предназначенных для передачи информации различного характера

1.2. Состав и основные характеристики систем спутниковой связи с подвижными объектами

В состав ССС ПО, структура которой приведена на рис. 1.3, независимо от их назначения входят такие компоненты, как /2/

- 1) космическая станция (КС), представляющая собой спутниковый ретранслятор (СР), включающая в себя приемопередающее устройство, антенны для приема и передачи радиосигналов, а также ряд систем обеспечения энергоснабжения, ориентации антенн и солнечных батарей, коррекции положения ИСЗ на орбите и т.д.;
- 2) абонентские ЗС, обеспечивающие дуплексный обмен информацией;
- 3) центральная (координирующая) ЗС (ЦЗС), обеспечивающая контроль за режимом работы СР и соблюдением ЗС важных для работы ССС параметров (излучаемой мощности, несущей частоты, вида поляризации, характеристик модулирующего сигнала и т.д.);
- 4) центральная ЗС системы управления и контроля ИСЗ (ЦУС), обеспечивающая управление всеми техническими средствами, размещенными на ИСЗ, и контроль за их состоянием;
- 5) соединительные наземные линии (СНЛ), обеспечивающие подключение ЗС к источникам и потребителям передаваемой информации;
- 6) центр управления (ЦУП) ССС, представляющий орган, осуществляющий руководство эксплуатацией ССС и ее развитием.

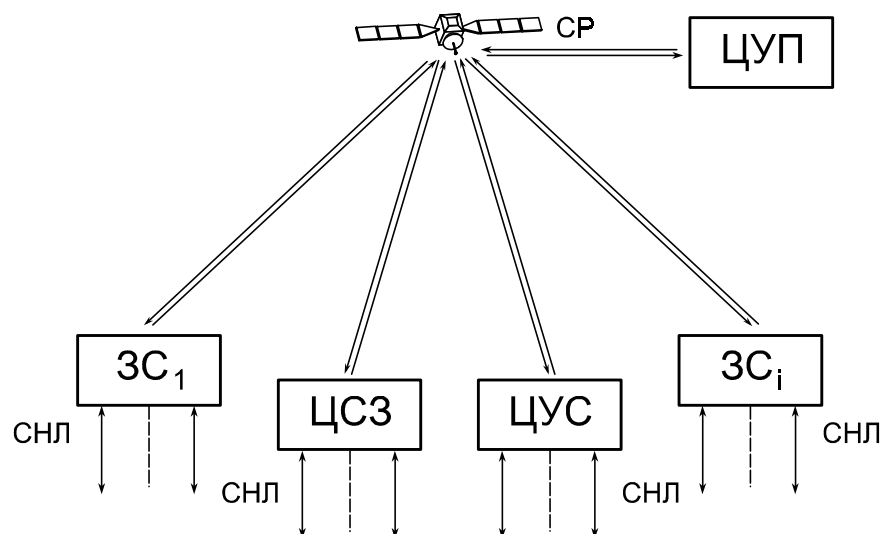


Рис. 1.3.

По трафику ССС ПО делятся на три типа /3/: «точка—точка» (рис. 1.4, а) — простейший случай дуплексной линии связи между двумя удаленными станциями; «звезда» (рис. 1.4, б) — для многонаправленной радиальной передачи трафика между центром сети и периферийными (удаленными) пунктами связи; «каждый с каждым» (рис. 1.4, в) — для обеспечения прямых связей между любыми пунктами сети связи.

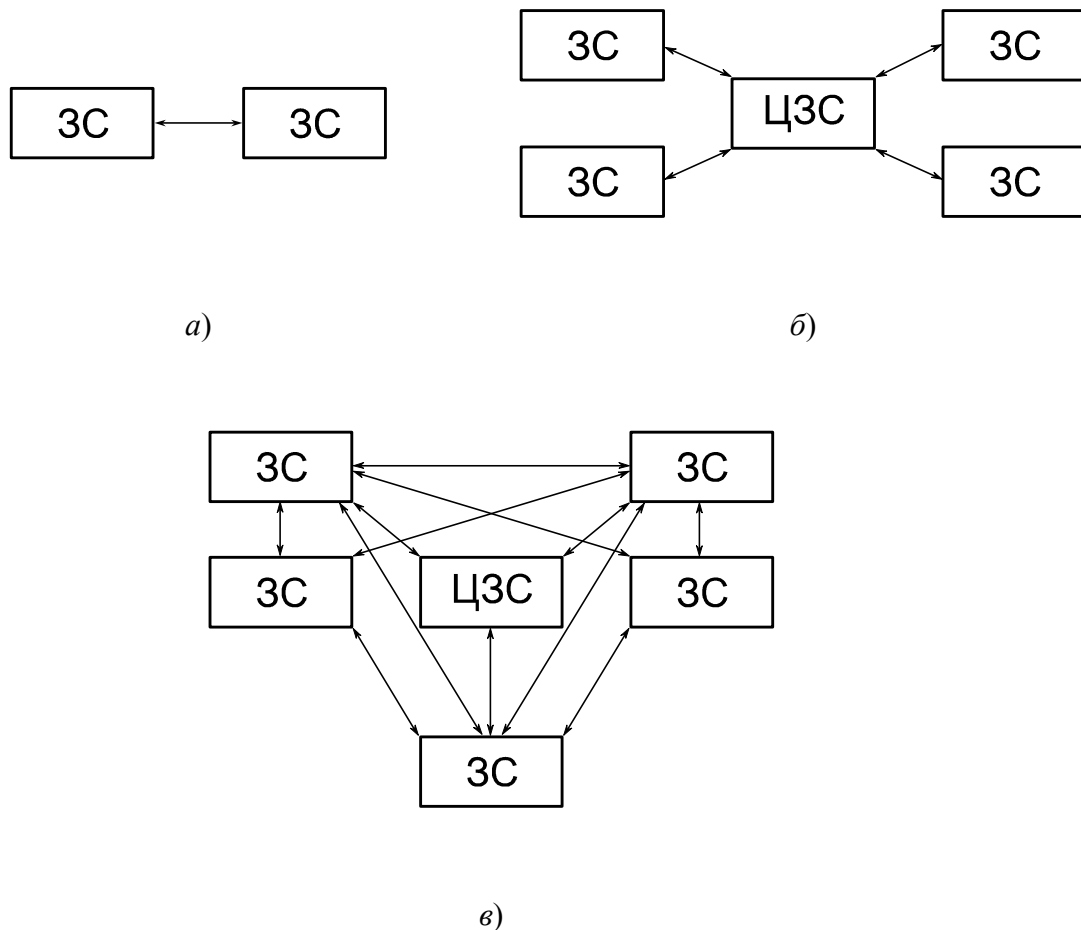


Рис. 1.4.

Сеть типа «точка—точка» обеспечивающая дуплексную связь между двумя удаленными пунктами, наиболее эффективна при больших расстояниях между ними или при их расположении в труднодоступных регионах, а также при большой величине трафика между пунктами.

В наиболее распространенных сетях типа «звезда» обеспечивается многонаправленная радиальная передача трафика между центральной земной станцией сети (ЦЗС) и удаленными периферийными абонентскими ЗС по энергетически выгодной схеме: малая ЗС—большая ЦЗС, обладающая антенной большого диаметра и мощным передатчиком. ССС ПО подобного рода широко используются для организации информационного обмена между большим числом не имеющих взаимного трафика удаленных терминалов и центральным офисом фирмы, транспортных или финансовых учреждений. Аналогично построены телефонные сети для обслуживания так называемых удаленных абонентов, которым обеспечивается выход на телефонную коммутирующую сеть общего пользования (ТФОП) через ЦЗС, подключенную к одному из наземных центров коммутации каналов.

Функции контроля и управления в сети типа «звезда» обычно сосредотачиваются в ЦУС. ЦУС выполняет служебные функции, необходимые для установления соединений между абонентами сети и поддержания рабочего состояния всех периферийных

терминалов. Такая централизованная система управления экономически целесообразна для сетей с большим числом упрощенных и дешевых периферийных терминалов.

По вариантам маршрутизации соединений через СР ССС ПО подразделяются /3/ на одно-, двух-, трехскачковые и кольцевые с использованием межспутниковых линий связи или наземных шлюзовых станций. ССС ПО с односкачковым соединением через СР (рис. 1.5, а) используются для обеспечения связи двух ЗС в случае закрепленных каналов или запроса ЗС с ЦЗС при предоставлении каналов по требованию (ПКТ).

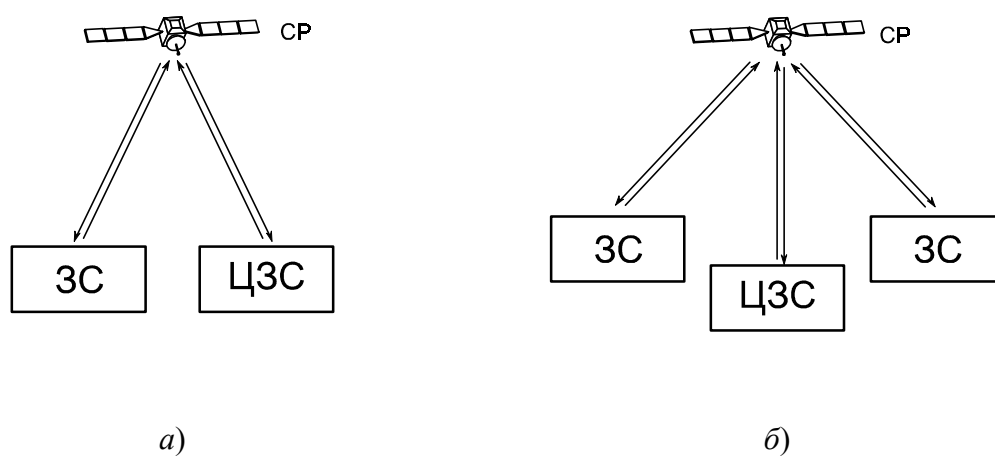
ССС ПО с двухскачковым соединением через СР (рис. 1.5, б) предназначены для обеспечения связи между двумя ЗС, находящимися в составе сети обслуживаемой одной ЦЗС. При этом ЗС работают в режиме «один канал на несущую» (ОКН), а ЦЗС выполняет функции коммутации, соединяя ЗС друг с другом по требованию, а также обеспечивая выход на наземные сети связи (НСС).

ССС ПО с трехскачковым соединением через СР (рис. 1.5, в) предназначены для обеспечения связи между ЗС, расположенными в зонах обслуживания разными ЦЗС. В перечисленных выше ССС ПО используется один СР, который может размещаться на ИСЗ с различной высотой орбиты.

При построении ССС ПО на основе использования нескольких СР, размещаемых на созвездии низкоорбитальных ИСЗ, в зависимости от назначения и технических характеристик, в ее составе имеются межспутниковые каналы связи (МКС) (рис. 1.5, г) или наземные шлюзовые станции (ШС) (рис. 1.5, д). Подобные ССС ПО предназначены для обеспечения региональной или глобальной связи абонентских терминалов по принципу «каждый с каждым».

На начальных этапах развития в ССС применялись аналоговые методы передачи информации.

В последние годы преимущественное развитие получило использование в ССС цифровых методов передачи, в связи с тем, что при этом обеспечивается высокая помехоустойчивость, стабильность параметров каналов, гибкость при построении ССС различной конфигурации и модернизации режимов их работы, появляется возможность более полного использования пропускной способности каналов и повышения технико-экономических показателей ССС.



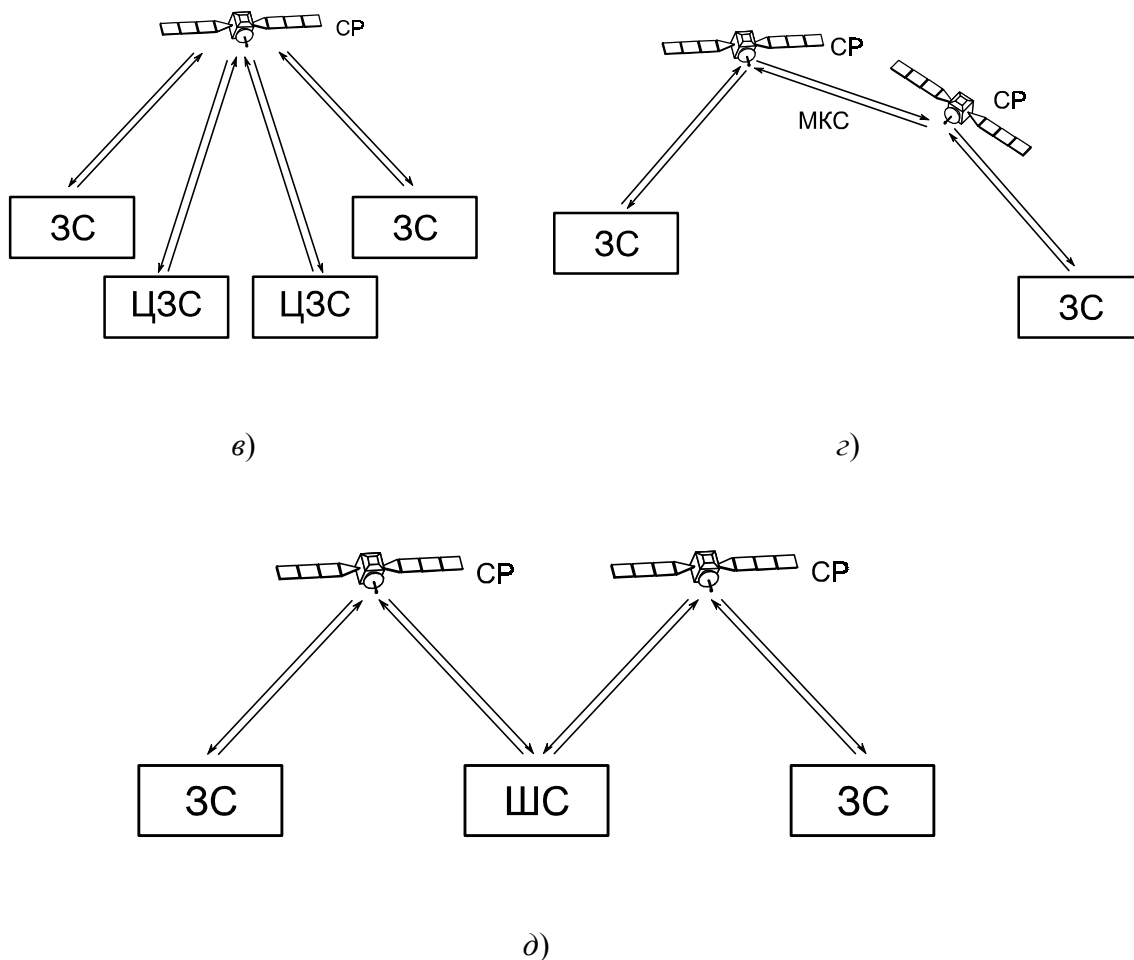


Рис. 1.5.

Для передачи по цифровым каналам аналоговые сигналы подвергаются аналого-цифровому преобразованию. К наиболее распространенным видам аналого-цифрового преобразования можно отнести импульсно-кодую модуляцию (ИКМ), дифференциальную и адаптивно-дифференциальную ИКМ, дельта-модуляцию, адаптивную дельта-модуляцию. Исследования показали, что качественные показатели речи в междугородных каналах обеспечиваются при ИКМ со скоростью передачи 64 Кбит/с, методы низкоскоростного кодирования позволяют снизить эту скорость до 32 Кбит/с, а при использовании вокодерной обработки до 2,4÷4,8 Кбит/с [4].

Эффективным средством повышения пропускной способности ССС при обеспечении телефонной связи является реализация оптимальных методов модуляции, кодирования, многостанционного доступа, а также, статистическое уплотнение, основанное на использовании естественных пауз в разговоре двух абонентов.

Границы частотного диапазона, используемого в ССС ПО, определяются большим количеством факторов, из которых наиболее важными являются допустимые размеры антенн ЗС и СР, особенности распространения радиоволн и существующей практикой распределения частотного ресурса между различными службами.

Распределение частотных полос, выделяемых ССС ПО находится в стадии формирования в связи с решениями Всемирных административных конференций по радиосвязи (ВАКР 92, 95), для реализации ССС ПО выделены дополнительные полосы:

137...138 МГц; 148...149,9 МГц; 272...273 МГц; 400,15...401 МГц; 312...315 МГц; 367...390 МГц	— при использовании маломощных передатчиков и низкоскоростных передач;
1525...1544 МГц; 1610...1626,5 МГц	— в направлении Земля—Космос (З-К); 1970...2010 МГц;
2483...2520 МГц	— в направлении Космос—Земля (К-З);
5150...5250 МГц	— в направлении З-К для фидерных линий ССС ПО;
5091...5150 МГц	— в направлении К-З для фидерных линий ССС ПО;
7025...7075 МГц	— для фидерных линий ССС ПО в обоих направлениях;
15,4...15,7 ГГц; 19,3...19,6 ГГц; 29,1...29,4 ГГц	— для межспутниковых каналов связи ССС ПО.

Достижимый на современном уровне науки и техники энергетический потенциал ЗС и СР позволяет при построении ССС ПО реализовать низкоскоростные до $R=32$ Кбит/с и среднескоростные до $R=2048$ Кбит/с передачи информации /5/.

1.3. Энергетический расчет систем спутниковой связи с подвижными объектами

1.3.1. Для обеспечения качественной связи в ССС ПО необходимо обеспечить во всех радиоприемах определенный энергетический баланс. В ССС ПО используются пять типов радиоприемов: радиоприем вверх «Земля—Космос» (З-К) типа ЗС-СР, ЦЗС-СР; радиоприем вниз «Космос—Земля» (К-З) типа СР-ЗС, СР-ЦЗС и радиоприем «Космос—Космос» (К-К) типа СР-СР. При этом наиболее напряженными в энергетическом отношении являются радиоприемы ЗС-СР и СР-ЗС в связи с тенденцией перехода в ССС ПО от мобильных земных терминалов к «ручным» терминалам, т.е. к существенному снижению мощности передатчика ЗС.

Отличительной особенностью спутниковых радиоприемов являются большие потери, обусловленные большой протяженностью трассы между ЗС и СР и неидеальностью распространения радиоволн. Так при размещении СР на геостационарном ИСЗ при трассе длиной $(39...42) \cdot 10^3$ км затухание радиосигнала в трех сантиметровом диапазоне волн может составлять более 200 дБ.

Кроме затухания сигнала на трассе радиоприема в космическом пространстве необходимо учитывать потери в трактах антенно-фидерных устройств передатчиков и приемников ЗС и СР, в процессе распространения радиоволн в атмосфере Земли, из наличия несогласованности поляризации антенн ЗС и СР, из-за неточности наведения антенн и пр. В ССС ПО поляризационные потери появляются не только за счет влияния магнитного поля Земли и атмосферы, но и за счет изменения пространственного положения ЗС и СР. С целью устранения поляризационных потерь в ССС ПО рекомендуется в передающих и приемных антеннах использовать круговую поляризацию одного направления вращения.

Следует также учитывать, что на приемные устройства ЗС и СР, кроме тепловых флюктуационных шумов, могут воздействовать разного рода непреднамеренные помехи, связанные с излучением Космоса, Солнца, планет, спутников, находящихся на различных орбитах, наземных радиотехнических средств и иного рода источников помех.

В общем случае при проектировании радиолиний спутниковой связи необходимо рассчитывать на их работу в наиболее неблагоприятных условиях с наименьшими энергетическими затратами.

1.3.2. В рамках данного учебного пособия при проведении энергетического расчета ССС ПО будем полагать атмосферу однородной и идеальной, а влияние Земли и поляризационных потерь пренебрежительно малыми. Каждая радиолиния состоит из передающей части, радиотракта или приемной части. К основным характеристикам радиолинии относятся /2, 6/.

- мощность передатчика P_n , отнесенная к одному каналу;
- коэффициент усиления передающей антенны G_n ;
- коэффициент усиления приемной антенны $G_{пр}$;
- коэффициент потерь в свободном пространстве L ;
- коэффициент дополнительных потерь в радиолинии ΔL ;
- мощность принимаемого сигнала $P_{пр}$, отнесенная к одному каналу.

Мощность передачи связана с выходной мощностью передатчика P_v соотношением

$$P_n = G_n P_v,$$

где G_n — коэффициент потерь в фидере передатчика.

Коэффициент усиления направленной антенны (передающей или приемной) G показывает обеспечиваемый ею выигрыш в мощности сигнала по сравнению с ненаправленной антенной. Максимальное значение коэффициента усиления G_m равно

$$G_m = \frac{4\pi S_a}{\lambda^2},$$

где S_a — эффективная площадь антенны; λ — длина волны.

Коэффициент потерь в свободном пространстве учитывает рассеяние электромагнитной энергии в пространстве при изотропном распространении радиоволн и определяется по формуле

$$L = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2,$$

где r — расстояние между ЗС и СР.

Величина ΔL , обусловленная поглощением радиоволн в атмосфере, замиранием вследствие многолучевости существенно зависит от угла места антенны ЗС и меняется в пределах 1,5 дБ до 6 дБ /6/.

Мощность сигнала на входе приемного устройства P_c связана с мощностью принимаемого сигнала $P_{пр}$ соотношением

$$P_c = G_{\text{пр}} P_{\text{пр}},$$

где $G_{\text{пр}}$ — коэффициент потерь в фидере приемника.

Основные энергетические параметры радиолинии взаимосвязаны уравнением радиопередачи

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_n G_n G_{\text{пр}}}{L \Delta L}.$$

Энергетический потенциал радиолинии характеризуется отношением мощности принимаемого сигнала $P_{\text{пр}}$ к спектральной плотности шумов на входе приемника N_0

$$\frac{P_{\text{пр}}}{N_0} = \frac{P_n G_n (G_{\text{пр}} / T_{\text{пр}})}{k L \Delta L}, N_0 = k T_{\text{пр}},$$

где $k=1,39 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц·гр — постоянная Больцмана; $T_{\text{пр}}$ — шумовая температура приемного устройства по шкале Кельвина; $P_n G_n$ — эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ), Вт; $G_{\text{пр}}/T_{\text{пр}}$ — добротность приемного устройства, К^{-1} .

При расчете энергетического потенциала радиолинии, наряду с мощностью принимаемого сигнала $P_{\text{пр}}$, используется плотностью потока мощности на единичной площадке

$$W = \frac{P_{\text{пр}}}{S_{\text{пр}}} = \frac{P_{\text{пр}} G_{\text{пр}} S_{\text{пр}}}{4\pi r^2 \Delta L},$$

где $S_{\text{пр}}$ — эффективная площадь приемной антенны.

При использовании в СР многостанционного доступа на основе частотного разделения каналов необходимо дополнительно учитывать помехи за счет взаимной модуляции (интермодуляционной), которые рассматриваются как флюктуационный шум со спектральной плотностью I_0 .

При этом результирующее отношение сигнал/помеха на выходе СР определяется из соотношения

$$\frac{P_{\text{пр}}}{N_0 + I_0} = \frac{P_{\text{пр}}}{N_0} \cdot \frac{P_{\text{пр}}}{I_0} \left(\frac{P_{\text{пр}}}{N_0} + \frac{P_{\text{пр}}}{I_0} \right)^{-1}.$$

В общем случае при проектировании ССС ПО необходимо дополнительно решать проблему электромагнитной совместимости (ЭМС) данной системы с другими космическими и наземными системами, функционирующих в общих полосах частот. Для решения данной проблемы формулируются ограничения на энергетические потенциалы СР и ЗС, которые зависят от частотных диапазонов /1/.

1.3.3. Рассмотрим методику энергетического расчета ССС ПО на примере архитектуры «точка—точка», обеспечивающей дуплексную одноканальную связь при использовании сигналов с четырехкратной фазовой манипуляцией (ФМ-4) со скоростью передачи информации R и достоверностью передачи информации, соответствующей заданному уровню вероятности ошибочных решений $P_{\text{ош}}$.

Структура упомянутой ССС ПО при использовании СР с прямой ретрансляцией и частотным разделением каналов при передаче информации от ЗС₁ к ЗС₂ приведена на рис. 1.6, где приняты следующие обозначения:

- P_1, G_1, ν_1 — соответственно мощность передатчика, усиление передающей антенны и потери в фидере ЗС₁;
- P_2, G_2, ν_2, T_2 — соответственно мощность сигнала на входе СР, усиление приемной антенны и потери в антенном фидере СР, шумовая температура СР;
- $P_3, G_3, \nu_3, P_{ин}$ — соответственно мощность сигнала на выходе СР, усиление передающей антенны и потери в фидере СР, мощность интермодуляционной помехи на выходе СР;
- P_4, G_4, ν_4, T_4 — соответственно мощность сигнала на входе приемника ЗС₂, усиление приемной антенны ЗС₂, потери в антенном фидере и шумовая температура приемника ЗС₂;
- $K_{ср}, \Delta f_{ср}, \Delta f_k$ — соответственно коэффициент передачи СР по мощности в линейном режиме, ширина частотного диапазона СР и полоса пропускания одного канала СР;
- $r_{12}, r_{34}, \lambda_1, \lambda_2$ — соответственно расстояние между ЗС₁ и СР и СР-ЗС₂, рабочие длины волн передачи ЗС₁ и приема ЗС₂.

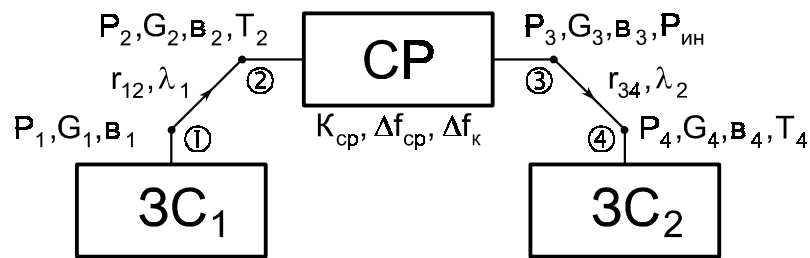


Рис. 1.6.

В данном случае ССС ПО состоит из прямого и обратного каналов связи. Прямой канал включает в себя радиолинии ЗС₁-СР и СР-ЗС₂, а обратный — ЗС₂-СР и СР-ЗС₁. При дуплексной связи допустимо автономное рассмотрение каждого из упомянутых каналов.

При энергетическом расчете прямого канала необходимо, наряду с характеристиками радиолиний ЗС₁-СР и СР-ЗС₂ учитывать нелинейный характер обработки сигналов в СР.

Наиболее сложно обеспечить энергетический баланс на участке СР-ЗС₂, поскольку мощность помехи P_p на входе приемника ЗС₂, определяется не только тепловыми шумами ЗС₂ $P_{шзс}$, но и переизлученными СР шумами ЗС₁ на входе СР $P_{шср}$ и интермодуляционными помехами $P_{ин}$. При этом результирующее отношение сигнал/помеха g в рассматриваемой ССС ПО может быть представлено следующим образом [2, 7]

$$\frac{1}{g^2} = \frac{1}{g_{зс}^2} + \frac{1}{g_{ср}^2} + \frac{1}{g_{ин}^2}, \quad g_{зс}^2 = \frac{P_4}{P_{шзс}}, \quad g_{ср}^2 = \frac{P_2}{P_{шср}}, \quad g_{ин}^2 = \frac{P_3}{P_{ин}}$$

где $g_{зс}^2$, $g_{ср}^2$, $g_{ин}^2$ — соответственно отношение сигнал/шум по мощности на входе ЗС₂, СР и отношение сигнал/интермодуляционная помеха на выходе СР.

При использовании в ССС ПО сигналов ФМ-4 для обеспечения требуемого уровня достоверности передачи информации необходимо, чтобы отношение сигнал/помеха по напряжению g определялось из соотношения

$$g = \arcs \Phi(1 - P_{ош}), \quad \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad g^2 = \frac{P_c}{P_p}$$

где $\arcs Z$ — обратная функция от Z ; $\Phi(x)$ — интеграл ошибок; P_c — мощность сигнала; P_p — мощность помех, обусловленных шумами ЗС и СР.

Мощность шума на входе ЗС₂ и СР

$$P_{шзс} = k T_4 \Delta f_k, \quad P_{шср} = k T_2 \Delta f_k, \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Вт/Гц} \cdot \text{гр}; \quad \Delta f_k = \frac{1,2R}{\log_2 M},$$

где k — постоянная Больцмана; $M = 4$ — кратность манипуляции сигнала ФМ-4.

Мощность сигнала на входе приемника СР

$$P_2 = \frac{P_1 G_1 G_2 \Delta_2}{\epsilon_1 \epsilon_2 L_{12}}, \quad L_{12} = \left(\frac{4\pi r_{12}}{\lambda_1} \right)^2 \Delta L_{12},$$

где Δ_2 — ослабление усиления приемной антенны СР за счет неточной ориентации ее оси симметрии в направлении на ЗС₁; L_{12} — ослабление сигнала на участке «ЗС-СР»; ΔL_{12} — дополнительное ослабление сигнала на участке «ЗС-СР» за счет неидеальности эфира; λ_1 — рабочая длина волны передачи информации ЗС₁.

Мощность сигнала на выходе СР

$$P_3 = K_{ср} P_2.$$

При функционировании СР в многосигнальном режиме /8/

$$P_3 = K_{и} P_M / n, \quad n \leq \frac{\Delta f_{ср}}{\Delta f_k},$$

где P_M — максимальная мощность на выходе СР, функционирующего в многосигнальном режиме, которая на 2дБ меньше максимальной мощности в односигнальном режиме; n — количество сигналов на входе СР; $K_{и}$ — снижение мощности на выходе СР относительно максимальной для уменьшения интермодуляционных помех.

В случае, когда $n > 20$, существует оптимальное значение $K_{и} = K_{и\text{опт}} = 0,63$, когда $g_{ин}^2 \rightarrow 2g_{ср}^2 / 8$.

Для взаимосвязанного выбора характеристик ЗС₁, ЗС₂ и СР можно использовать итеративную методику /7/, основанную на использовании коэффициентов запаса

$$a = \frac{g_{срз}^2}{g^2}; \quad b = \frac{g_{зс}^2}{g^2}; \quad a = \frac{b}{b-1}; \quad a \in \{5 \div 11\}; \quad b \in \{1, 1 \div 1, 3\}; \quad \frac{1}{g_{зс}^2} = \frac{1}{g_{ср}^2} + \frac{1}{g_{ср}^2}$$

где $g_{\text{ср}\Sigma}^2$ — результирующее отношение сигнал/помеха по мощности на выходе СР с учетом тепловых шумов и интермодуляционных помех. В случае, когда $n > 20$ $g_{\text{ин}}^2 = 2g_{\text{ср}}^2$ имеем $g_{\text{ср}\Sigma}^2 = \frac{2}{3}g_{\text{ср}}^2$.

Полученные соотношения позволяют произвести расчет и оптимизацию энергетических характеристик компонент прямого радиоканала.

Для расчета энергетических характеристик передатчика ЗС₁ (P_1, G_1) можно воспользоваться уравнением радиопередачи радиолинии ЗС₁-СР, в соответствии с которым имеем

$$g_{\text{ср}}^2 = \frac{P_2}{P_{\text{шср}}}.$$

После преобразований получаем

$$P_1 G_1 = \frac{284 \epsilon_1 \epsilon_2 k T_2 R r_{12}^2 \Delta L_{12} a [\text{arc } \Phi(1 - P_{\text{ош}})]^2}{G_2 \Delta_2 \lambda_1^2 \log_2 M}.$$

Для расчета энергетических характеристик приемника ЗС₂ (G_4, T_4) можно воспользоваться уравнением радиопередачи радиолинии СР-ЗС₂, в соответствии с которым имеем

$$g_{\text{зс}}^2 = \frac{P_4}{P_{\text{шзс}}}.$$

После преобразований получаем

$$\frac{G_4}{T_4} = \frac{380 n \epsilon_3 \epsilon_4 r_{34}^2 \Delta L_{34} k R b [\text{arc } \Phi(1 - P_{\text{ош}})]^2}{K_{\text{и}} P_{\text{м}} G_3 \Delta_3 \lambda_2^2 \log_2 M}.$$

Аналогичным образом можно произвести расчет энергетических характеристик обратного канала.

При фиксированных параметрах СР и симметричном характере прямого и обратного каналов, когда $r_{12} = r_{34}$, $\Delta L_{12} = \Delta L_{34}$, а также при $\lambda_1 \approx \lambda_2$ энергетические параметры ЗС определяются из соотношений

$$P_{\text{пзс}} = P_1, G_{\text{зс}} = G_1 = G_4, P_{\text{прзс}} = P_4, T_{\text{зс}} = T_4,$$

где $P_{\text{пзс}}$ — мощность передатчика ЗС; $P_{\text{прзс}}$ — реальная чувствительность приемника ЗС; $T_{\text{зс}}$ — шумовая температура.

С учетом вышеприведенных соотношений пропускная способность ССС ПО при организации ряда параллельных каналов «точка—точка» определяется следующим образом

$$n_{\text{к}} = \frac{2 K_{\text{и}} P_{\text{м}} G_3 G_{\text{зс}} \Delta_3 \lambda_2^2 \log_2 M}{380 \epsilon_3 \epsilon_4 r_{34}^2 \Delta L_{34} k R b [\text{arc } \Phi(1 - P_{\text{ош}})]^2 T_{\text{зс}}},$$

где $n_{\text{к}}$ — максимально допустимое количество дуплексных каналов ССС ПО.

1.4. Распределение ресурсов спутниковых ретрансляторов

В связи с большой стоимостью космического сегмента при построении ССС ПО применяют такие принципы построения сети связи, которые обеспечивали бы возможность использования одного СР для большого количества наземных абонентов.

Распределение ресурсов СР (мощности и полосы) в зависимости от особенностей ССС может осуществляться несколькими способами:

- 1) формированием на ИСЗ нескольких стволов за счет использования нескольких СР, работающих в различных частотных диапазонах;
- 2) разделением каналов для обеспечения многостанционного доступа в стволе;
- 3) динамическим распределением и предоставлением каналов или групп каналов для их коллективного использования на основе методов распределения запросов.

В ИСЗ, как правило, устанавливается несколько независимых СР. Каждый СР имеет входной фильтр, который ограничивает прием сигналов желаемой полосой частот. Распределение ресурсов каждого СР, то есть формирование его независимых каналов, можно осуществить путем использования ортогональных структур сигналов, а для обеспечения многостанционного доступа (МД) используются: частотное уплотнение (МДЧУ), временное уплотнение (МДВУ) и кодовое уплотнение (МДКУ).

При МДЧУ формирование каналов достигается путем разделения полной полосы СР между различными группами несущих и ограничения частотной полосы передачи для каждой несущей выделенным поддиапазоном. СР работает в режиме близком к линейному, поэтому мощность, выделенная для каждой несущей приблизительно обратно пропорциональна количеству каналов в СР. МДЧУ может использоваться для передачи как аналоговых, так и цифровых сигналов. Экономически целесообразно использовать МДЧУ для группообразования на линиях дальней телефонной связи, которые обслуживают запросы, поступающие с большой скважностью, не требующие высоких скоростей передачи данных, что требуется при уплотнении трафика большого числа пользователей одной ЦЗС, а также в тех случаях, когда полный трафик, исходящий от ЗС, невелик и имеет небольшую интенсивность.

В случае МДВУ формирование каналов осуществляется путем временного разделения всей выделенной полосы рабочих частот и мощности между различными запросами. Для успешной передачи сообщений передачу через ИСЗ в любое заданное время должна вести только одна ЗС, поэтому требования к управлению мощностью здесь минимальны. При временном разделении каналов используется кадровая структура, что в отличие от методов непрерывной передачи подразумевает необходимость общесетевой синхронизации всех ЗС и использование пакетов с цифровыми сигналами. Время, предоставляемое ЗС для синхронной передачи, зависит от общей синхронизации, устанавливаемой или непосредственно лидером — ведущей станцией, или косвенным путем, с учетом задержки распространения сигнала на трассе З-К, которая обычно измеряется ЗС, принимающей свою собственную передачу.

С помощью методов кодирования с различной избыточностью, или простых изменений вида и параметров модуляции системы МДЧУ и МДВУ можно приспособить к различным условиям распространения и к ЗС, приемные характеристики которых мо-

гут различаться на 10÷15 дБ. В случае МДВУ один пакет может содержать сообщения, предназначенные для станций с различными скоростями приема.

Для ССС разработаны различные методы распределения пропускной способности СР по запросам. Эти методы разделяют на две группы /9/: методы коммутации каналов, предназначенные для обработки телефонных сообщений, и методы коммутации пакетов, предназначенные для обработки данных. Во второй группе выделяют три способа: случайный доступ, неявное резервирование и явное резервирование.

В ССС с коммутацией каналов и временным уплотнением пропускная способность СР распределяется по каналам путем организации многостанционного доступа с частотным уплотнением (МДЧУ). Все каналы системы, кроме одного служебного, динамически перераспределяются по запросам станций.

Служебный канал используется по способу МДВУ. Таким образом, каждой станции в кадре служебного канала постоянно выделяется один временной сегмент. Когда на интерфейс ЗС по линии наземной связи поступает новый запрос на соединение (вызов), эта станция посылает на собственном сегменте служебного канала требование на выделение двухстороннего канала, т.е. пары каналов из совокупности перераспределяемых каналов МДЧУ. При наличии хотя бы одного свободного канала между вызывающей и вызываемой станциями устанавливается полная дуплексная связь. По окончании соединения любая из пары станций освобождает канал путем посылки сигналов в собственном сегменте служебного канала.

В системе с МДВУ каждому каналу в пределах кадра, выделяется временной сегмент. В каждом кадре каналы распределены на группы, причем каждой абонентской станции выделена своя группа. Количество каналов в каждой группе периодически перераспределяется, так что ЗС с большой пропускной способностью могут использовать большое количество каналов.

При создании ССС с коммутацией пакетов потребовались разработки новых методов распределения пропускной способности СР с коммутацией пакетов и множественным или многостанционным доступом абонентских станций к спутниковой системе. Метод организации связи, получивший название метода «коммутации пакетов» (КП), предполагает разделение входного информационного потока на небольшие сегменты или пакеты данных, которые перемещаются по сети связи или сети передачи данных аналогично письмам в почтовой системе, но с гораздо большей скоростью. Использование этого метода обеспечивает значительное повышение эффективности системы, по сравнению с системами коммутации каналов, но имеют более сложную систему управления. Последнее обстоятельство стало и технически и экономически преодолимо за последнее десятилетие благодаря бурному развитию микросхем и микропроцессорной техники.

Особенностью спутниковой связи, обусловленной самим принципом этого вида связи, является возможность одновременного доступа к СР сигналов нескольких ЗС. Пропускная способность СР оказывается при этом несколько ниже, чем в односигнальном режиме работы. В зависимости от метода разделения сигналов на приеме различают три основных способа многостанционного доступа (МСД): с частотным разделением каналов (МДЧР), с временным разделением (МДВР) и с кодовым разделением (МДКР) /2, 9/.

МДЧР является наиболее простым и распространенным методом, используемым как в аналоговых, так и цифровых ССС. При МДЧР каждая ЗС передает свои сигналы в отведенном на участке полосы пропускания СР. Основным недостатком МДЧР — уменьшение пропускной способности по сравнению с односигнальным режимом, вызванное необходимостью уменьшения на 4...6 дБ мощности выходного усилителя ретранслятора из-за появления интермодуляционных помех. Кроме того, необходимо обеспечить высокую стабильность частоты и мощности сигнала, излучаемого каждой ЗС. В системах с МДЧР передача может осуществляться как многоканальными сигналами, так и одноканальными с использованием принципа передачи «один канал на несущей» (ОКН). Метод ОКН применяют в основном в сети станций с небольшим числом каналов. Основное преимущество метода состоит в возможности реализации принципа предоставления каналов по требованию (ПКТ). Метод МДЧР широко используется в ССС «Интерспутник», «Инмарсат», «Интелсат» и национальных ССС многих стран.

МДВР нашел применение в связи с реализацией цифровых методов передачи. При этом каждой ЗС для излучения сигналов выделяется определенный, периодически повторяемый временной интервал. Интервалы излучения всех станций взаимно синхронизованы, в силу чего перекрытие их не происходит. В каждый момент времени через СР проходит сигнал только одной станции и отсутствует нелинейное взаимодействие сигналов разных ЗС в усилителе СР. Метод МДВР получает развитие для передачи данных большого числа абонентских станций, подключенных к сети цифровой телефонной связи, когда с помощью аппаратуры уплотнения каналов осуществляется организация передачи через ЦЗС.

МДКР основан на одновременной передаче в полосе частот СР сигналов нескольких станций, модулированных информационным сигналом и кодовым сигналом в виде длинной псевдошумовой последовательности. При приеме информации используют методы когерентной обработки и согласованной фильтрации, что обеспечивает высокую помехоустойчивость, и помехозащищенность. Использование при МДКР сигналов с большой базой позволяет существенно снизить уровень мощности излучаемой СС и СР и улучшить показатели ЭМС.

Кроме того, использование ССС МДКР обеспечивает устойчивость связи к замираниям и конфиденциальность передаваемой информации. МДКР является наиболее перспективным способом МСД, широкое внедрение которого временно сдерживается сложностью его реализации.

1.5. Системы спутниковой связи с подвижными объектами при использовании ИСЗ с различной высотой орбиты

1.5.1. Существующие и разрабатываемые ССС ПО в зависимости от высоты орбиты используемых в них ИСЗ можно подразделить на геостационарные ССС ПО (ССС ГО), ССС ПО на эллиптических орбитах (ССС ЭО) и низкоорбитальные ССС ПО (ССС НО) /10/. В ССС ПО находят применение СР с прямой ретрансляцией и с обработкой сигналов на борту.

Основные понятия, характеризующие орбиты спутника и их некоторые типы, проиллюстрированы на рис. 1.7. Наибольшее распространение при реализации ССС ПО получили такие типы орбит, как геостационарные, эллиптические и полярные.

1.5.2. Геостационарная орбита или орбита геостационарного спутника — это круговая (эксцентриситет эллипса $e = 0$), экваториальная (наклонение — это угол между плоскостью орбиты и плоскостью экватора — $i = 0$), синхронная орбита с периодом обращения 23 ч 56 мин, с движением ИСЗ в восточном направлении.



Рис. 1.7.

Эллиптическая орбита в полярной системе координат описывается уравнением

$$\tau = p(1 + e \cos \theta),$$

где τ — модуль радиуса-вектора (расстояние от ИСЗ до центра Земли); θ — круговая координата; p — фокальный параметр. Эллиптическая орбита характеризуется перигеем (наименьшей высотой над Землей) и апогеем (наибольшей высотой над Землей).

Низкие круговые орбиты, плоскость которых имеет наклонение в пределах от 82 град. до 98 град., называются полярными. Достоинством таких орбит является возможность обслуживания связью больших участков территории Земли в приполярных зонах.

Геостационарный спутник оказывается «зависшим», неподвижным относительно земной поверхности; он располагается над экватором с некоторой неизменной долгой подспутниковой точки. Использование в ССС ПО геостационарных орбит (ГО) обеспечивает следующие достоинства /3,4/:

- связь осуществляется непрерывно, круглосуточно, без переходов с одного искусственного спутника Земли на другой и без необходимости отслеживания антеннами положения спутника;

- обеспечивается постоянное значение ослабления сигнала на трассе между ЗС и СР, поскольку расстояние от ИСЗ до ЗС имеет стабильное значение;
- практически отсутствует доплеровский сдвиг частоты сигнала, излучаемого ИСЗ;
- зона видимости геостационарного спутника — около трети земной поверхности, что обуславливает возможность создания глобальной системы связи при использовании трех ИСЗ (рис. 1.8).

Благодаря указанным преимуществам ГО используют очень широко, и в наиболее удобных полосах частот и участках орбиты ГО насыщена спутниками связи уже почти до предела, причем наибольшая насыщенность создается спутниками, относящимися к фиксированной и отчасти радиовещательной службам. Существующая в настоящее время проблема тесноты орбиты относится прежде всего к этим двум службам. ГО для связи с подвижными объектами используют следующие широко известные ССС: «Горизонт», «Аркос» — Россия: «Инмарсат», «Интелсат», «Евтелсат» — (международные).

Преимущества ИСЗ на ГО при организации циркулярной связи и вещания делают их незаменимым средством для расширения в ближайшем будущем перечня услуг, оказываемых населению.

В настоящее время на ГО находится более 300 ИСЗ различных стран (при максимально возможном их числе около 360). Если учесть, что не все позиции удобны для размещения ИСЗ в конкретных ССС, становится ясно, что наращивание емкости орбиты за счет увеличения числа ИСЗ не даст заметных результатов. Более полному использованию ресурсов ГО способствует дальнейшее развитие ССС на ГО с узкими лучами и многократным повторением рабочих частот, освоение более высокочастотных диапазонов, размещение на одной орбитальной позиции группы из 10÷12 ИСЗ (кластера), действующей во всем выделенном для ССС диапазоне частот, или большой орбитальной платформы, использование полосы частот или дуги ГО на плановой основе.

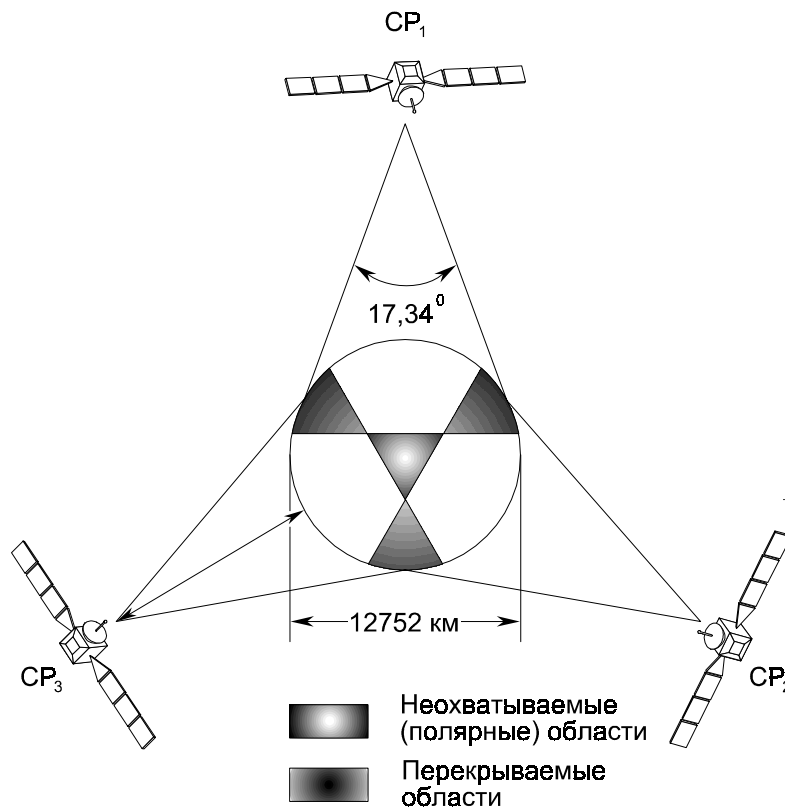


Рис. 1.8.

Наряду с достоинствами у ССС ГО имеется ряд существенных недостатков. В некоторых случаях значительным неудобством ГО является задержка при распространении сигнала вследствие большого удаления спутника от земли и конечной скорости света. Высота ГО над поверхностью земли составляет 35786 км. Таким образом, задержка сигнала с учетом особенностей зоны обслуживания в одном направлении, включая линии вверх и вниз, составляет от 240 до 270 мс. В типичных линиях задержка составляет порядка 0,6 с. Влияние такой задержки при разговоре может в лучшем случае проявляться в затягивании пауз, а в худшем — сделать его практически невозможным из-за наличия эхо-сигналов на обоих концах линии.

Для уменьшения уровня эхо-сигналов приходится использовать специальные устройства, так называемые эхо-подавители. При передаче цифровых данных в ССС возникающая задержка сигналов не позволяет использовать протоколы с коррекцией ошибок, в которых требуется производить обнаружение ошибки и выборочную повторную передачу блоков с обнаруженными ошибками. Задержка при распространении сигнала при связи ИСЗ на низких и средних орбитах намного меньше, что позволяет устранить ее последствия.

Вторым недостатком ГО является невозможность охватить удаленные северные и южные районы. Геостационарные спутники уже невидимы в районах, расположенных на широтах более 81 град. северной и южной широты. Вследствие возникновения аномалии при распространении сигнала под углами вблизи горизонта даже станции фиксированных служб с большими антеннами часто не могут работать при угле места

менее 5 град. Зону устойчивой связи ССС ПО приходится ограничивать областью обслуживания по широте не выше 75 град.

Третьим недостатком ССС ГО является затенение, создаваемое высокими строениями в местах плотной застройки. Для обеспечения соответствующего качества обслуживания желательно иметь угол места антенны ЗС не менее 40 град. Такие углы места невозможно обеспечить с геостационарной орбиты даже для широт, удаленных от экватора более чем на 45 град.

Наметившаяся в последнее время тенденция к индивидуализации связи при сохранении глобального доступа к информации требует перехода от мобильных к «ручным» ЗС. Однако существующие энергетические ограничения в космическом сегменте и допустимые нормы на уровень излучения ЗС, ограничения на ССС и габаритов в «ручных» ЗС, не позволяют обеспечивать типовой набор услуг связи на основе ССС ГО с глобальным лучом и требуют перехода к ССС НО.

1.5.3. Организация ССС на эллиптической орбите (ЭО) имеет свои достоинства и недостатки /10/. При движении по ЭО спутник зависает над выбранной зоной обслуживания в течение длительного времени.

Однако высота орбиты спутника в ССС ЭО не может быть выбрана свободно вследствие существования поясов радиации Ван Аллена, которые имеют вид двух тороидов с центром в геомагнитной оси Земли на высотах примерно от 1500 до 5000 км и от 13000 до 20000 км. В качестве примеров использования ИСЗ с ЭО можно отметить ИСЗ «Молния» с периодом обращения 12 ч, находясь в зоне апогея, на протяжении 8 ч имеет угол склонения над Европой более 50 град., и ИСЗ «Тундра» с периодом обращения 24 ч и более вытянутой орбитой на протяжении 12 ч. В таких условиях снижаются замирания от затенений антенны ЗС, присущие геостационарным системам при малых углах склонения, и не требуются сложные и дорогие самонаводящиеся антенные системы для высококачественной передачи речи. Достаточно иметь фиксированную, направленную в зенит антенну, которая к тому же менее восприимчива к помехам от наземных систем. Достоинством 24 часовой орбиты можно считать и то, что спутник, перемещаясь по ней, никогда не входит в тень. В этом случае не нужны аккумуляторные батареи большой емкости.

Связь через ИСЗ на высокоэллиптических орбитах лишена всего набора достоинств, которым обладает ССС ГО, но является подходящим способом организации радиосвязи государств, территория или некоторые объекты которых находятся в высоких широтах.

Корпорация «Эллипсат» завершает разработку ССС ПО, известную под названием «Эллипсо» для обеспечения передачи речевых сообщений, данных, факса и определения местонахождения. В этой ССС ПО планируется использовать комбинацию из 15 ИСЗ на эллиптических наклонных орбитах и до 9 спутников на экваториальной круговой орбите с максимальной высотой 7800 км для обеспечения покрытия всего северного полушария и южного полушария до 50 град. южной широты. ИСЗ, находящиеся на эллиптической орбите большую часть времени периода обращения будут находиться над северным полушарием. Такая стратегия позволит создать лучшие сервисные возможности для земных областей с большим населением и потенциально большим рынком предоставления услуг.

Однако реализация технических преимуществ использования спутников с эллиптическими орбитами связана с большими затратами, так как для обеспечения круглосуточного функционирования системы недостаточно одного спутника, и, кроме того, периодически возникает необходимость переключения трафика с одного спутника на другой. Как недостаток нужно отметить и обязательность выполнения особых требований, предъявляемых к бортовым антеннам, поскольку для перекрытия определенной территории в течение активного периода ретрансляций в целях улучшения условий приема угол облучения поверхности земли должен быть переменным. В ССС ЭО в отличие от ССС ГО необходимо учитывать доплеровское смещение частоты сигнала. В фидерных линиях оно достигает 10 кГц, в линиях связи с ЗС доходит до 14 кГц, что требует использования в ЗС устройств слежения за спутником и частотной автоподстройки.

1.5.4. Высокоорбитальные ССС (ИСЗ на геостационарных и высокоэллиптических орбитах) требуют использования громоздкого и дорогостоящего оборудования ЗС, которые часто недоступны массовому пользователю. Поэтому в последнее время во многих странах проводятся интенсивные работы по созданию ССС с использованием низкоорбитальных спутников-ретрансляторов (ССС НО).

К преимуществам ССС НО по сравнению с ИСЗ на геостационарных орбитах можно отнести следующие /3,4/:

- значительное уменьшение стоимости запуска ИСЗ, поскольку созвездие спутников формируется с помощью вывода на низкую орбиту контейнера, и спутники через определенные интервалы времени выбрасываются из него. При этом в качестве ракеты-носителя могут быть использованы межконтинентальные баллистические ракеты военного применения;
- увеличение пропускной способности космического сегмента за счет улучшения энергетического баланса в радиолиниях;
- повышение надежности системы за счет возможности размещения в космосе, значительно большего количества СР, чем в ССС ГО;
- снижение требований к техническим и эксплуатационным характеристикам антенн ЗС;
- малые расстояния между ИСЗ и ЗС обеспечивают возможность использования приемопередающих устройств с низкой энергетикой и позволяет создать миниатюрные ЗС, что существенно расширяет круг потенциальных абонентов;
- лучшее покрытие полярных областей;

ССС НО строятся с использованием ИСЗ на орбитах высотой 700...2000 км и временем обращения вокруг Земли 1...3 часа. ССС НО может представлять собой одиночную космическую станцию или состоять из множества ИСЗ, функционирующих как единая коммутационная среда с обеспечением связи по коммутируемым каналам на основе пакетной передачи данных и речи.

Такие системы содержат от нескольких десятков до нескольких сотен спутников и характеризуются относительно высокой степенью резервирования для требуемых областей покрытия. Так, космическая часть ССС, в состав которой входит до 60...70 СР,

эквидистантно разнесенных по восходящим узлам орбит, способна покрыть всю площадь Земли. Время пролета спутника над абонентом может составлять 10...20 мин. Так, при высоте орбит около 900 км, наклонение орбит 74 град., зоны радиовидимости абонентами над местным горизонтом 7 град. — радиус зоны обслуживания спутником составляет более 2500 км.

Для обеспечения передачи пакетных данных между подвижными абонентами, распределенными по всему миру, формируется несколько колец СР с углами наклоения от 50 до 60 град. Эти орбиты будут прецессировать вблизи экватора в пределах от 15 до 30 град. Используя от 6 до 12 спутников на одно орбитальное кольцо, можно осуществить полное покрытие поверхности Земли. Таким способом обеспечивается глобальный доступ к сети.

ССС НО можно условно разбить на три класса. Первый класс — системы зонной связи. В этих системах в СР осуществляется прямая ретрансляция радиосигналов. Две ЗС могут связаться между собой, когда ИСЗ находится в пределах их видимости. Связь между абонентами осуществляется сеансами по расписанию или по факту приема пилот-сигнала. Системы второго класса — системы с запоминанием информации на ИСЗ и считыванием ее при пролете нужного корреспондента — можно отнести к системам типа электронной почты. Подобные системы применяются, если расстояние между абонентами превышает зону обслуживания одного ИСЗ. Радиосигналы от абонента принимаются на ИСЗ, где демодулируются и запоминаются в бортовом ЗУ. По команде от бортовой ЭВМ эта информация считывается, когда ИСЗ входит в зону радиовидимости корреспондента. Недостатком такой системы является невозможность организации телефонной связи между абонентами. К числу СССР НО первого и второго класса относятся российские системы «Гонец» и «Курьер». Системы третьего класса — системы глобальной связи в реальном масштабе времени с использованием межспутниковой связи или наземных шлюзовых станций относятся к глобальным и универсальным СССР ПО. К числу СССР НО третьего класса относятся международные СССР «Иридиум» и «Глобалстар». Из перечисленных выше СССР ПО наибольший интерес представляют СССР ГО «Инмарсат» и СССР НО «Инмарсат-Р», «Иридиум», «Одиссей», «Глобалстар» и СССР ЭО «Полярная звезда», анализу которых будут посвящены последующие разделы данного учебного пособия.

2. СИСТЕМА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ИНМАРСАТ»

2.1. Назначение и этапы развития системы спутниковой связи «Инмарсат»

Международная ССС «Инмарсат» существует с 1982 г. и в настоящее время объединяет 67 стран. По первоначальному замыслу система предназначалась для обеспечения глобальной телефонной и телеграфной связи, передачи данных с целью повышения безопасности мореплавания и эффективности управления морскими судами.

ССС «Инмарсат» представляет собой систему геостационарных искусственных спутников Земли, служащих в качестве ретрансляторов (СР) сообщений между судами, оборудованными специальными станциями спутниковой связи (СС) и специальными береговыми станциями (БС) и сетями телефонной и телеграфной связи. В ССС «Инмарсат» судовые (СС) и береговые (БС) станции соответствуют земным (ЗС) и центральным земным (ЦЗС) станциям, рассмотренным в разделе 1. ССС «Инмарсат» — полностью автоматизированная система, обеспечивающая высокие показатели надежности, оперативности и качества связи.

На первом этапе развития ССС «Инмарсат» с 1982 по 1990 г.г. использовались СР, установленные на ИСЗ первого поколения «Инмарсат-1», услуги связи обеспечивались в «Стандарте-А» с использованием методов цифровой и аналоговой обработки информации.

На втором этапе развития ССС «Инмарсат», начиная с 1991 г. после вывода второго поколения геостационарных ИСЗ «Инмарсат-2», используются СР, обладающие большим энергетическим потенциалом, и расширен перечень предоставляемых услуг связи за счет ввода таких стандартов системы, как «В», «С», «Аэро», «М».

Бурный рост категорий и числа абонентов, нуждающихся в услугах систем связи с подвижными объектами, потребовал дальнейшей перестройки ССС «Инмарсат» с целью повышения ее пропускной способности и широкого использования малогабаритных мобильных терминалов. Эти тенденции реализованы в рамках третьего этапа развития ССС «Инмарсат», когда после запуска в 1994-1995 гг. четырех геостационарных ИСЗ «Инмарсат-3», в СР дополнительно увеличены энергетический потенциал и пропускная способность системы.

В рамках дальнейшего развития ССС «Инмарсат» планируется в ближайшие годы с целью обеспечения услуг персональной спутниковой связи, навигации и пейджинга реализовать «Проект 21», который основан на использовании СР «Инмарсат-Р», размещаемых на созвездии низкоорбитальных ИСЗ, и переходе к портативным (ручным) терминалам.

Развитие ССС «Инмарсат» осуществляется гармонично на основе принципов преемственности и сохранения ранее введенных стандартов по услугам связи. С учетом вышесказанного в данном подразделе в качестве базового варианта при изложении материала по принципам построения ССС «Инмарсат» используется описание «Стандарта-А» /5/.

2.2. Система спутниковой связи «Инмарсат-А»

В систему «Инмарсат» входят космическая часть, состоящая из действующих и запасных геостационарных спутников с СР и командно-измерительного комплекса (КИК); парк судовых станций (СС); береговая часть, включающая в себя береговые станции (БС) и эксплуатационный контрольный центр (ЭКЦ).

Система «Инмарсат» обслуживает три больших области — Атлантический океанский район (АОР), Индийский океанский район (ИОР) и Тихоокеанский район (ТОР), над которыми находится по одному действующему и по два запасных ИСЗ. Границы обслуживания районов показаны на рис. 2.1. В пределах от 75 град. южной широты до 75 град. северной широты угол возвышения спутника составляет не менее 5 град., благодаря чему гарантируется надежная связь. Как видно из рис. 2.1, спутники «Инмарсат» охватывают также значительную часть Северного Ледовитого океана и морей Антарктиды.

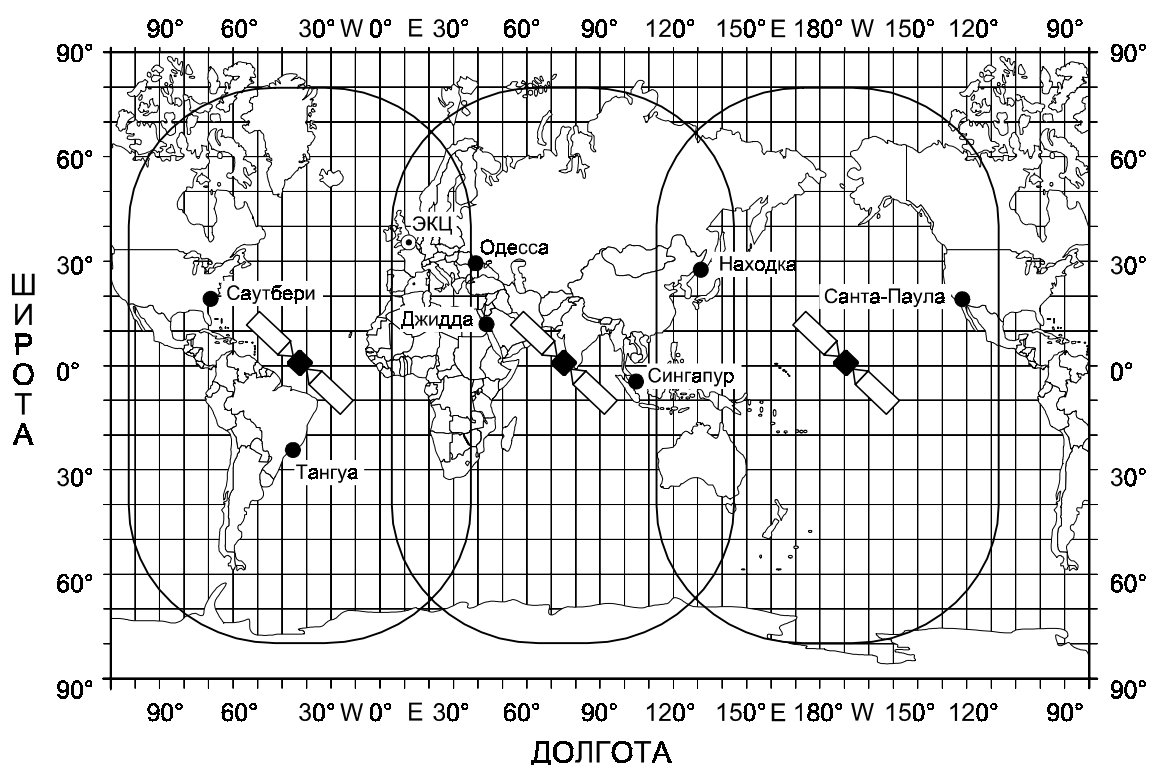


Рис. 2.1.

В каждом океанском районе может находиться любое число СС и несколько БС, образующих сеть, причем одна из БС выполняет функции координирующей станции сети (КСС). Структурная схема одной из сетей «Инмарсат» показана на рис. 2.2.

В системе «Инмарсат» для автоматизации процессов связи по телефонным и телеграфным каналам трем районам (сетям), всем БС и СС присвоены номера — идентификаторы (ИД).

В ССС «Инмарсат-А» на первом этапе использовались спутники трех типов: Марисат, Марекс и Интелсат MCS.

Каждый ИСЗ имеет по два СР, один из которых принимает сигналы от СС в диапазоне 1,6 ГГц и передает БС в диапазоне 4 ГГц, другой принимает сигналы от БС в диапазоне 6 ГГц и передает СС в диапазоне 1,5 ГГц.

Управление ИСЗ осуществляется из центров, оборудованных командно-измерительными комплексами (КИК), которые регулируют работу всех подсистем спутников, корректируют при необходимости местонахождение спутников на орбите, их ориентацию в пространстве.

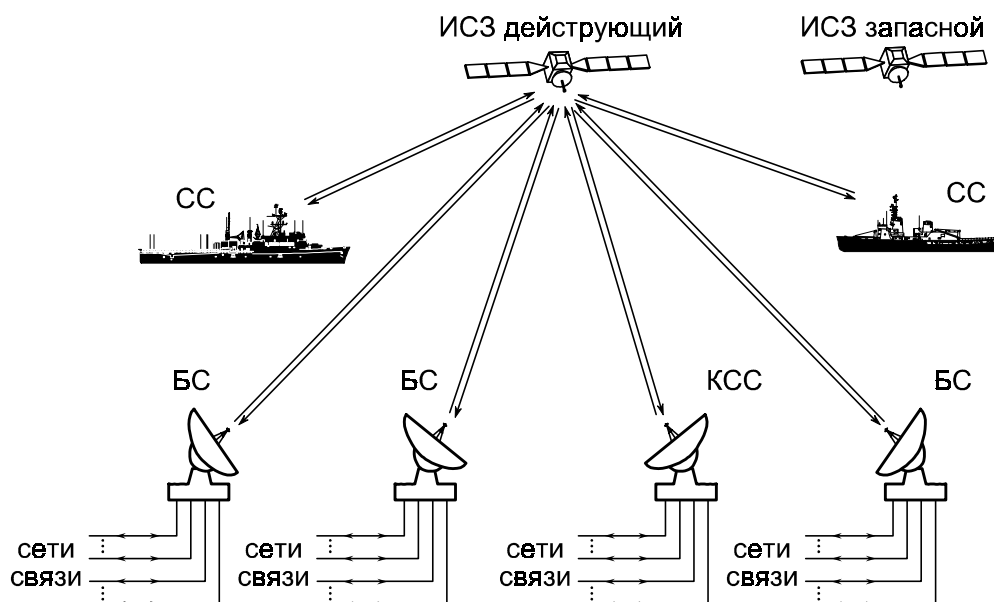


Рис. 2.2.

СС рассчитаны на круглосуточную работу. Антенна каждой СС в период работы автоматически удерживается в направлении на один из спутников СС «Инмарсат», и станции непрерывно ведут автоматический дежурный прием. В случае поступления от любой из БС сети вызова СС автоматически настраивается на указанный в вызове канал и вырабатывает сигнал судовому оператору. Переданное с берега сообщение может быть принято и без участия оператора. Работающая СС всегда готова к передаче запроса на установление с берегом двусторонней связи.

БС служат промежуточным звеном между ИСЗ ССС «Инмарсат» и береговыми абонентами, с которыми они могут соединяться по международным и национальным телефонным и телеграфным сетям, а также сетям передачи данных и интегрального обслуживания. БС должны удовлетворять специальным требованиям ССС «Инмарсат», согласно которым их функциями являются:

- прием и обработка сообщений сигнализации, передаваемых СС при установлении связи (запросов);
- формирование и передача сообщений сигнализации СС (вызовов);
- коммутация подключенных к БС телефонных и телеграфных каналов;
- ретрансляция телефонных и телеграфных сообщений в направлении судно-берег и обратно;

- ведение списка СС, допущенных к системе «Инмарсат»;
- учет времени занятия каналов и оформление счетов на оплату за предоставленные услуги судовым и береговым абонентам.

Зарубежные БС рассчитаны для обслуживания одного из океанских районов; БС «Одесса» и «Находка» обслуживают по два океанских района.

Связь между СС, находящейся в одном из океанских районов и любым береговым абонентом, может быть организована через каждую БС данной сети.

Если БС является координирующей, то она выполняет ряд дополнительных функций, к которым относятся: ретрансляция сообщений сигнализации, которыми обмениваются СС и БС при установлении связи; слежение за занятостью телефонных каналов сети и оперативное их распределение по запросам судовых и береговых абонентов; учет СС, ведущих связь в текущее время; измерение частот, уровней и других параметров сигналов, излучаемых ИСЗ; запись передаваемых сообщений сигнализации для целей последующего их анализа; регулировка мощности излучения ИСЗ.

Эксплуатационный контрольный центр (ЭКЦ) выполняет следующие функции: контроль характеристик космического сегмента; реализацию планов ввода в эксплуатацию новых технических средств и планов развития системы; испытания вводимых в эксплуатацию СС и БС; передачу всем СС, БС и КСС информации о состоянии системы.

В ССС «Инмарсат-А» имеется четыре типа радиолиний: фидерные линии: БС-ИСЗ (З-К); ИСЗ-БС (К-З); пользовательские (абонентские) каналы СС-ИСЗ (З-К); ИСЗ-СС (К-З).

Доступ СС к СР осуществляется в режиме частотного разделения (МДЧР) с выделением канала на одну несущую (ОКН) по запросу через береговую станцию (БС) в центре управления (координации) сетью (КСС).

В системе предусмотрено четыре зоны обслуживания, которые образованы с учетом реального трафика регионов планеты. Это атлантическая (западная и восточная), тихоокеанская зоны и зона Индийского океана. В каждой зоне находится по одной КСС, а общее количество БС составляет более 20. В зависимости от местонахождения абонентов и степени использования инфраструктуры наземных сетей связи в ССС «Инмарсат» используются «односкачковые» и «двухскачковые» линии связи.

Односкачковый вид связи реализуется при необходимости установления контакта СС с БС или БС с СС. В случае необходимости установления контакта двух СС или других типов подвижных ЗС приходится использовать двухскачковый вид связи с переприемом через БС. В ССС используется централизованный принцип управления доступом, что позволяет гибко управлять ресурсами системы.

В системе «Инмарсат» имеются каналы следующих типов: двусторонние каналы сигнализации, телеграфные каналы, телефонные каналы, служебные телеграфные и телефонные каналы, каналы для передачи пилот-сигналов.

Каналы сигнализации предназначены для передачи коротких формализованных сообщений — запросных, посылаемых СС и вызывных, посылаемых БС и КСС. За каждой БС и КСС закреплено по одному каналу сигнализации, причем канал, закрепленный за КСС, является общим для всей системы и на нем непрерывно ведут дежурный прием все БС и СС.

За каждой БС закреплено по 22 телеграфных канала, которые распределяются ею по запросам СС или береговых абонентов. Телеграфные каналы могут использоваться как в дуплексном, так и в симплексном режимах в направлении берег-судно.

Телефонные каналы, число которых зависит от типа ИСЗ, работающего в данной сети, распределяются КСС по запросам БС или СС. Телефонные каналы также могут использоваться как в дуплексном, так и в симплексном режимах в направлении берег-судно.

Служебные телеграфные и телефонные каналы служат для обмена служебной информацией между БС, КСС и ЭКЦ. В каждой сети имеется по одному двустороннему каналу для передачи пилот-сигналов, служащих для определения дрейфа частот обоих СР ИСЗ. По измеренной частоте принятых пилот-сигналов БС смещают частоты своих передатчиков и приемников таким образом, чтобы скомпенсировать дрейфы частот в ИСЗ.

Для установления связи по инициативе судна СС посылает по каналу сигнализации на БС запрос, который содержит тип требуемого канала и другие данные, необходимые для установления связи. Эти данные вводятся оператором в СС непосредственно перед установлением связи или заблаговременно.

Если запрашивается телексный канал, то вызываемая БС находит свободный канал и посылает КСС сообщение сигнализации с указанием номера выделенного канала. Это сообщение КСС ретранслирует по общему каналу сигнализации вызывающей СС. Приняв его, СС настраивает передатчик и приемник на выделенный канал и устанавливает с запрашиваемой БС соединение. Далее БС соединяет СС с сетью «Телекс», через которую СС вызывает нужного ей берегового абонента и ведет с ним связь по действующим в данной сети правилам. Все описанные выше процессы происходят автоматически.

Если судно запрашивает телефонный канал, то запрос, переданный им, поступает в КСС, которая выделяет свободный телефонный канал и транслирует его номер по общему каналу сигнализации запрашивающей СС и запрашиваемой БС. Обе станции, получив это сообщение сигнализации, автоматически настраивают свои передатчики и приемники на выделенный телефонный канал и устанавливают по нему соединение. После этого СС подключается к телефонной сети, через которую вызывает берегового абонента и ведет с ним связь по действующим в данной сети правилам.

Аналогичным образом осуществляется соединение с СС по инициативе берегового абонента. Вызов судна по требованию БС производится по общему каналу сигнализации, на котором все СС ведут автоматический дежурный прием. Симплексные телефонные и телеграфные сообщения могут быть переданы на суда, которым они адресованы, в отсутствие судового оператора. Каждая СС системы «Инмарсат» может быть соединена с любым береговым абонентом сети «Телекс» или международной телефонной сети через любую БС данного океанского района. Предусмотрена также возможность связи между двумя судами.

Для работы каждой из трех сетей «Инмарсат-А» выделены определенные диапазоны частот.

Направление передачи	Частота, МГц
СС-ИСЗ	1636,5 ... 1645
ИСЗ -СС	1535 ... 1543,5

БС -ИСЗ

6417,5 ... 6425

ИСЗ -БС

4192,5 ... 4200,5

Основные параметры, характеризующие энергетику радиолиний ССС «Инмарсат-А» для СР, установленных на ИСЗ первого поколения, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Параметр	БС-ИСЗ	ИСЗ-СС		СС-ИСЗ		ИСЗ-БС
	при $\epsilon=5^\circ$	при $\epsilon=5^\circ$	при $\epsilon=10^\circ$	при $\epsilon=5^\circ$	при $\epsilon=10^\circ$	при $\epsilon=5^\circ$
f , ГГц	6,42	1,54	1,54	1,64	1,64	4,2
$P_t G_t$, дБВт	60	18,0	18,1	37,0	37,0	-12,3
L_{sp} , дБ	200,9	188,5	188,4	189,0	188,9	197,1
L , дБ	1,7	5,2	2,9	5,2	2,8	1,9
G_r/T_r , дБ(К ⁻¹)	-16,0	-3,5	-3,5	-12,2	-12,1	32,0
P_r/N_0 , дБГц	68,8	49,4	51,9	59,2	61,8	49,3
P_r/I_0 , дБГц	63,8	—	—	65,8	68,4	—
$P_r/(N_0+I_0)$, дБГц	62,6	49,2	51,5	58,3	60,9	48,8

В пределах этих диапазонов для организации каналов всех типов на каждом участке радиолиний БС-ИСЗ, ИСЗ-СС, СС-ИСЗ и ИСЗ-БС могут использоваться 339 частот, номинальные значения которых кратны 25 кГц. Каждому номинальному значению f в системе «Инмарсат» присвоен номер N . Между ними установлено следующее соотношение:

$$f = a + 0,025N, N = 1, \dots, 339,$$

где число a зависит от участка канала, для которого определяется частота. Для участков СС-СР и СР-СС оно имеет соответственно значения $a_1 = 1636,5$ МГц и $a_2 = 1535,0$ МГц. Для участков БС-СР и СР-БС a зависит от типа используемого спутника.

Часть частот, используемых системой «Инмарсат», постоянно закреплена за БС. Для каналов сигнализации и телеграфных каналов направления БС-СС всем КСС постоянно выделена общая пара частот с номером 110, обозначаемая TDM0, а каждой БС — своя пара частот, обозначаемая TDM1, TDM2, ..., TDM7. Организация много-станционного доступа к этим каналам основана на использовании метода временного уплотнения (МДВУ) сигналов.

Для каналов сигнализации направления СС-БС используются общие для всей системы две пары частот с номерами 84 и 258, обозначаемые RA-1 и RA-2. Доступ к этим каналам свободный, т. е. сообщения сигнализации могут передаваться по ним в произвольные моменты времени. Частота с номером 258 служит для дублирования передач с целью повышения надежности сигнализации.

Для телеграфных каналов направления СС-БС за каждой БС закреплена одна пара частот — TDMA1, TDMA2, ..., TDMA7. Метод многостанционного доступа к каналам — параллельный с временным разделением (ВР) сигналов.

Постоянно закрепленными являются также частоты для передачи пилот-сигнала и служебной связи между БС, имеющие соответственно номера 101 и 108 и обозначения AFC и OW.

Телефонные каналы и каналы для высокоскоростной передачи данных организованы по принципу «один канал — на одну несущую частоту» (ОКН). Номиналы частот для их работы назначаются оперативно КСС при каждом поступлении запроса на установление связи. Номера назначаемых частот берутся с таким расчетом, чтобы разнос между частотами был не менее 50 кГц для телефонной связи и не менее 150 кГц для высокоскоростной передачи данных, что необходимо для исключения взаимных помех.

В общих каналах связи типа КСС-СС, КСС-БС, БС-СС передача информации осуществляется на фиксированных частотах двухпозиционной фазовой манипуляцией ФМ-2 с канальной скоростью $R=1200$ бит/с с использованием временного уплотнения и кодирования на основе использования блочного кода Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ (63, 57), где $n=63$ — общее число символов в блоке, а $k=57$ — число информационных символов в блоке).

Формат кадра общего канала связи ССС «Инмарсат-А» приводится на рис. 2.3, где использованы следующие обозначения: ЗБ — запасные биты; СинхрС — синхрослово; С — сигнализация; НСС — номер СС; ВС — вид сообщения; ТК — тип канала; НК — номер канала; П — приоритетность; ИС — источник сообщения; НБС — номер БС; ПБ — проверочные биты.

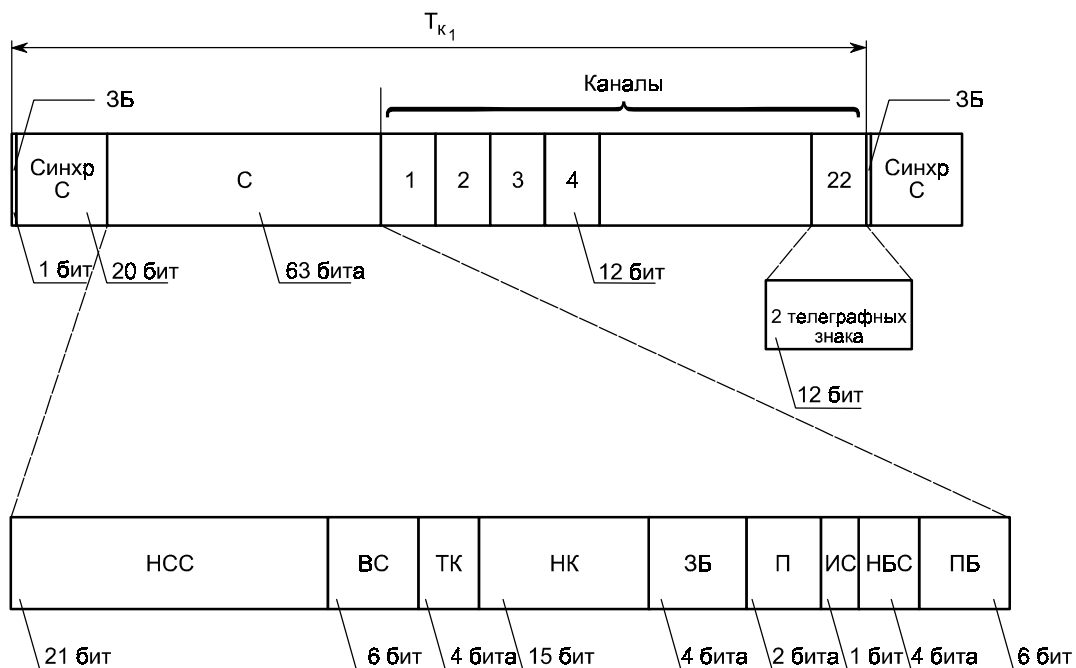


Рис. 2.3.

Кадр длительностью $T_{к1}=0,29$ с состоит из 25 пакетов. Кадровая синхронизация передачи осуществляется пакетом СинхрС, состоящим из 20 бит. Вызывные сообщения сигнализации передаются:

- субпакетом С, состоящим из 63 бит и включающим в себя субпакет НСС, определяющий номер вызываемой СС или группы СС;
- субпакетом ВС, определяющим тип данного вызывного сообщения;
- субпакетом ТК, определяющим тип канала (например, телефон, телеграф, передача данных и т.п.);
- субпакетом НК, указывающим номер временного окна и частотной пары, выделяемой по команде КСС на данный сеанс СС и БС;
- субпакетом П, устанавливающим приоритетность сообщения;
- субпакетом ИС, определяющим класс ИС (например, является ли источником сообщения СС или БС);
- субпакетом НБС, определяющим номер БС, с которой устанавливается связь;
- субпакетом ПБ, служащим для защиты от ошибок.

Далее в кадре передаются 22 пакета, каждый из которых соответствует каналу с передачей информации, соответствующей двум телеграфным знакам.

В канале сигнализации типа СС-БС запросные сообщения передаются на фиксированной частоте четырехпозиционной фазовой манипуляцией ФМ-4 с канальной скоростью $R=4800$ бит/с с использованием временного уплотнения информации и кодирования на основе использования блочного кода БЧХ (63, 39).

Формат кадра сигнализации ССС «Инмарсат-А» приводится на рис. 2.4, где СН — синхронизация несущей частоты; ТС — тактовая синхронизация; СинхрС — синхро-

слово; ИП — информационное поле; ПБ — проверочные биты; НБС — номер БС; П — приоритетность; ВЗ — вид запроса; ТК — тип канла; НС — наземная станция; НСС — номер СС; ОР — океанский регион.

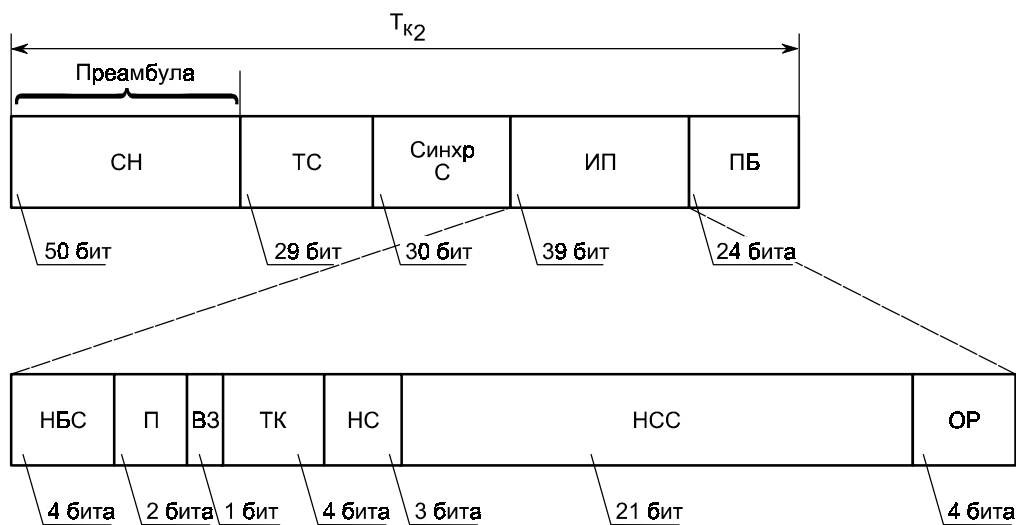


Рис. 2.4.

Кадр длительностью $T_{k2}=35,8$ мс состоит из 5 пакетов. Начинается кадр с преамбулы, включающей в себя пакеты СН и ТС. Далее следует пакет кадровой синхронизации. Запрос передается в пакете ИП, который по своей структуре имеет сходство с пакетом С, рассмотренным выше.

В телеграфном канале типа СС-БС информация передается на выделенной частоте на основе использования ФМ-4 с $R=4800$ бит/с и временного разделения каналов с параллельным доступом, при котором на одной выделенной частоте параллельно могут вести передачи до 22 СС.

Формат кадра телеграфного канала типа СС-БС приводится на рис. 2.5, где СН — синхронизация несущей частоты; ТС — тактовая синхронизация; СинхрС — синхрослово; ИП — информационное поле; КП — канальная посылка; ЗП — защитный промежуток.

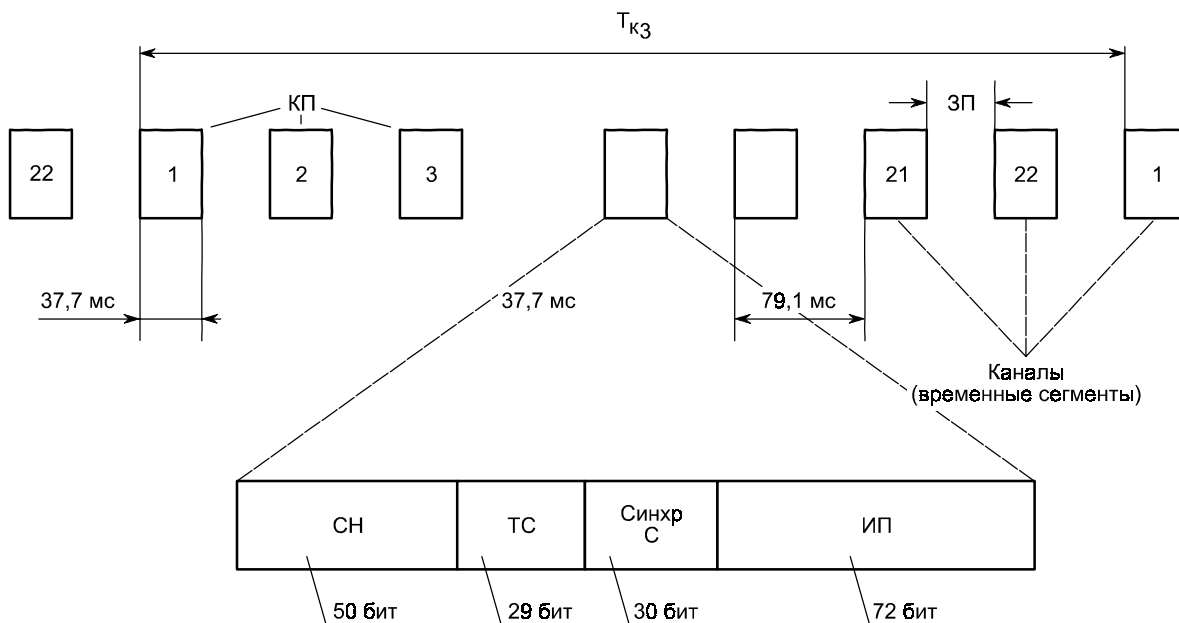


Рис. 2.5.

Кадр длительностью $T_{кз}=1,74$ с состоит из 22 временных сегментов, в каждом из которых передается канальная посылка длительностью $T_{кп}=37,7$ мс. Для исключения столкновения нескольких посылок в одном временном сегменте предусмотрены ЗП, учитывающие особенности размещения СС в зоне обслуживания ССС «Инмарсат-А». Структура пакетов, обеспечивающих синхронизацию в телеграфном канале типа СС-БС идентична со структурой в канале сигнализации СС-БС.

Для передачи информации в одном кадре используется 72 бита, составляющих 12 телеграфных знаков.

Для организации телеграфного канала типа БС-СС используются ресурсы общего канала связи типа БС-СС с выделением для этих целей одного из 22 временных окон.

Для преобразования телеграфных сообщений в передаваемый сигнал и обратного преобразования принятого сигнала в телеграфное сообщение служит Международный телеграфный код № 2 (МТК-2). Выбор этого кода для системы «Инмарсат» обусловлен тем, что он используется в международной сети «Телекс», с которой взаимодействуют все БС.

В системе «Инмарсат» семиэлементные кодовые последовательности МТК-2, выдаваемые телеграфными аппаратами, преобразуются в шестиэлементные кодовые последовательности (рис. 2.6). Перед информационными посылками вместо стартовой и стоповой передается посылка сигнализации, которая служит для внутриволновой сигнализации. Цифра 0 в этой посылке означает, что следующие за ним 5 бит являются кодовой комбинацией телеграфного знака. Цифра 1 означает, что последующие 5 бит являются командой линейной сигнализации, причем в этом случае они могут быть только либо нулями, либо единицами.

На приемном конце шестиэлементные кодовые последовательности преобразуются в зависимости от значения первого элемента в сигналы линейной сигнализации либо в стартстопные семиэлементные кодовые последовательности МТК-2, по которым телеграфные аппараты воспроизводят принятые сообщения.

Для установления дуплексной телексной связи по запросу берегового абонента БС посылает на КСС сообщение вызова, которое ретранслируется ею по общему каналу ВУ судовой станции. Затем БС и СС автоматически обмениваются по назначенному каналу сигналами соединения и стандартными служебными последовательностями, принятыми в сети «Телекс». Далее следует передача в любом направлении одного или нескольких телексных сообщений, по окончании которых происходит обмен сигналами отбоя и уведомление КСС об окончании связи. Установление дуплексной телексной связи по инициативе судового абонента происходит аналогично, за исключением того, что первоначальный запрос на БС передает СС. Установление симплексного телексного соединения осуществляется без включения передатчика СС.

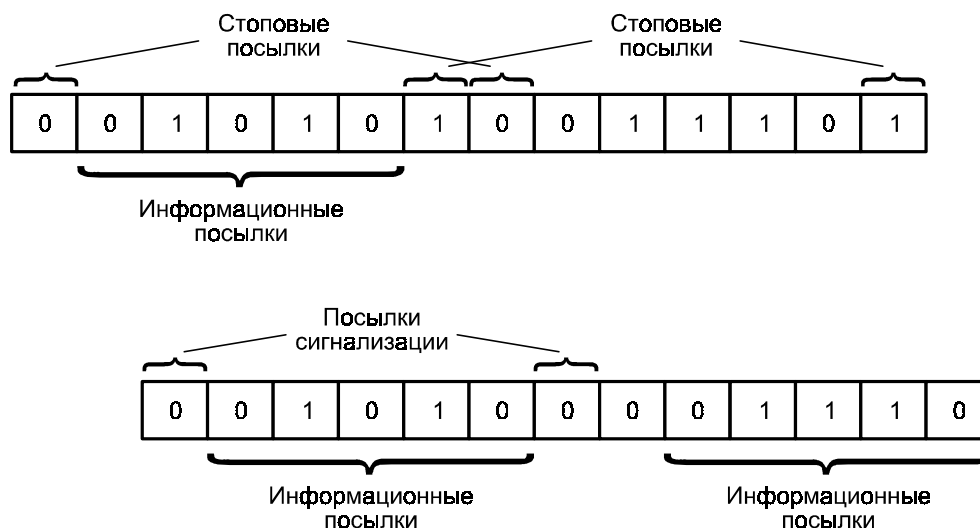


Рис. 2.6.

В телефонных каналах типа СС-БС и БС-СС передача речевой информации осуществляется с использованием частотной модуляции (ЧМ) на выделенной для конкретного сеанса паре частот, благодаря реализации доступа на основе МДЧР/ОКН с предоставлением канала по требованию.

Входными и выходными сигналами в телефонных каналах являются токи тональной частоты с границами спектра от 300 Гц до 3400 Гц.

Ширина спектра ЧМ-сигнала составляет порядка 30 кГц, а полоса пропускания одного канала телефонной связи выбирается равной $\Delta f_k = 50$ кГц.

Использование телефонных каналов возможно в двух режимах: с компрессированием и без компрессирования. В первом режиме телефонные каналы обычно работают для передачи речи, во втором — для передачи данных и факсимиле. Компрессирование — это сжатие динамического диапазона уровней передаваемого сигнала, что улучшает отношение сигнал/шум. На приемном конце восстанавливается первоначальный сигнал путем экспандирования (расширения) его динамического диапазона. Сжатие и расширение динамического диапазона посредством устройств, называемых компрессором и экспандером, осуществляется с задержкой, равной примерно длительности слога. Поэтому данный вид компрессирования называют слоговым.

Особенность телефонных каналов системы «Инмарсат» состоит в возможности появления отраженного сигнала (эхо), в результате которого говорящий абонент слышит свой голос с задержкой, равной времени прохождения сигнала к другому абоненту и обратно. Причиной возникновения эха является несовершенство устройств перехода четырехпроводной системы «Инмарсат» к двухпроводным телефонным линиям, с которыми может быть соединена БС или СС. Для устранения эха применяют эхозаградитель, который работает следующим образом. При передаче часть энергии, поступающая через дифференциальную систему ДС, ответвляется в усилитель-выпрямитель УД, который выдает напряжение на заграждающее устройство ЗУ, закрывающее цепь обратного направления. Такой же эхозаградитель может использоваться и на противоположном конце канала.

Для установления по инициативе берега дуплексной телефонной связи БС, получив запрос берегового абонента, посылает КСС запрос по форме, изображенной на рис. 2.3. Затем КСС назначает номер канала и сообщает его СС и БС по общему каналу ВУ по той же форме. После этого СС и БС настраиваются на назначенный канал и обмениваются сигналами дистанционного управления, набора номера и тональной сигнализации. Далее следует разговор (передача данных, факсимиле и т. д.), по окончании которого происходит обмен сигналами отбоя и уведомление КСС об окончании связи. Установление дуплексной телефонной связи по инициативе судна происходит аналогично, отличие лишь в том, что первоначальный запрос на БС посылает не береговой абонент, а СС. Передача на судно симплексного телефонного сообщения осуществляется без включения передатчика СС и, следовательно, БС не получает подтверждения о приеме сообщения.

Некоторые модели СС системы «Инмарсат-А» имеют дополнительные устройства для передачи в направлении СС-БС двоичных данных с канальной скоростью $R=64$ Кбит/с. В канале высокоскоростной передачи данных используется выделенная для этого несущая, ФМ-4, временное уплотнение информации, сверточное кодирование с относительной скоростью $7/8$ и скремблирование.

Форматы кадров в данном канале связи по своей структуре сходны с каналом сигнализации типа СС-БС.

В систематизированном виде основные характеристики ССС «Инмарсат-А» приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Стандарты ССС «Инмарсат»	«Инмарсат-А»	«Инмарсат-В»
Зона обслуживания	глобальная (75° ю.ш.— 75° с.ш.)	глобальная (75° ю.ш.— 75° с.ш.)
Объекты размещения СС (ЗС)	суда	суда
Услуги связи	речь, факс, телекс, передача данных	речь, факс, телекс, передача данных
Частотный диапазон СС (ЗС) – на прием, МГц – на передачу, МГц	1535...1543,5 1636...1645	1530...1548 1626...1647,5

Тип антенны ЗС и ее размеры	зеркало, диаметр (0,8...1,2) м	зеркало, диаметр 0,8 м
Эффективно-излучаемая мощность ЗС (ЭИИМ), дБВт	36	33
Добротность ЗС (G/T), дБ/К	—4	—4
Частотный разнос каналов, кГц	50	20
Скорость передачи информации при – телефонной связи, бит/с – факсимильной связи, бит/с – передаче данных, бит/с	— 24000...96000 9600, 54000...64000	16000 2400...9600 16000, 54000...64000
Кодирование	БЧХ в канале сигнали- зации	сверточ. код с относит. скор. 1/2 и 3/4
Вид модуляции в канале передачи речи/данных	ЧМ/ФМ-2	ОФМ-;
Метод доступа	МДЧР/ОКН	МДЧР/ОКН
Общая масса комплекта СС (ЗС) – морской вариант, кг – портативный вариант, кг	81...121 32...48	110 30...75
Потребляемая СС (ЗС) мощность при – передаче, Вт – при приеме, Вт	450 110	105 28
Напряжение питания СС (ЗС) – от сети переменного тока, В – от сети постоянного тока, В	220±10% —	220±10% 10...34
Габариты СС (ЗС), см ³	161×1430×1430 (мор- ской вариант)	70×60×30 (морской ва- риант)

Продолжение таблицы 2.2

Стандарты ССС «Инмарсат»	«Инмарсат-А»	«Инмарсат-В»
Климатические условия функциони- рования СС (ЗС) – температура окруж. среды, – влажность	от —40°С до +55°С 95% при 40°С	от —25°С до +55°С 95% при 40°С
Стоимость за услуги связи – телефон, – телекс, – факс, – передача данных	(6...10,2) дол/мин (3,2...3,6) дол/мин (6...10,2) дол/мин (6...10,2) дол/мин	(5...8) дол/мин (3,2...3,6) дол/мин (5...8) дол/мин (5...8) дол/мин

Интерфейсы СС (ЗС)	RS 232С, X. 25, X. 400, Телекс, ТФОП	RS 232С, X. 25, X. 400, Телекс, ТФОП
Количество абонентов по прогнозу на 2000 г.	10000	20000

2.3. Система спутниковой связи «Инмарсат-В»

В результате совершенствования ССС «Инмарсат-А» («Стандарт-А») с 1993 года в эксплуатацию введена ССС «Инмарсат-В» («Стандарт-В»), которая предназначена для обеспечения таких же услуг связи, как и в ССС «Инмарсат-А», а именно: для телефонной, телексной, факсимильной связи, передачи данных и сообщений типа группового вызова. ССС «Инмарсат-В» реализована на основе СР, размещаемых на ИСЗ первого и второго поколений, и модернизированных СС (ЗС).

Структура ССС «Инмарсат-В» идентична структуре ССС «Инмарсат-А». Отличительной особенностью ССС «Инмарсат-В» является переход к цифровой обработке информации при обеспечении всех видов услуг связи. При выборе методов цифровой обработки для построения ССС «Инмарсат-В» преследовались такие цели, как повышение пропускной способности и надежности связи, унификация принципов построения и повышение уровня технологичности аппаратурной реализации. Увеличение пропускной способности ССС «Инмарсат-В» достигается за счет повышения эффективности использования мощности излучения СР и частотного ресурса пакетного режима работы с активацией канала передачи речевым сигналом.

При работе ССС «Инмарсат-В» со вторым поколением ИСЗ выделенные частотные диапазоны расширены по сравнению с ССС «Инмарсат-А».

Направление передачи	Частота, МГц
СС-ИСЗ	1626,5 ... 1647,5
ИСЗ -СС	1530 ... 1548
БС -ИСЗ	6425 ... 6443
ИСЗ -БС	3600 ... 3623

Основные параметры, характеризующие энергетику радиолиний ССС «Инмарсат-В», для СР установленных на ИСЗ второго поколения, приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Параметр	БС-ИСЗ	ИСЗ-СС		СС-ИСЗ		ИСЗ-БС
	при $\epsilon=5^\circ$	при $\epsilon=5^\circ$	при $\epsilon=10^\circ$	при $\epsilon=5^\circ$	при $\epsilon=10^\circ$	при $\epsilon=5^\circ$
f , ГГц	6,42	1,54	1,54	1,64	1,64	4,2
$P_t G_t$, дБВт	57,0	17,0	14,0	31,0	31,0	-4,7
L_{sp} , дБ	200,9	188,5	188,4	189,0	188,9	195,9
L , дБ	0,4	4,9	2,2	0,4	0,2	3,4
G_r/T_r , дБ(К ⁻¹)	-14,0	-4,0	-3,7	-12,5	-12,4	30,7

P_T/N_0 , дБГц	70,3	52,7	50,3	57,7	58,1	58,3
P_T/I_0 , дБГц	65,1	—	—	67,6	68,0	—
$P_T/(N_0+I_0)$, дБГц	—	47,9	48,0	—	—	52,0

Повышение эффективности использования мощности излучения СР и частотного ресурса достигается благодаря применению четырехпозиционной фазовой манипуляции ФМ-4, адаптивного кодирования и декодирования по Витерби с прямым исправлением ошибок /11/. Данные меры обеспечивают экономию мощности излучения СР около 5 дБ, а также уменьшение частотного разнеса каналов до 20 кГц при сохранении качества передачи речевых сигналов, эквивалентного качеству, получаемому в ССС «Инмарсат-А».

При переходе в ССС «Инмарсат-В» к использованию СР, установленных на спутниках второго поколения, пропускная способность возрастает в 2,5 раза и составляет порядка 750 телефонных каналов.

Для обеспечения всех перечисленных выше услуг связи необходимо использовать целый набор цифровых радиоканалов, структура взаимодействия и номенклатура которых представлены на рис. 2.7, где приняты следующие обозначения: 1 — радиоканал КСС-СС; 2 — радиоканал СС-КСС; 3 — радиоканал КСС-БС; 4 — радиоканал БС-КСС; 5 — канал сигнализации СС-БС; 6 — канал сигнализации БС-СС; 7 — канал передачи данных СС-БС; 8 — канал передачи данных БС-СС; 9 — канал телефонной связи СС-БС; 10 — канал телефонной связи БС-СС.

БС через свои интерфейсы обеспечивает связь СС с абонентами различных наземных сетей: телефонной (ТФОП), передачи данных (СПД), интегрального обслуживания (ЦСИО) и «Телекса».

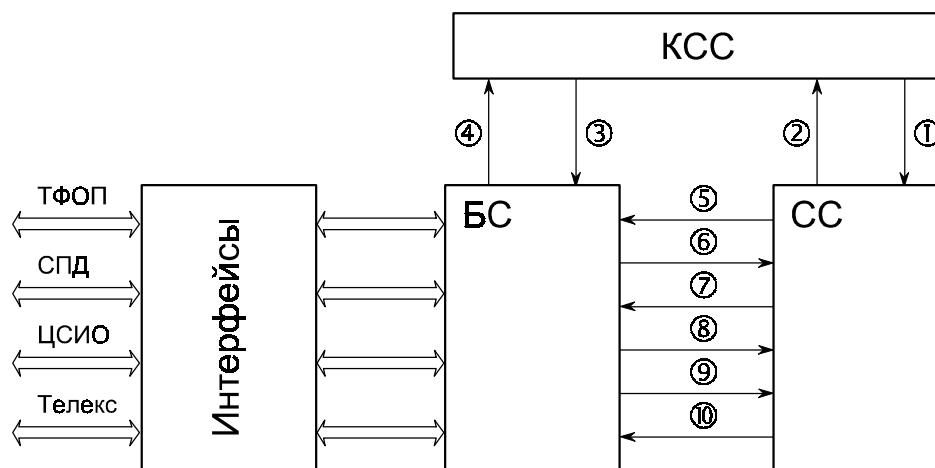


Рис. 2.7.

В результате унификации номенклатура радиоканалов может быть представлена 4 классами:

- общие каналы, к которым относятся такие каналы, как 1 (КСС-СС), 3 (КСС-БС), 4 (БС-КСС), 6 (БС-СС);

- каналы сигнализации 2 (СС-КСС), 5 (СС-БС);
- каналы передачи данных, телекса и факса 7 (СС-БС), 8 (БС-СС);
- каналы телефонной связи 9 (СС-БС), 10 (БС-СС).

Общие каналы функционируют на фиксированных частотах и предназначены для передачи информации о состоянии и ресурсах КСС и БС, а также информации для управления связью и контроля качества ее обслуживания. Передача информации осуществляется двухпозиционной фазовой манипуляцией ФМ-2 с канальной скоростью $R=6$ Кбит/с, с использованием временного уплотнения, сверточного кодирования и относительной скоростью $1/2$ и полосой пропускания радиоканала, равной 10 кГц.

Формат кадра общего канала связи ССС «Инмарсат-В» приводится на рис. 2.8, где СинхрС — синхрослово; ИП — информационное поле; НК — номер кадра в электронной доске объявлений КСС (БС); С — сигнализация; СИ — служебная информация; ИК — информационные каналы.

Длительность кадра $T_{к1}$ составляет 0,264 с. Пакет СС состоит из 32 бит и предназначен для обеспечения кадровой синхронизации. Пакет НК состоит из 8 бит и предназначен для уточнения просмотра позиций, приводимых на различных страницах электронной доски объявлений КСС (БС). Пакет С состоит из 96 бит и по своей структуре имеет сходство с пакетом С, детализированным на рис. 2.3.

Пакет СИ состоит из 96 бит, разбитых на 16 временных окон по 6 бит для передачи телеграфных знаков. Далее в ИП расположено 6 ИК по 96 бит каждый, в которых передается информация для управления связью конкретных СС и контроля ее качества. Каналы сигнализации, так же, как и общие каналы, функционируют на фиксированных частотах и предназначены для запроса связи с соответствующими абонентами ССС «Инмарсат-В». Передача информации осуществляется на основе использования относительной четырехпозиционной фазовой манипуляции ОФМ-4 с канальной скоростью $R=24$ Кбит/с, а также временного разделения со случайным доступом или тактированной АЛОХОЙ, сверточного кодирования с относительной скоростью $1/2$ и полосой пропускания радиоканала, равной 20 кГц.

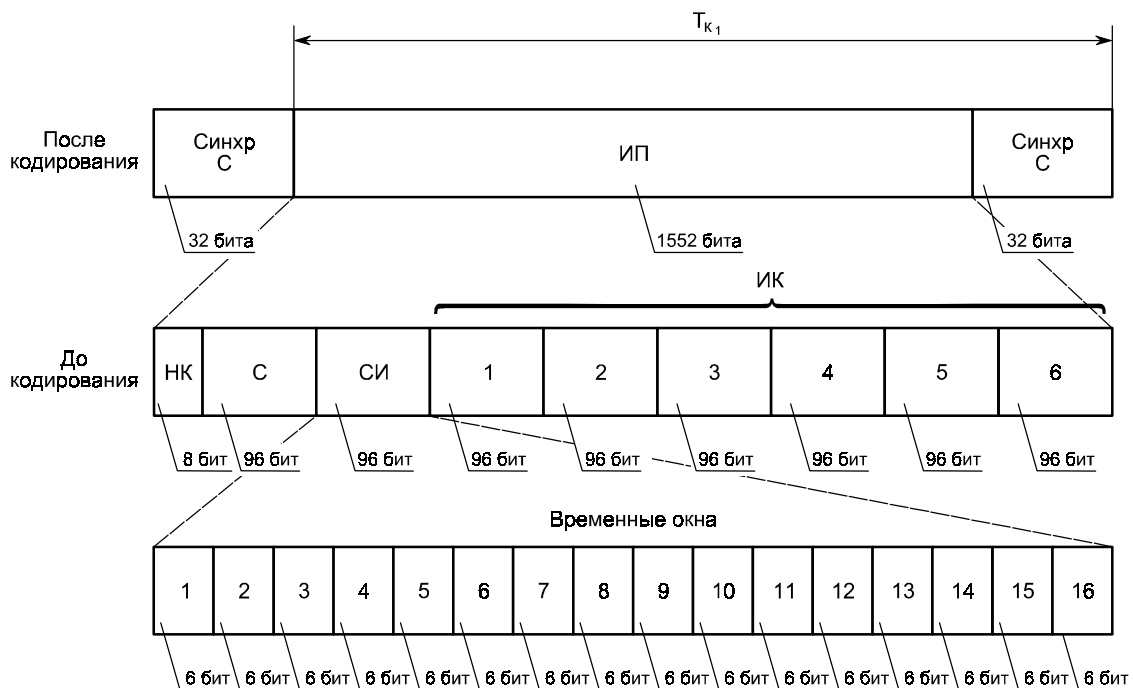


Рис. 2.8.

Формат кадра канала сигнализации ССС «Инмарсат-В» приводится на рис. 2.9, где Пр — преамбула; СинхрС — синхрослово; ИП — информационное поле; ПБ — проверочные биты; ПД — поле данных; Т — телекс; Ин — идентификатор.

Кадр имеет длительность $T_{к2}$, равную 2,376 с, разбит на 16 временных сегментов, каждый из которых имеет интервал $T_{в1}=148,5$ мс. Внутри каждого временного сегмента передается пакет длительностью $T_{п}=86,3$ мс, который по своему составу имеет сходство с сообщением запроса, приведенным на рис. 2.4 для ССС «Инмарсат-А».

Для организации телексной связи один из пакетов разбивается на два временных окна длительностью $T_{в2}=74,25$ мс, внутри которых располагаются пакеты длительностью $T_{т}=33,2$ мс. Каждый из данных пакетов имеет структуру, сходную с пакетами в других временных сегментах, и отличается только количеством бит отдельных составляющих.

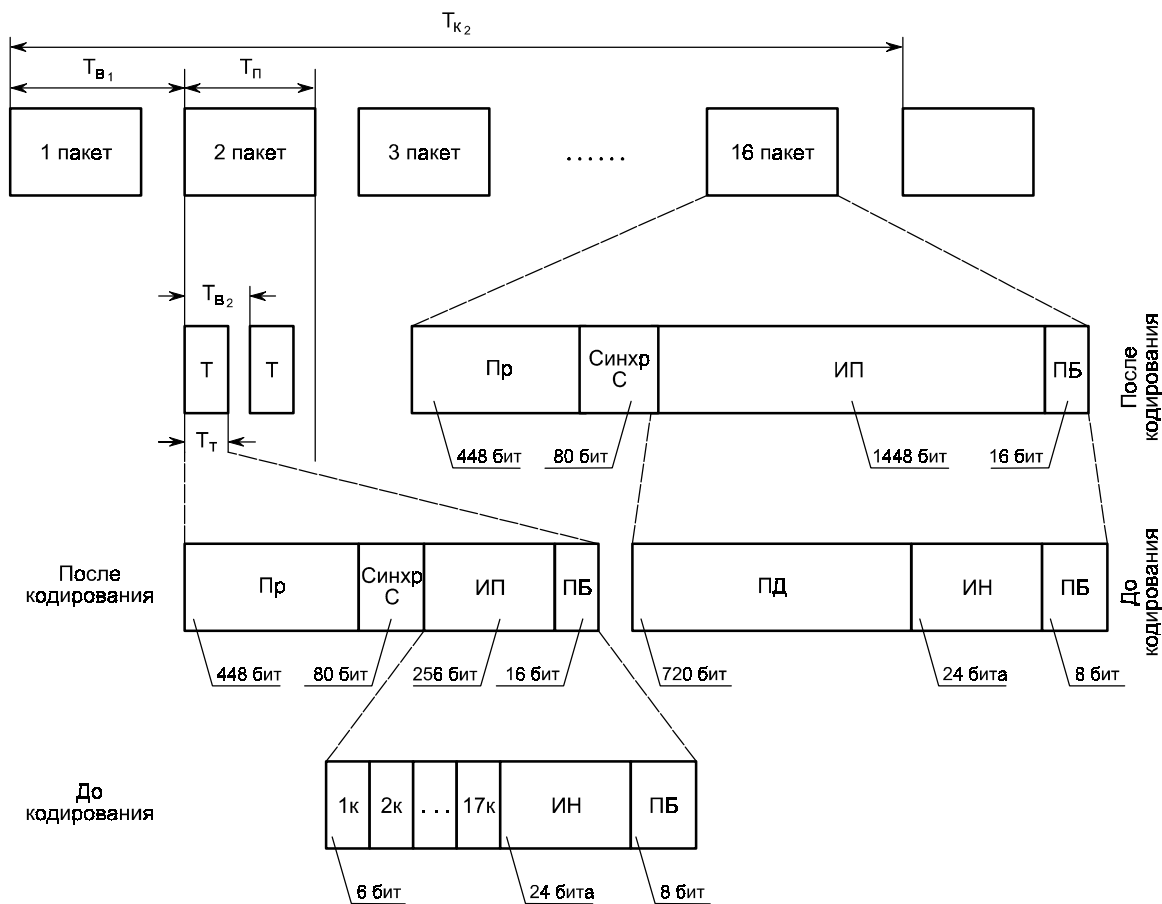


Рис. 2.9.

Каналы передачи данных, телекса и факса функционируют на выделенных для конкретных сеансов связи несущих частотах и предназначены для обмена соответствующей информацией между абонентами ССС «Инмарсат-В».

Передача информации осуществляется на основе использования ОФМ-4 с канальной скоростью $R=24$ Кбит/с, сверточного кодирования с относительной скоростью $1/2$ при организации связи в ССС на основе многостанционного доступа с частотным разделением каналов, организацией одного канала на несущей и предоставлением каналов по требованию (МДЧР/ОКН/ОКТ) и полосой пропускания радиоканала, равной 20 кГц.

Формат кадра канала передачи данных в ССС «Инмарсат-В» приводится на рис. 2.10, где Пр — преамбула; СинхрС — синхрослово; ИП — информационное поле; ПКС — пакет кадровой синхронизации; С — сигнализация; ПОС — пакет окончания сеанса связи; ПД — пакет данных.

Кадр имеет длительность $T_{K3}=80$ мс и состоит из ИП и КС. ИП состоит из четырех пакетов, каждый из которых состоит из двух компонент: С и ПД. В начале каждого сеанса за счет передачи ПР осуществляется синхронизация по несущей и тактовой частотам. Для исключения явлений проскальзывания каждый кадр заканчивается ПКС. Каналы телефонной связи имеют высокую степень унификации с каналами передачи данных. Наиболее существенное отличие состоит в уменьшении избыточности при кодировании и переходе к относительной скорости кодирования $3/4$, что обуслов-

лено более низкими требованиями к вероятности ошибочного решения на один бит при передаче речевой информации.

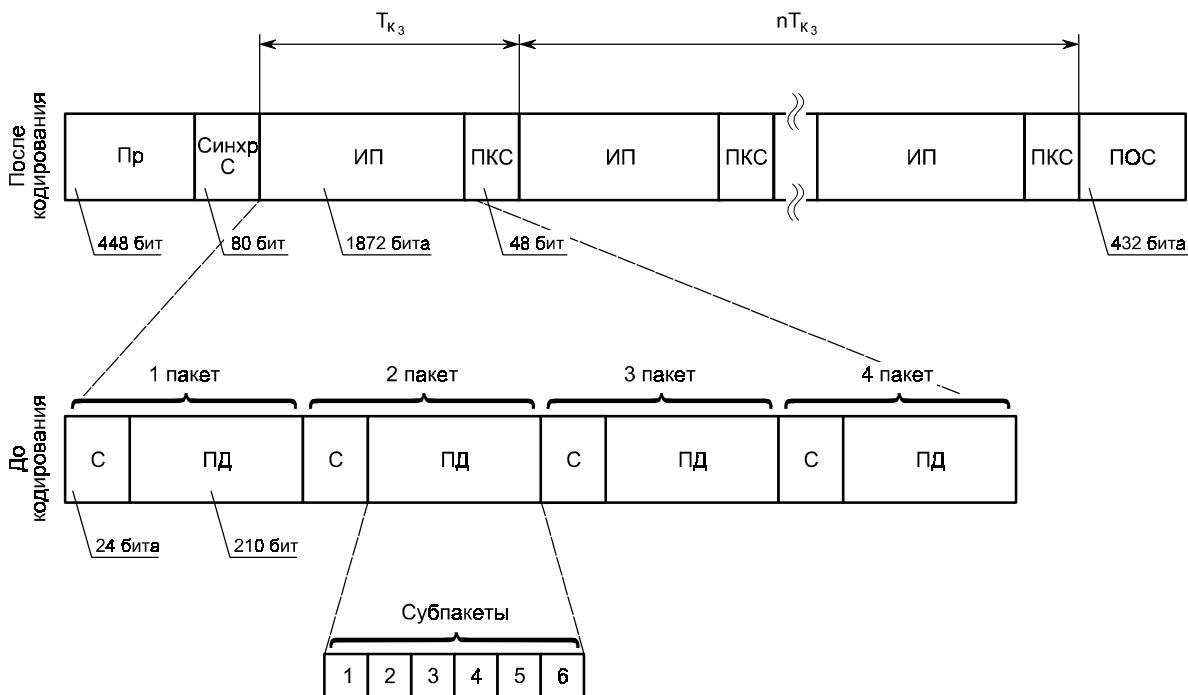


Рис. 2.10.

Формат кадра телефонного канала в ССС «Инмарсат-В» приведен на рис. 2.11, где Пр — преамбула; СинхрС — синхрослово; ИП — информационное поле; ПКС — пакет кадровой синхронизации; С — сигнализация; ПОС — пакет окончания сеанса связи; ПД — пакет данных.

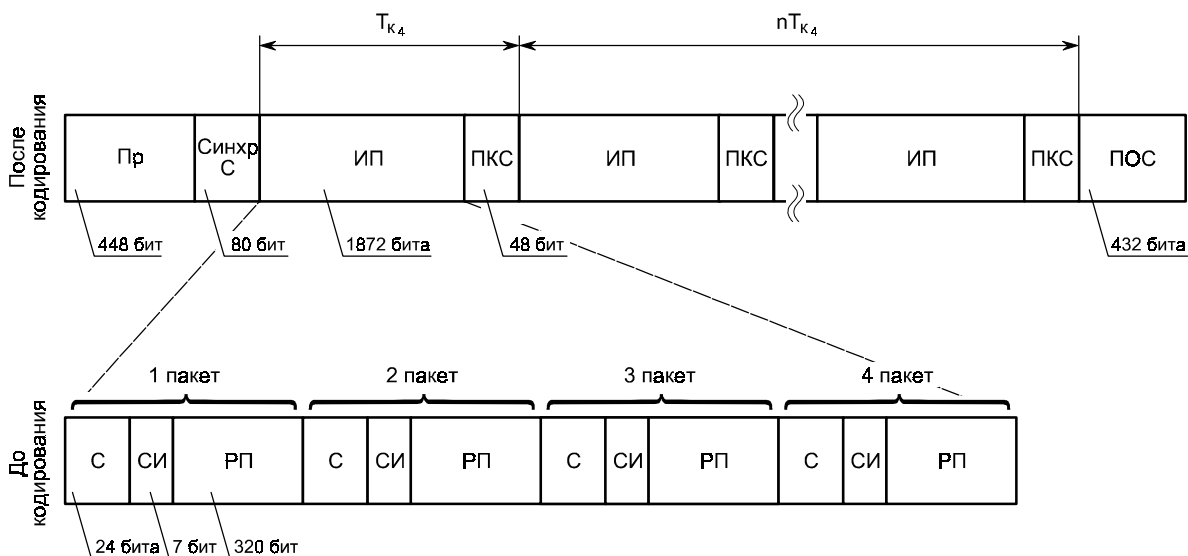


Рис. 2.11.

В систематизированном виде основные характеристики ССС «Инмарсат-В» приведены в табл. 2.2.

2.4. Система спутниковой связи «Инмарсат-С»

С 1991 года функционирует ССС «Инмарсат-С», которая предназначена для обслуживания абонентов, размещающихся на малых судах, катерах, яхтах и т.п. различных наземных транспортных средствах вдали от регионов с развитой инфраструктурой связи.

Структура ССС «Инмарсат-С» идентична структуре ССС «Инмарсат-А». Отличительной особенностью ССС «Инмарсат-С» является использование облегченного, малогабаритного, относительно недорогого терминала (СС) с малой мощностью потребления электроэнергии. Создание такой СС приводит к необходимости снижения излучаемой мощности передатчика и использования ненаправленной антенны, что делает напряженным энергетический баланс в радиолинии СС-СР.

В ССС «Инмарсат-С» для обеспечения энергетического баланса всех радиолиний, при котором достигается необходимый уровень достоверности передаваемой информации, приходится накладывать существенные ограничения на полосу пропускания радиоканала, скорость передачи информации, а также принять такие меры, как кодирование с перемежением /11/ и многократной передачей информационных кадров по запросу БС в случае искажения информации во время сеанса связи.

Энергетические затруднения при реализации ССС «Инмарсат-С» сказываются на номенклатуре предоставляемых услуг связи, среди которых остаются:

- телексная связь для передачи сообщений с коммутацией, переприемом и накоплением через наземные сети коммутации пакетов и системы «Телекс» и «Электронная почта»;
- передача сообщений от «станции к станции», минуя наземные сети связи;
- опрос абонентских станций и формализованный сбор данных;
- передача сообщений группового вызова и электронных сообщений.

Основные параметры, характеризующие энергетику радиолиний ССС «Инмарсат-С», для СР, установленных на ИСЗ второго поколения, приведены в табл. 2.4.

Частотный диапазон ССС «Инмарсат-С» совпадает с частотным диапазоном ССС «Инмарсат-В». Для обеспечения услуг связи в ССС «Инмарсат-С» требуется набор цифровых радиоканалов, подобный набору каналов, используемому в ССС «Инмарсат-В». Отличия состоят в том, что в ССС «Инмарсат-С» отсутствуют телефонные каналы и каналы передачи данных, а интерфейсы обеспечивают стыки только с СПД и системой «Телекс». Общие каналы ССС «Инмарсат-С» по своему назначению и особенностям функционирования сходны с общими каналами ССС «Инмарсат-В». Общие каналы типа КСС-СС и БС-СС работают в диапазоне частот 1530...1548 МГц, а общие каналы межстанционной сигнализации БС-КСС и КСС-БС работают в диапазоне частот 3600...3623 МГц. Передача информации осуществляется на основе ФМ-2 с канальной скоростью $R=1200$ бит/с с использованием временного уплотнения, сверточного кодирования с относительной скоростью $1/2$ перемежения и полосой пропускания радиоканала, равной 5 кГц.

Таблица 2.4

Параметр	БС-ИСЗ	ИСЗ-СС	СС-ИСЗ	ИСЗ-БС
	при $\varepsilon=5^\circ$	при $\varepsilon=5^\circ$	при $\varepsilon=5^\circ$	при $\varepsilon=5^\circ$
f , ГГц	6,42	1,54	1,64	4,2
$P_t G_t$, дБВт	61,0	21,0	12,0	-19,4
L_{sp} , дБ	200,9	188,5	189,0	195,9
L , дБ	0,4	2,5	0,4	2,2
G_r/T_r , дБ(К ⁻¹)	-14,0	-23,0	-12,5	30,7
P_r/N_0 , дБГц	74,3	36,7	38,7	43,5
P_r/I_0 , дБГц	55,8	—	45,8	—
$P_r/(N_0+I_0)$, дБГц	—	34,5	—	34,5

Формат кадра общего канала связи ССС «Инмарсат-С» приводится на рис. 2.12, где ПКС — распределенная часть пакета кадровой синхронизации; СИ — служебная информация; ИП — информационное поле.

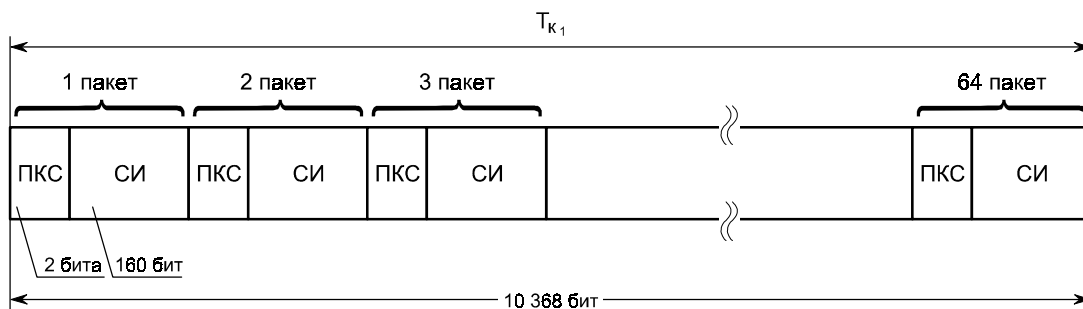


Рис. 2.12.

Длительность кадра $T_{к1}$ составляет 8,64 с. Каждый кадр состоит из 64 пакетов, в каждом из которых имеется 162 бита. Первые два пакета кадра являются опорными, поскольку в них передаются бюллетени, описывающие статистические эксплуатационные характеристики общего канала связи для КСС или БС. Остальные пакеты в кадре используются для передачи различной информации. В каналах сигнализации ССС «Инмарсат-С» передача информации осуществляется на основе ФМ-2 с канальной скоростью $R=1200$ бит/с с использованием таких режимов МДВР, как случайный доступ, тактированная АЛОХА с резервированием и без резервирования временных сегментов, сверточного кодирования с относительной скоростью 1/2 и полосой пропускания 5 кГц.

Формат кадра канала сигнализации ССС «Инмарсат-С» приводится на рис. 2.13, где СинхрС — синхрослово; ИП — информационное поле; ПБ — проверочные биты; ЗП — защитный промежуток.

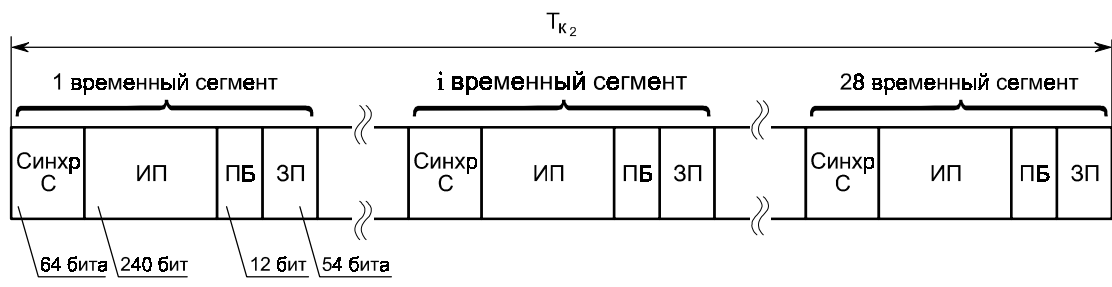


Рис. 2.13.

Длительность кадра T_{k2} составляет 8,64 с. Каждый кадр разбит на 28 временных сегментов. В каждом сегменте передается один субкадр, состоящий из 316 бит. Субкадры в соседних временных окнах разделены ЗП, длительность которых $T_{зп}$ равна 45 мс. Для функционирования каналов передачи данных в зависимости от величины текущего трафика выделяется различное количество несущих частот. При этом передача информации осуществляется на основе ФМ-2 с начальной скоростью $R=1200$ бит/с с использованием МДВР, сверточного кодирования с относительной скоростью 1/2 и полосой пропускания 5 кГц.

Формат кадра канала передачи данных ССС «Инмарсат-С» приводится на рис. 2.14, где СН — синхронизация несущей; ТС — тактовая синхронизация; СинхрС — синхрорслово; ИП — информационное поле.

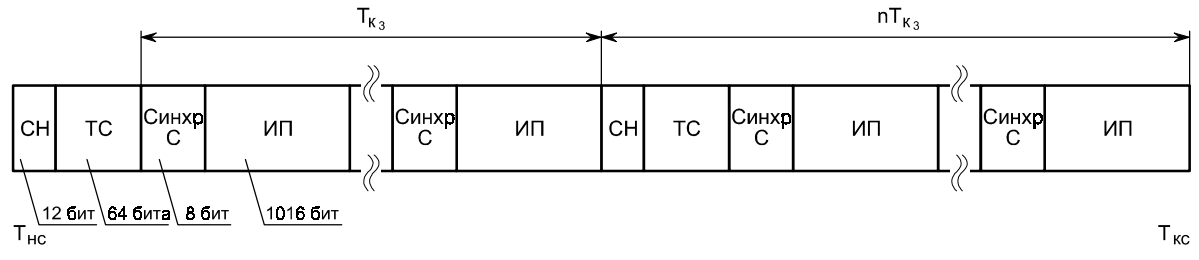


Рис. 2.14.

Длительность кадров в данном канале является переменной

$$T_{k3}=(N+1)T_{ск},$$

где $N \in \{0, 4\}$, $T_{ск}=1024 R=0,85$ с. В кадре максимальной длины содержится 5120 бит. Перед началом каждого кадра передается преамбула, состоящая из пакетов СН и ТС. Максимальный размер сообщения за один сеанс связи длительностью

$$T_c=T_{кc}-T_{нс},$$

где $T_{нс}$, $T_{кc}$ — моменты начала и конца сеанса связи, не должны превышать 32 Кбайта. В систематизированном виде основные характеристики ССС «Инмарсат-С» приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Стандарты ССС «Инмарсат»	«Инмарсат-С»	«Инмарсат-М»
Зона обслуживания	глобальная (75° ю.ш.— 75° с.ш.)	глобальная (75° ю.ш.— 75° с.ш.)
Объекты размещения СС (ЗС)	малые суда и наземный транспорт	малые суда и наземный транспорт
Услуги связи	передача сообщений	речь, факс, передача данных
Частотный диапазон СС (ЗС) – на прием, МГц – на передачу, МГц	1530...1548 1626,5...1647,5	1530...1559 1626,5...1660,5
Тип антенны ЗС и ее размеры	спираль, высота 0,42 м, макс. диаметр 0,12 м	ФАР, площадь 0,65 м×0,56 м
Эффективно-излучаемая мощность ЗС (ЭИИМ), дБВт	15	27
Добротность ЗС (G/T), дБ/К	—23	—12
Частотный разнос каналов, кГц	5	10
Скорость передачи информации при – телефонной связи, бит/с – факсимильной связи, бит/с – передаче данных, бит/с	— — 600	4800 2400 2400
Кодирование	сверточ. код с относит. скор. 1/2	сверточ. код с относит. скор. 1/2 и 3/4
Вид модуляции в канале передачи речи/данных	—/ФМ-2	ФМ-4/ФМ-2
Метод доступа	Тактиров. АЛОХА	ОКН
Общая масса комплекта СС (ЗС) – морской вариант, кг – портативный вариант, кг	— 7...10	35 9,5...22

Продолжение таблицы 2.5

Стандарты ССС «Инмарсат»	«Инмарсат-С»	«Инмарсат-М»
Потребляемая СС (ЗС) мощность при – передаче, Вт – при приеме, Вт	95 12	100 20

Напряжение питания СС (ЗС) – от сети переменного тока, В – от сети постоянного тока, В	110 (220)±10% 12...24	90...260 12
Габариты СС (ЗС), см ³	30×20×15	180×35×45 (портативный вариант)
Климатические условия функционирования СС (ЗС) – температура окруж. среды, – влажность	от —25°С до +55°С 95% при 40°С	от —25°С до +50°С 95% при 40°С
Стоимость за услуги связи – телефон, – телекс, – факс, – передача данных	— — — (2,2...2,8) дол за 1 Кбайт	(5...6) дол/мин — (5...6) дол/мин (5...6) дол/мин
Интерфейсы СС (ЗС)	RS 232С, X. 25, X. 400	RS 232С, X. 25, X. 400, ТФОП
Количество абонентов по прогнозу на 2000 г.	40000	50000

2.5. Система спутниковой связи «Инмарсат-М»

Система «Инмарсат-М» («Стандарт-М») разрабатывалась с целью обеспечения услуг прежде всего телефонной связи на основе использования компактных мобильных земных станций (ЗС) абонентами, размещающимися на морских и сухопутных подвижных объектах, а также индивидуальными пользователями. Система «Инмарсат-М» введена в эксплуатацию в 1993 г. и в ней наряду с телефонной связью предусмотрены факсимильная связь и передача данных. Структура ССС «Инмарсат-М» идентична структуре ССС «Инмарсат-А».

Использование в «Стандарте-М» компактных мобильных ЗС потребовало целого комплекса мер для достижения необходимых для устойчивой связи энергетических характеристик радиолиний ЗС-СР и СР-ЗС. В системе «Инмарсат-М» используются СР, установленные на ИСЗ второго и третьего поколения, обладающих повышенным энергетическим потенциалом. С целью повышения характеристик помехоустойчивости системы «Инмарсат-М» потребовалось также уменьшение полосы пропускания одного радиоканала до 10 кГц. Принципы управления доступом и протоколы сигнализации в «Стандарте-М» сходны с принятыми в «Стандарте-В». Для обеспечения телефонной связи из-за двукратного уменьшения полосы пропускания канала связи в «Стандарте-М» по сравнению со «Стандартом-В» возникла необходимость в использовании в связи с чем, появилась необходимость перехода от адаптивного кодирования к вокодерной обработке /10/.

Основные параметры, характеризующие энергетику радиолиний ССС «Инмарсат-М», для СР, установленных на ИСЗ второго поколения, приведены в табл. 2.6. В связи с тем, что по оптимистическим прогнозам к 2000 г. количество абонентов ССС «Ин-

марсат-М» может составить порядка 600 тысяч, то при переходе к третьему поколению ИСЗ частотный диапазон дополнительно расширен.

Направление передачи	Частота, МГц
СС-ИСЗ	1626,5 ... 1660,5
ИСЗ -СС	1530 ... 1559
БС -ИСЗ	6425 ... 6454
ИСЗ -БС	3600 ... 3629

Таблица 2.6

Параметр	БС-ИСЗ	ИСЗ-СС	СС-ИСЗ	ИСЗ-БС
	при $\epsilon=5^\circ$	при $\epsilon=5^\circ$	при $\epsilon=5^\circ$	при $\epsilon=5^\circ$
f , ГГц	6,42	1,54	1,64	4,2
$P_t G_t$, дБВт	61,0	21,0	27,0	-19,4
L_{sp} , дБ	200,9	188,5	189,0	195,9
L , дБ	0,4	2,5	0,4	2,2
G_r/T_r , дБ(К ⁻¹)	-14,0	-12,0	-12,5	30,7
P_r/N_0 , дБГц	74,3	36,7	38,7	43,5
P_r/I_0 , дБГц	55,8	—	45,8	—
$P_r/(N_0+I_0)$, дБГц	—	34,5	—	34,5

Для обеспечения предоставляемых ССС «Инмарсат-М» услуг связи требуется набор цифровых каналов, номенклатура которых и структура взаимодействия аналогичны набору цифровых радиоканалов, используемому в ССС «Инмарсат-В».

Общий канал связи ССС «Инмарсат-М» идентичен общему каналу связи ССС «Инмарсат-В». Отличие между другими каналами в стандартах «В» и «М» обусловлены в основном скоростями передачи информации и форматами кадров. В канале сигнализации ССС «Инмарсат-М» передача информации осуществляется на основе использования ОФМ-4 с канальной скоростью в Кбит/с, полосой пропускания канала, равной 10 кГц, сверточным кодированием с относительной скоростью 3/4, с доступом на основе частотного разделения каналов, выделением одного канала на несущую и закреплением несущей за каналом сигнализации (МДЧР/ОКН) /10/.

Формат кадра канала сигнализации ССС «Инмарсат-М» приводится на рис. 2.15, где СН — синхронизация несущей; ТС — тактовая синхронизация; С — сигнализация; СИ — служебная информация; ПОС — пакет окончания сеанса связи.

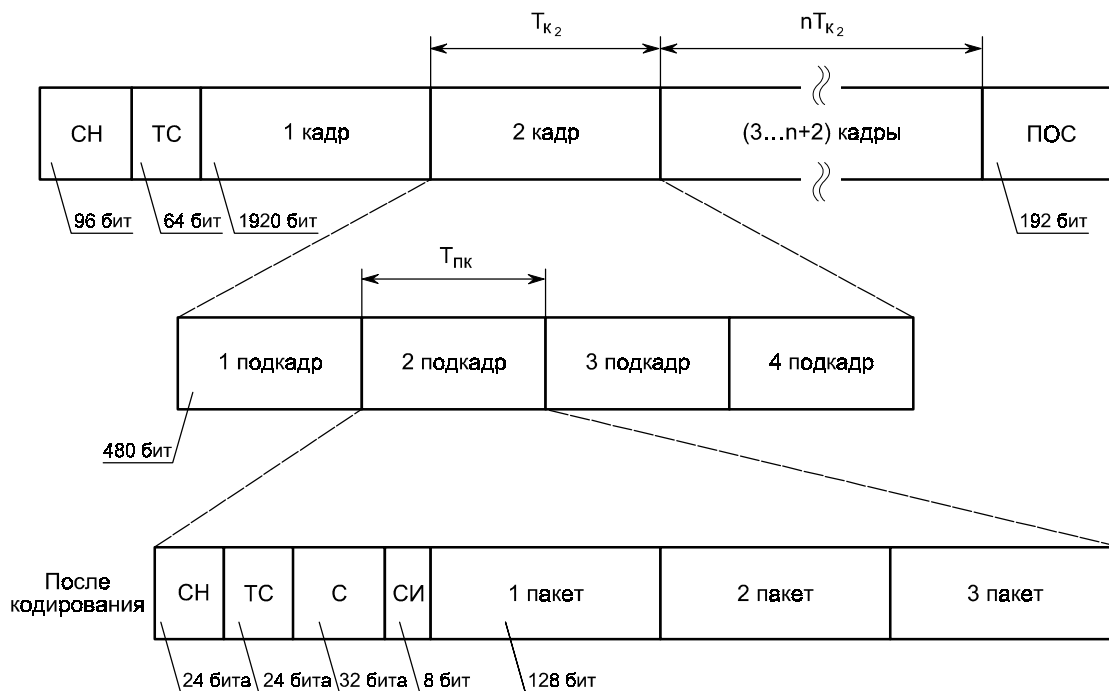


Рис. 2.15.

Кадр имеет длительность $T_{к2}=240$ мс и состоит из четырех подкадров, каждый из которых имеет длительность $T_{пк}=60$ мс. Каждый подкадр содержит пакеты синхронизации по несущей и тактовым частотам, сигнализации и служебной информации, после чего начинается информационное поле, разбитое на три информационных пакета, в каждом из которых содержится по 128 бит. С целью увеличения пропускной способности и экономии ресурсов в ССС «Инмарсат-М» канал сигнализации может одновременно использоваться для передачи данных и телефонной связи.

Для обеспечения такой унификации каналы передачи данных и телефонной связи имеют одинаковую структуру, принцип действия и основные параметры с каналом сигнализации. Форматы кадров каналов передачи данных и телефонной связи ССС «Инмарсат-М» приведены на рис. 2.16 и 2.17. Сравнительный анализ форматов каналов сигнализации, передачи данных и телефонной связи показывает, что имеющиеся несущественные различия обусловлены спецификой передаваемой в каналах информации и могут быть учтены путем организации соответствующих режимов работы канала. В систематизированном виде основные характеристики ССС «Инмарсат-М» приведены в табл. 2.5.

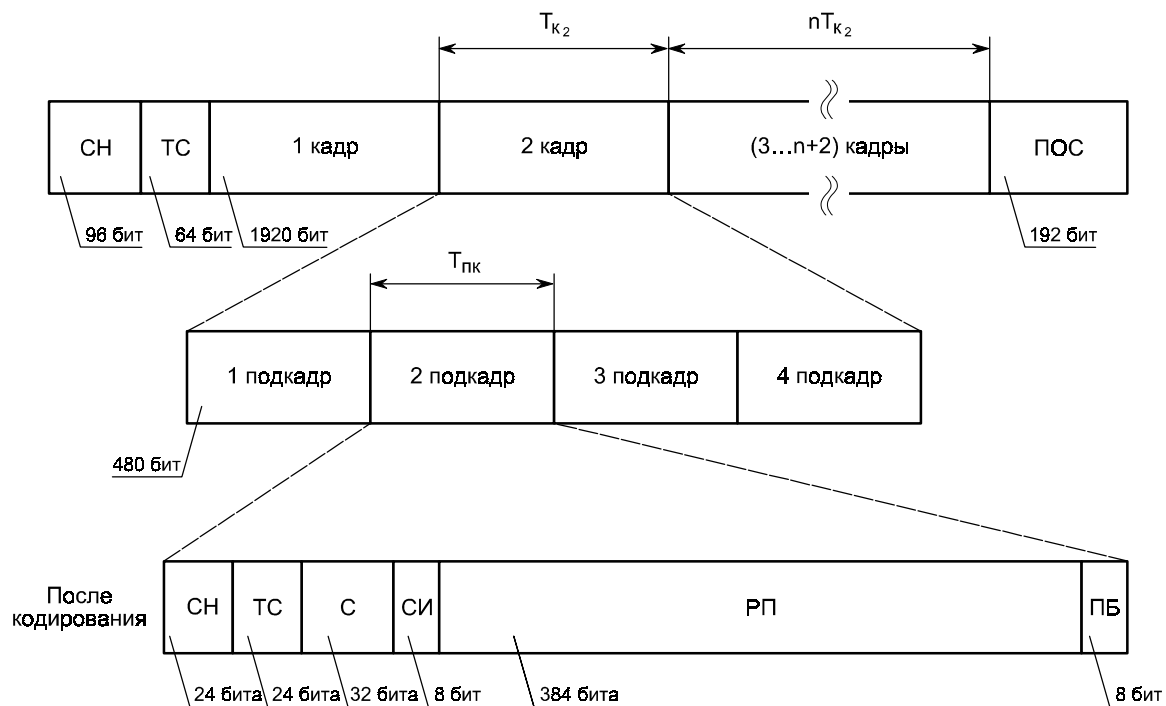


Рис. 2.16.

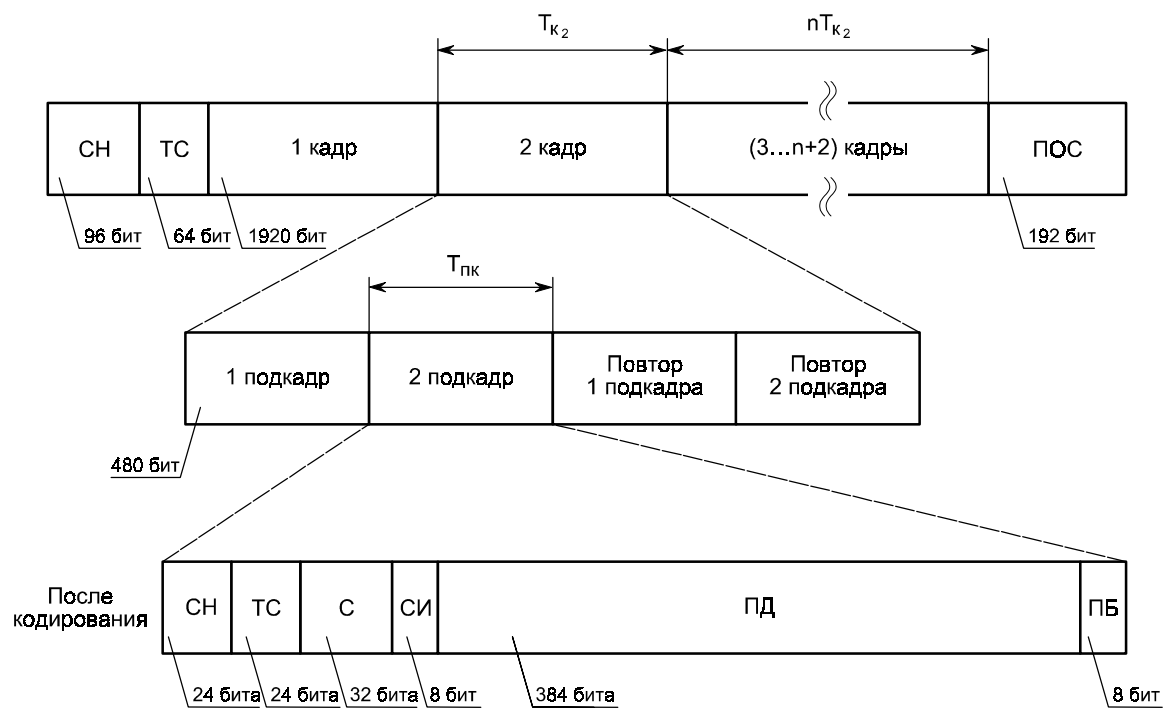


Рис. 2.17.

3. НИЗКООРБИТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

3.1. Многоспутниковая низкоорбитальная система связи «Гонец»

Российская ССС «Гонец» предназначена для обеспечения передачи информации в цифровом виде между стационарными и подвижными абонентами и может быть использована для первоочередных задач информатизации в регионах, где в настоящее время отсутствует надежная связь.

ССС «Гонец» обеспечивает предоставление следующих услуг:

- передача любых данных в цифровой форме — телекс, текст, изображение, обмен информацией между базами данных, между компьютерами, сбор телеметрических данных от необслуживаемых датчиков, определение местоположения подвижных объектов;
- засекречивание пользовательской информации по отдельному требованию заказчика.

В ССС «Гонец» предусмотрено два режима работы:

- «электронная почта» с запоминанием, хранением в памяти спутника и последующей передачей пользователю (отправитель и получатель не находятся в зоне радиовидимости одного спутника) и в близком к реальному масштабу времени (отправитель и получатель находятся в зоне радиовидимости одного спутника);
- использование в комбинированных сетях спутниковой связи с помощью ИСЗ на геостационарной орбите. В этом случае время доставки информации приближается к реальному.

К областям применения ССС «Гонец» относятся:

- глобальная связь с абонентами, расположенными на территории со слаборазвитой инфраструктурой связи;
- передача экстренных сообщений и координация работ в районах стихийных бедствий;
- передача медицинской информации;
- сбор информации от необслуживаемых датчиков;
- обмен информацией между базами данных и связь типа «компьютер-компьютер»;
- обмен научной и образовательной информацией;
- обмен деловой информацией.

Система связи «Гонец» предназначена как для использования внутри России, так и для предоставления услуг зарубежным пользователям.

Отличительными особенностями ССС «Гонец» являются /5/:

- возможность создания недорогой ССС;
- использование недорогих портативных ЗС, не требующих специальной подготовки для эксплуатации;
- быстрое развертывание системы в экстренных ситуациях;
- простая и дешевая эксплуатация системы;
- обеспечение глобальной связи, включая полярные области, и наличие большого числа пользователей;
- использование СР с обработкой информации на борту.

В состав ССС «Гонец» входит три сегмента:

- космический сегмент;
- сегмент земных станций (ЗС), обслуживающих различные категории абонентов;
- сегмент управления, состоящий из центра управления системой (ЦУС) и центров управления ретрансляцией сообщений (ЦУР).

Структура системы «Гонец» приведена на рис. 3.1.

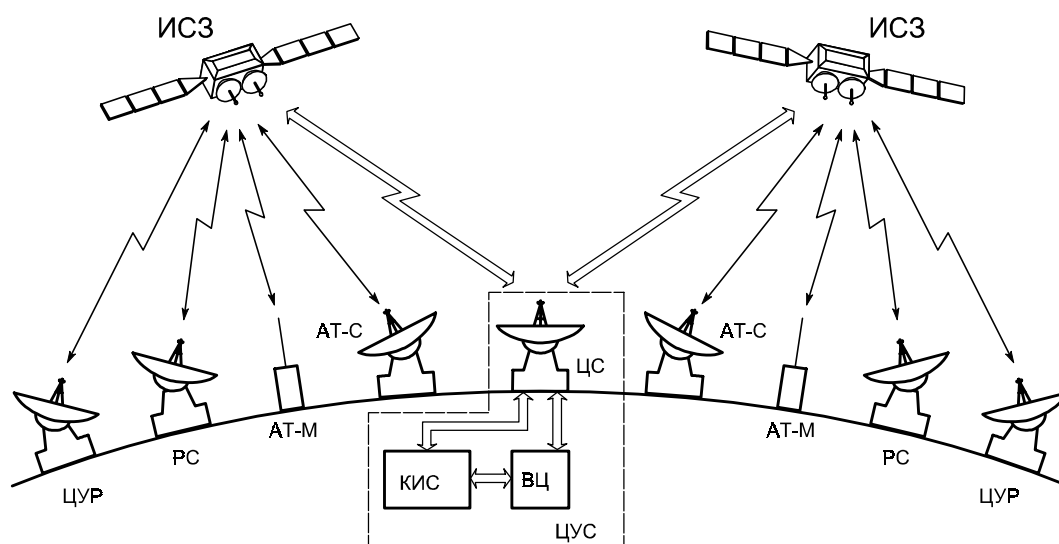


Рис. 3.1.

Система связи «Гонец» строится на основе использования в космическом сегменте системы низкоорбитальных спутников-ретрансляторов, обеспечивающих полное, глобальное покрытие Земной поверхности (рис. 3.2), включая приполярные области. Это достигается использованием 6 «колец», в каждом из которых находится по 6 ИСЗ СР, а всего в космическом сегменте используется не менее 36 ИСЗ. Наклонение плоскости «кольца» орбиты — 83 град. Плоскости «колец» разнесены друг относительно друга на 30 градусов по долготе восходящего узла. Высота орбиты — 1500 км. Групповой вывод по 6 ИСЗ осуществляется ракетой-носителем «Циклон» за один пуск. Масса одного ИСЗ составляет 225 кг. Срок активного существования ИСЗ составляет 3-5 лет. Каждый ИСЗ имеет два СР с обработкой и запоминанием сигналов в диапазонах

300/400 МГц и 1,5/1,6 ГГц. Параметры СР: мощность передатчика СР 2...10 Вт; шумовая температура приемника СР — 200 К, коэффициент усиления антенны СР 0...3 дБ, емкость бортового запоминающего устройства 8 Мбайт.

Выбор орбитальной структуры сделан исходя из равномерной интенсивности трафика по поверхности Земли (равномерное обслуживание по всей Земле), минимизации числа спутников, а наклон орбит — исходя из наличия трасс выведения. Для формирования «колец» ИСЗ целесообразным оказывается метод одновременного выведения нескольких ИСЗ одной ракетой-носителем, так как требует меньших затрат на создание орбитальной группировки и снижает загрузку стартового комплекса. Зона обслуживания, обеспечиваемая одним ИСЗ, представляет собой «пятно» на земной поверхности диаметром 4300 км.

СР каждого ИСЗ решают целевую задачу по ретрансляции информации между абонентами системы в регионах, задаваемых наземными средствами. Кроме того, СР решает задачи по ретрансляции информации, необходимой для работы системы связи, а также передает телеметрическую информацию, информацию для траекторных измерений и принимает командно-программную информацию для управления работой связных и служебных систем ИСЗ.

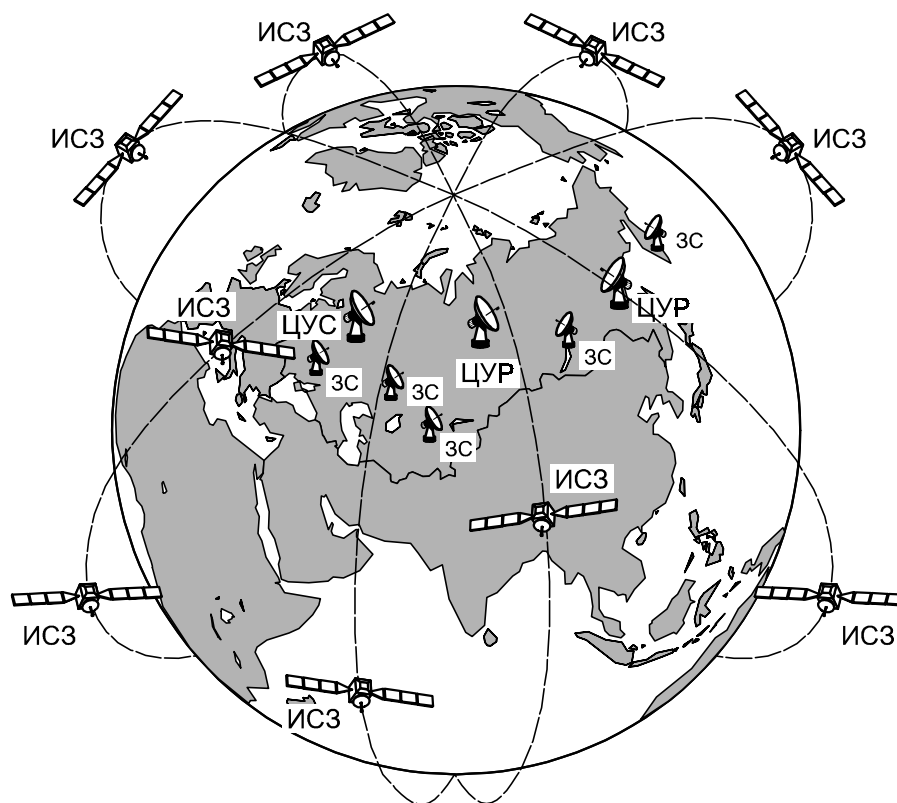


Рис. 3.2.

В системе связи используется несколько модификаций ЗС в зависимости от требований потребителей. В районах, которые не имеют наземных средств связи, необходимо обеспечить прямой доступ абонентов к каналам. Для решения этой задачи предназначены:

- 1) малогабаритные (портативные) абонентские терминалы (АТ-М);
- 2) стационарные абонентские терминалы (АТ-С);
- 3) абонентские терминалы, предназначенные для экологического мониторинга (ЭТ).

Четвертый тип ЗС — региональные станции (РС), являются стационарными и устанавливаются в районах с развитой инфраструктурой связи.

Основные характеристики ЗС приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Технические характеристики	«АТ-М» мобильный малогабар.	«АТ-С» стационарный	«ЭТ» экологический	«РС» региональная станция
Диапазон частот, МГц	З-К: 312...315; К-З: 387...390	З-К: 312...315; К-З: 387...390	З-К: 312...315; К-З: 387...390	З-К: 1642,5...1643,5; К-З: 1541...1541,9
Скорость передачи, Кбит/с	4,8	9,6	4,8	64,0
Мощность передатчика, Вт	10	10	10	10
Шумовая температура, К	200	200	200	150
АФУ	Встроенное или выносное (штырь длиной до 0,5 м)	Выносное, диаметр 0,8 м	Встроенное (штырь длиной до 0,5 м)	Выносное
Вид модуляции	ФМ-2	ФМ-2	ФМ-2	ФМ-4
Вероятность ошибки на бит	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}
Доступ абонентов	Прямой, ЧРК/ВРК, ПКТ	Прямой, ЧРК/ВРК, ПКТ	Автомат.	Через наземные линии связи, ЧРК/ВРК, ПКТ
Ввод-вывод информации	ПК типа IBM РС-АТ, RS 232	ПК типа IBM РС-АТ, RS 232		ПК типа IBM РС-АТ, RS 232
Масса, кг	3	10...15	10	60
Питание	Аккумулятор. батареи или сеть переменного тока	Аккумулятор. батареи или сеть переменного тока	Аккумулятор. батареи	Сеть переменного тока

РС решают следующие задачи:

- сбор и распределение по наземным линиям связи информации (функции «концентратора» и «коммутатора» информации);
- обмен большими объемами информации с СР, включая базы данных;

- переретрансляция информации, снятой с СР с целью ускорения ее доставки (маршрутизация сообщений);
- обмен с центром управления системой технологической информацией.

С целью ускорения доставки информации путем выбора более коротких маршрутов передачи сообщений используются центры управления ретрансляцией сообщений (ЦУР), в качестве которых используется часть РС.

Центр управления системой (ЦУС) предназначен для обеспечения эксплуатации ССС и решает следующие задачи:

- осуществляет планирование и координацию работ по развертыванию системы и восполнению орбитальной группировки СР;
- проводит планирование элементов системы связи (СР, ЦУР, РС командно-измерительная система);
- формирует отчетную информацию о сеансах связи, включая информацию по оплате за предоставленные услуги;
- передает планы и необходимую технологическую информацию для обеспечения работы РС и ЦУР;
- проводит сбор, накопление, обработку и передачу в заинтересованные организации информации об окружающей среде, стихийных бедствиях и других чрезвычайных ситуациях;
- проводит траекторные измерения и определяет параметры орбиты ИСЗ;
- принимает и анализирует телеметрическую информацию с СР;
- формирует и передает командно-программную информацию на СР для управления связью и обеспечивающими системами ИСЗ;
- оценивает качество каналов связи и работоспособность элементов системы связи.

Для решения указанных задач в состав ЦУС входят: вычислительный центр (ВЦ), командно-измерительная система (КИС) и центральная станция (ЦС). ЦС обеспечивает связь с наземными станциями в обоих частотных диапазонах (300/400 МГц и 1,5/1,6 ГГц), а также используется для координации работы системы «Гонец». Управление системой может осуществляться по однопунктовой системе, однако для повышения надежности функционирования системы предполагается задействовать два ЦУСа, расположенных в окрестностях г. Москвы и г. Красноярска. Для обеспечения функционирования в системе «Гонец» 1 млн. абонентов необходимо использовать более 100 РС.

Система «Гонец» является многоспутниковой системой связи с многостанционным доступом на основе частотного (ЧРК) и временного (ВРК) разделения каналов. Каналы предоставляются по требованию абонентов (ПКТ). Все вышеупомянутые особенности организации связи по своим принципам не отличаются от организации связи в системе «Инмарсат». Каждый ИСЗ системы обеспечивает работу по четырем функциональным каналам. В системе «Гонец» для передачи сообщений используются ФМ-

сигналы, а для повышения надежности связи — сверточное кодирование с декодированием по Витерби.

Маркерный канал предназначен для определения присутствия ИСЗ в зоне радиовидимости и синхронизации работ бортовых и наземных средств системы, работает в радиолинии «Космос-Земля» (К-З) в диапазоне 400 МГц со скоростью 4,8 Кбит/с. Частота маркерного канала для всех ИСЗ системы одинакова. Используется временное разделение маркерных каналов различных ИСЗ.

Канал сигнализации предназначен для организации доступа в систему, по нему передаются сигналы запроса от абонента и сигналы предоставления информационного канала, формируемые СР. Двусторонний канал работает в диапазоне 300/400 МГц со скоростью 4,8 Кбит/с. Структура запросного сигнала гарантирует защиту системы от несанкционированного доступа. Канал сигнализации используется центральной станцией для управления рабочими системами ИСЗ.

Высокоскоростной информационный канал предназначен для передачи любой информации в цифровом виде со скоростью 64 Кбит/с. Двусторонний канал работает в диапазоне 1,5/1,6 ГГц через РС и ЦУР.

Все каналы системы на одном ИСЗ и каналы различных ИСЗ разделены по частоте (ЧРК). В системе из 5 «колец» по 6 ИСЗ в каждом «кольце» будет одновременно функционировать: 36 маркерных каналов; 36 каналов сигнализации; 36 низкоскоростных информационных каналов; 36 высокоскоростных информационных каналов.

Каналы сигнализации уплотнены 300 каналами с временным разделением (ВРК). Эти каналы распределены между абонентами одного региона, так что каждый канал является общим каналом сигнализации (ОКС) для группы абонентов с протоколом многостанционного доступа — синхронная АЛОХА.

Пропускная способность системы: в частотном диапазоне 1,5/1,6 ГГц составляет $2,5 \times 10$ Мбит в сутки, а в частотном диапазоне 300/400 МГц составляет $1,85 \times 10$ Мбит в сутки. В выделенном для системы диапазоне частот организовано 60 частотных каналов в диапазоне 300/400 МГц и 3 частотных канала в диапазоне 1,5/1,6 ГГц. 60 частотных каналов в диапазоне 300/400 МГц распределены между 72 каналами сигнализации и информационными каналами 36 ИСЗ с учетом повторного использования частот за счет пространственного разнесения ИСЗ. Распределение исключает одновременное присутствие в зоне радиовидимости любого абонента ИСЗ с одинаковыми частотными каналами. Частоты каналов диапазона 300/400 МГц устанавливаются при вводе ИСЗ в эксплуатацию и в процессе эксплуатации могут изменяться ЦС. Частота канала сигнализации сообщается в маркерном сигнале, частота информационного канала сообщается абоненту при предоставлении канала. Наземные станции диапазона 1,5/1,6 ГГц работают по расписанию, которое составляется ЦС и сообщается ЗС по каналам системы. В расписании, наряду с разрешенным временем работы, номером ИСЗ, указывается также частота информационного канала. Эта частота передается ЗС на ИСЗ при запросе канала.

В зависимости от взаимного расположения ЗС, ЦУР и ИСЗ организация сеансов связи в системе «Гонец» осуществляется с различным временем ожидания.

Для случая, когда отправитель (ZC_o) и получатель информации (ZC_n) одновременно находятся в зоне радиовидимости одного ИСЗ (рис. 3.3), они могут обмениваться сообщениями в реальном масштабе времени.

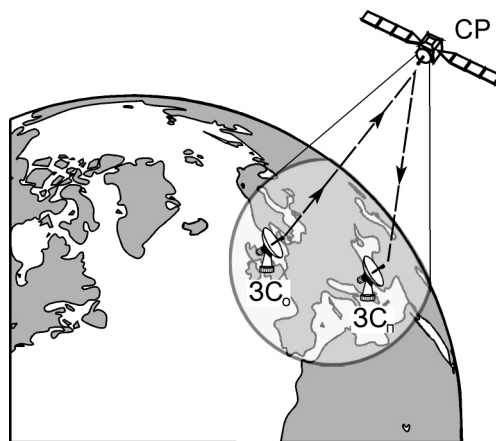


Рис. 3.3.

В том случае, если отправитель ($ЗС_0$) не находится в зоне радиовидимости ИСЗ, то $ЗС_0$ должен ожидать появления ИСЗ в зоне радиовидимости, что устанавливается на основе приема сигнала маркерного канала. После этого $ЗС_0$ по каналу сигнализации передает сигнал запроса нужного информационного канала, соответствующего параметрам получателя ($ЗС_n$). В результате бортовой обработки CP формирует сигнал вызова получателя и предоставляет информационный канал. Время доставки сообщения при этом определяется временем ожидания сеанса, которое в ССС «Гонец» не превышает 20 мин. с вероятностью 0,8.

Если $ЗС_0$ и $ЗС_n$ находятся на большом расстоянии в одной из орбитальных плоскостей космического сегмента системы «Гонец», то для обеспечения сеанса связи используется перенос сообщения в запоминающем устройстве (ЗУ) CP (рис. 3.4). Специфика данного случая состоит в том, что после демодуляции и декодирования сигналов информация записывается в ЗУ. $ЗС_n$ осуществляет съем информации при появлении ИСЗ в зоне радиовидимости. При этом время доставки сообщения складывается из времени ожидания сеанса и времени переноса сообщения.

Для случая, когда $ЗС_0$ и $ЗС_n$ находятся на большом расстоянии и могут быть обслужены ИСЗ, находящимися в разных орбитальных плоскостях космического сегмента, организация сеансов связи может быть обеспечена на основе использования ЦУР (рис. 3.5) или на основе использования межспутниковых каналов связи (МКС) для ретрансляции (рис. 3.6).

В случае использования для ретрансляции ЦУР так же, как и при переносе информации в ЗУ CP, время доставки сообщения определяется временем его переноса и в зависимости от количества используемых в системе «Гонец» ИСЗ может составлять от 3 до 6 часов.

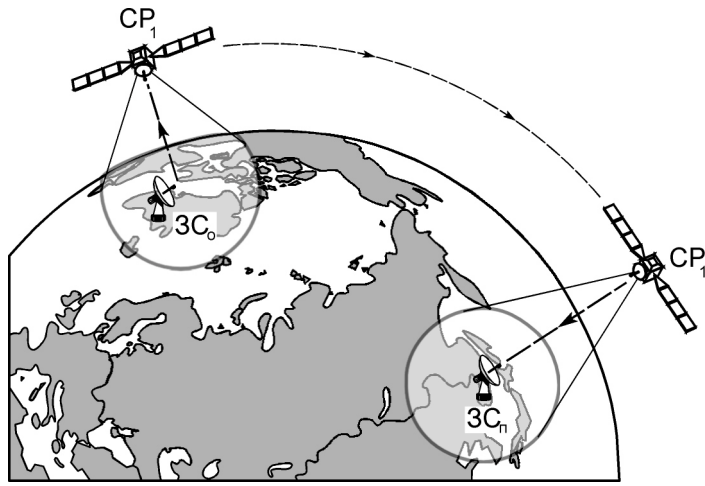


Рис. 3.4.

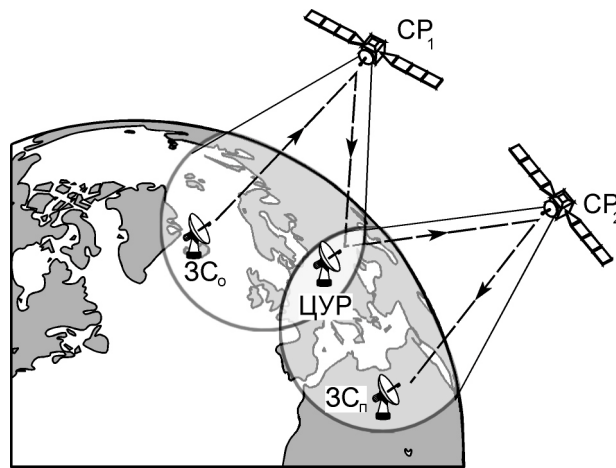
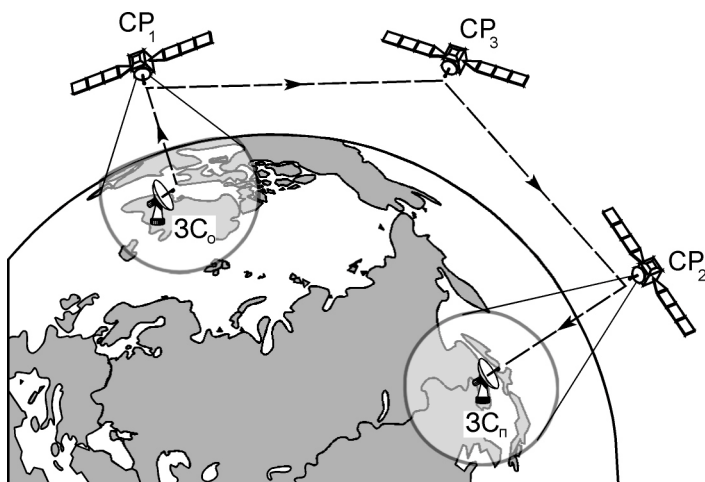


Рис. 3.5.



Существенным достоинством использования МКС для ретрансляции является возможность предоставления обмена сообщениями в реальном масштабе времени. Однако в связи с большой стоимостью реализация МКС планируется на последующих этапах развития ССС «Гонец».

3.2. Глобальная система спутниковой персональной связи «Иридиум»

ССС «Иридиум», разрабатываемая фирмой «Моторола» (США), является глобальной системой персональной радиосвязи с использованием портативных абонентских терминалов типа «трубка в руке». Система «Иридиум» предназначена для автономной работы в районах мира, не имеющих развитых и надежных сетей связи, а также обслуживания морских судов и самолетов, пользователей, находящихся в экстремальных ситуациях и т.п. Для районов с развитой инфраструктурой связи система «Иридиум» может дополнить наземные сети, в том числе и сотовые.

ССС «Иридиум» обеспечивает следующие виды услуг связи:

- подвижную радиотелефонную связь с использованием персональных радиотелефонов в непрерывном режиме и в реальном масштабе времени, в том числе с возможностью выхода на телефонные сети общего пользования;
- передачу данных по типу электронной почты;
- обмен деловой информацией;
- персональный радиовывоз;
- определение местонахождения и передачи информации о местонахождении подвижных объектов.

Построение системы «Иридиум» основано на следующих принципах /12, 13/:

- глобальность обслуживания: система предоставляет возможность связи для любых двух абонентов, в том числе для мобильных, расположенных в произвольных регионах Земли;
- открытость: система обеспечивает соответствие коммуникационных протоколов требованиям международных стандартов и совместимость с существующими коммуникационными сетями;
- универсальность: система поддерживает наиболее распространенные прикладные коммуникационные службы (телекс, телефакс, «электронная почта» и др.);
- адаптивность: система обладает свойством перенастройки ресурсов системы под потребности пользователей в зависимости от интенсивности трафика;
- пользовательская доступность: реализация широкого класса дешевых малогабаритных ЗС и терминальных устройств, обеспечивающих широкий круг потребностей различных пользователей;

- простота использования: полная автоматизация процесса связи в реальном времени, простота и доступность услуг пользователю любой квалификации.

Отличительными особенностями ССС «Иридиум» являются: использование межспутниковых каналов связи (МКС) и спутниковых ретрансляторов (СР) со сложной обработкой сигналов. При этом в ССС «Иридиум» обеспечивается возможность соединения абонентов системы без участия наземных линий связи. Однако для достижения независимости системы «Иридиум» от наземных сетей приходится использовать достаточно сложные и дорогие ИСЗ. Принципы управления связью в ССС «Иридиум» используются те же, что и в сотовых системах радиосвязи.

Однако в отличие от наземных сотовых систем, где базовые станции связи устанавливаются стационарно, а абоненты подвижны относительно базовой станции, в системе «Иридиум» подвижна сама базовая станция, установленная на ИСЗ, и подвижны проектируемые антеннами ИСЗ на землю ячейки зоны обслуживания относительно стационарных или малоподвижных абонентов системы.

Связь с подвижным абонентом осуществляется в диапазоне подвижной спутниковой службы (ПСС), а со шлюзовыми станциями, осуществляющими сопряжение с коммутируемой сетью общего пользования, — в диапазоне фиксированной спутниковой службы (ФСС).

Связь в направлениях Земля-Космос и Космос-Земля обеспечивается в L-диапазоне в полосе 1616...1626,5 МГц, однако если линия Земля-Космос будет работать на первичной основе, то линия Космос-Земля — на вторичной.

Фидерные линии, обеспечивающие связь между спутником и станциями сопряжения сети, а также станциями управления, будут работать в K_a-диапазоне ФСС в полосах частот 19,4...19,6 ГГц на линии Космос-Земля и 29,1...29,3 ГГц на линии Земля-Космос.

Для маршрутизации вызовов предусмотрена межспутниковая связь, которая также будет осуществляться в K_a-диапазоне в полосе 23,18...23,38 ГГц, специально выделенной для межспутниковых связей.

Скорость передачи речевых сообщений — 4800 бит/с.

Наряду с телефонной связью «Иридиум» способен обеспечить передачу данных и факсимильных сообщений между любыми точками планеты. Для этого абонентам системы достаточно оборудовать речевой терминал модемом. Скорость передачи данных — 7400 бит/с.

Кроме того, система обеспечивает передачу сообщений о координатах абонента, определяемых как средствами речевой связи, так и специальными абонентскими устройствами радиоопределения.

Пропускная способность системы «Иридиум» составит 56000 дуплексных телефонных каналов.

Система «Иридиум», структура которой приведена на рис. 3.7, включает четыре сегмента:

- космический сегмент;
- сегмент управления, состоящий из центра управления системы (ЦУС), включающего в себя вычислительный центр (ВЦ) и станцию управления (СУ);

- шлюзовые земные станции (ШС), осуществляющие быструю и эффективную связь ССС с телефонными сетями общего пользования (ТФОП).

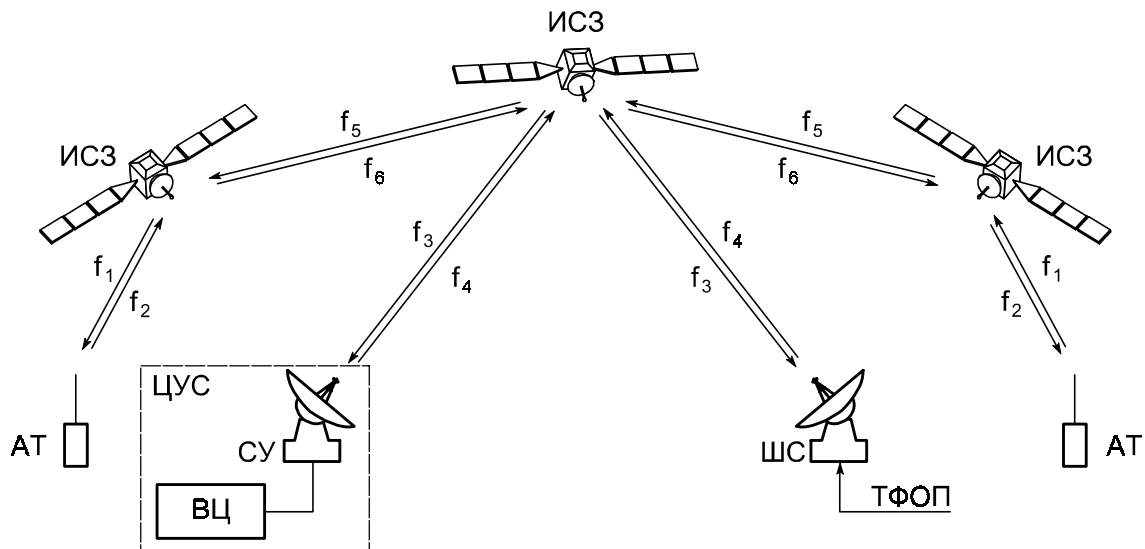


Рис. 3.7.

Космический комплекс «Иридиум» состоит из 66 космических аппаратов (КА), размещенных на круговых приполярных орбитах с наклоном 86 град. и высотой 780 км. Спутники размещаются в 6 орбитальных плоскостях, в каждой из которых одновременно находятся 11 ИСЗ. Угловое расстояние между соседними орбитальными плоскостями составляет 31,6 град., за исключением 1 и 6 плоскостей, угловой разнос между которыми составляет около 22 град.

Каждый спутник имеет вес до 450 кг и содержит по три СР, предназначенных для реализации пользовательского (абонентского) канала, канала управления и сопряжения и канала межспутниковой связи.

Каждый из ИСЗ имеет по три комплекта антенн:

- основного назначения;
- перекрестной межспутниковой связи;
- управляющего канала.

Антенны основного назначения служат для связи с абонентскими устройствами. В комплект антенн основного назначения спутника включены семь антенн с фазированными решетками, каждая из которых содержит набор локальных модулей приема и передачи. Шесть идентичных антенн образуют тело спутника в форме шестиугольного цилиндра, а седьмая, размещаемая в его нижней части, принимает сигналы по единичному лучу и излучает сигналы от спутника.

Связь с Землей осуществляется через точно сфокусированные антенные лучи. Зона, засвечиваемая единичным лучом антенны, представляется как ячейка. Лучи антенны облучают комбинированную зону обслуживания, образованную одинаковыми по размерам ячейками, сконцентрированными вокруг центральной ячейки. Один спутник обеспечивает зону обслуживания диаметром 4000 км.

Ячейка, формируемая антенным лучом спутника «Иридиум», будет перемещаться относительно земных устройств со скоростью до 7400 м/с, а абоненты при этом кажутся относительно неподвижными независимо от степени их мобильности.

Антенны перекрестной межспутниковой связи предназначены для связи в пределах спутникового созвездия системы «Иридиум». На каждом спутнике установлены четыре антенны перекрестной межспутниковой связи, направленные в продольной и поперечной плоскостях, соответственно для связи с двумя смежными спутниками и двумя на соседних орбитах.

Использование межспутниковых каналов связи обеспечивает системе «Иридиум» следующие преимущества:

- система не будет нуждаться непрерывно в наличии шлюзовых станций (ШС) в пределах видимости каждого спутника;
- спутники созвездия могут организовать связь с использованием ТФОП и выходить на них через ближайшие ШС;
- система получит возможность организации обходных маршрутов для связи, если потерпит неудачу при установлении соединения на какой-либо ШС или в случае занятости ТФОП;
- центр управления системой (ЦУС) сможет осуществлять контроль и управлять всем созвездием системы, передавая команды и установки о статусе или принимая информацию о состоянии любого спутника через промежуточные межспутниковые каналы.

Антенны управляющего канала обеспечивают связь со станцией управления ЦУС и шлюзовыми станциями. Каждый спутник одновременно может обслужить до четырех шлюзовых станций (ШС).

Сегмент управления предназначен для обеспечения мониторинга и отображения состояния системы, а также для контроля и управления коммуникационной сетью «Иридиум» и отдельных спутников в созвездии. В его состав входят основной и дублирующий ЦУС.

К числу основных задач, решаемых ЦУС относятся:

- оценка работоспособности и состояния каждого спутника созвездия;
- разработка и распределение маршрутных таблиц пользователей для сети спутников, шлюзовых станций по основным направлениям трафика сети, управление образованием ячеек спутниковыми антеннами основного назначения;
- поддержка работы сегмента управления, а при перераспределении функций управления на шлюзовые станции — контроль потока информации и данных между основным и дублирующим ЦУС.

Станция управления сегмента содержит параболическую антенну, отслеживающую траекторию спутника, находящегося в зоне радиовидимости, и поддерживает связь со спутниками через канал управления на основе обмена передачами, включающими в себя до пяти телеметрических сообщений и команд между ЦУС и спутниками созвездия. Управляющие сообщения могут направляться к нужному спутнику или ШС через сеть межспутниковых каналов созвездия.

В системе «Иридиум» должно использоваться как минимум две станции управления, поскольку сегмент управления должен организовать коммуникационные каналы с «восходящим» спутником до перерыва связи с «заходящим» спутником.

С целью обеспечения нормального функционирования системы в различных ситуациях — при неудачной работе или авариях земных станций и даже при катастрофических отказах каких-либо звеньев земного или космического сегмента, скажем, из-за нарушений некоторых межспутниковых каналов сети созвездия, отсутствия по тем или иным причинам спутника на своей «рабочей» орбите и т.д., в ССС «Иридиум» предусмотрено использование около десяти станций управления, рассредоточенных по различным континентам.

Сегмент шлюзовых станций (ШС) осуществляет связь созвездия спутников «Иридиум» с национальными, региональными или местными телефонными сетями общего пользования. В его задачи входят предоставление сервисных услуг пользователям и выполнение функций, задаваемых с помощью клавиатуры абонентского устройства. В состав ШС входит земная станция, подобная станции управления ЦУС с контроллером сопряжения, обеспечивающим соединения ИСЗ с ТФОП.

Чтобы управлять функциями, задаваемыми с абонентского устройства, каждая ШС должна иметь базу данных об абонентах, быть способной выполнить процедуру подтверждения принадлежности абонента к системе и вести абонентские счета на услуги связи.

Абонентские терминалы (АТ) представляют собой

- 1) портативные и мобильные средства;
- 2) телефонные будки с питающими солнечными батареями;
- 3) специализированное авиационное и морское пользовательское оборудование;
- 4) алфавитно-цифровые радиовызывные устройства, с помощью которых система «Иридиум» будет обеспечивать своих пользователей по крайней мере одной из следующих услуг: телефонная и факсимильная связь, передача цифровых данных, передача информации о местонахождении.

Для поддержки все расширяющегося рынка средств передачи данных и факсимильных сообщений в абонентских устройствах системы «Иридиум» предусмотрены порты ввода для подключения компьютера или факс-аппарата. Такое абонентское устройство будет иметь еще и внешний модем, который позволит автоматически принимать и запоминать факсимильный массив, пока пользователь готовится к его распечатке.

Учитывая конъюнктуру рынка вызывных устройств, фирма «Моторола» (США) планирует начать выпуск компактных и легких устройств глобального радиовызова для системы «Иридиум». При этом устройство глобального вызова будет иметь несколько увеличенные размеры по сравнению с алфавитно-цифровыми вызывными устройствами из-за расширения зоны действия. Основные характеристики портативных АТ системы «Иридиум» приведены в табл. 3.2.

Абонентский терминал устанавливает связь с одним из ИСЗ, находящимся в зоне радиовидимости.

Антенная система каждого ИСЗ формирует 48 узких лучей в L-диапазоне. Использование 66 ИСЗ обеспечивает глобальное покрытие Земли с помощью приблизитель-

но 2100 активных лучей из 3168 их общего количества. Следует учитывать тот факт, что не все лучи активны, поскольку соседние ИСЗ могут формировать сильно перекрывающиеся зоны, которые должны обслуживаться только одним ИСЗ.

В системе применяется многократное использование частот. Необходимая развязка обеспечивается за счет пространственного разнесения лучей. Повторное использование частоты допускается в каждом седьмом луче.

Пропускная способность каждого спутника в L-диапазоне составляет 3840 каналов. Имеющиеся возможности по перераспределению емкости между лучами на одном ИСЗ позволяют передавать в одном активном луче от 4 до 960 каналов. Сигналы в L-диапазоне передаются методом четырехпозиционной ФМ при использовании техники многостанционного доступа с комбинированным временным и частотным разделением. Частотный доступ реализуется путем разделения всей выделенной полосы частот шириной 10,5 МГц на 250 частотных полос, шириной 41,67 кГц каждая, в которой может передаваться отдельная несущая со скоростью 50 Кбит/с. Временной доступ реализуется путем уплотнения по времени каждой несущей четырьмя каналами со скоростью 4,8 Кбит/с (суммарная скорость передачи данных на каждой несущей составляет 50 Кбит/с). При этом в одном временном кадре передаются сигналы как линии «вверх», так и линии «вниз». Длительность кадра МДВР — 90 мс, длительность субкадра для передачи одного канала — 8,28 мс. Требуемое отношение энергии сигнала к спектральной плотности шума в абонентском канале L-диапазона составляет 6,1 дБ. Вероятность ошибки в наихудшем случае при неблагоприятном расположении абонента относительно обслуживающего его спутника составляет 10^{-2} , средняя величина вероятности ошибки составляет $10^{-4} \dots 10^{-5}$.

Таблица 3.2

Технические характеристики	АТ (портативный)
Диапазон частот, МГц	1616...1626,5
Скорость передачи, Кбит/с	
– речь	4,8
– данные	2,4
Мощность передатчика, Вт	0,6
ЭИИМ, дБ·Вт	1,4
Добротность G/T , дБ/К	-23,8
Доступ абонентов	ЧРК/ВРК, ПКТ
Вид модуляции	ФМ-4
Вероятность ошибки на бит	$10^{-4} \dots 10^{-5}$
АФУ	штырь длиной 8 см
Ввод-вывод информации	ПК типа IBM PC-AT, RS 232

Масса, кг	0,65
Питание	Аккумуляторные батареи или сеть переменного тока

Сигналы в K_a диапазоне на линии между спутником и станцией сопряжения передаются, как и в L-диапазоне, методом четырехпозиционной ФМ при использовании техники многостанционного доступа с комбинированным временным и частотным разделением. Частотный доступ реализуется разделением всей выделенной полосы частот шириной 200 МГц на 12 частотных полос шириной 15 МГц каждая с отдельной несущей и скоростью передачи данных 6,25 Мбит/с. Передача осуществляется с кодированием со скоростью 1/2, т.е. скорость передачи информации составляет 3,125 Мбит/с. Каждый спутник одновременно может передавать две несущие общей пропускной способностью около 3000 каналов. Требуемое отношение энергии сигнала к спектральной плотности шума в фидерной линии K_a -диапазона составляет 7,9 дБ, вероятность ошибки 10^{-7} .

Межспутниковые каналы связи каждого ИСЗ организуются с четырьмя соседними спутниками, два из которых расположены в той же орбитальной плоскости, а два других — в соседних орбитальных плоскостях. Сигналы в K_a -диапазоне на межспутниковых линиях передаются методом четырехпозиционной ФМ со скоростью 25 Мбит/с. Вся выделенная полоса шириной 200 МГц делится на 8 частотных полос шириной 25 МГц каждая. В каждой из этих частотных полос может передаваться отдельная несущая. Передача осуществляется с кодированием со скоростью 1/2, т.е. скорость передачи информации составляет 12,5 Мбит/с. Спутник одновременно может передавать четыре несущие, по одной на каждый из соседних ИСЗ, с общей пропускной способностью около 6000 каналов. Требуемое отношение энергии сигнала к спектральной плотности шума в межспутниковой линии K_a -диапазона составляет 7,9 дБ, вероятность ошибки 10^{-7} .

«Иридиум» подавляющее число соединений устанавливает с использованием межспутниковых каналов связи, если только абоненты не находятся в зоне, обслуживаемой одним лучом. Поэтому для соединения с наземными средствами связи планируется иметь всего несколько десятков ШС. Каждая станция может обслуживать много стран или даже целый материк. В России планируется установить две ШС. Такое построение системы может приводить к неоправданному увеличению длины используемых наземных линий связи и к соответствующему увеличению стоимости соединения.

На спутнике «Иридиум» производится сложная обработка сигналов, заключающаяся в разделении поступающих уплотненных сигналов на отдельные цифровые последовательности и последующее их объединение в соответствии с требуемой адресацией в высокоскоростной цифровой поток для передачи по межспутниковому каналу и радиолинии КС-ШС.

Абонент системы «Иридиум» имеет индивидуальный номер, который сохраняется за ним вне зависимости от его места нахождения. Информация о местонахождении абонента всегда содержится в памяти ШС, к которой приписан абонент. Для обновления информации о местонахождении абоненту достаточно воспользоваться своим

терминалом. При организации связи ССС «Иридиум» автоматически регистрирует и координаты абонента.

В России планируется создать наземный сегмент системы «Иридиум», включающий в себя 2 ШС, обеспечивающий услугами глобальной спутниковой связи до 300000 абонентов как на основе использования портативных АТ, так и через ТФОП.

3.3. Глобальная система спутниковой связи «Глобалстар»

ССС «Глобалстар», разрабатываемая рядом фирм США и Западной Европы (Квалком, Алкатель и др.), так же, как и ССС «Иридиум», предназначена для организации глобальной радиосвязи с использованием абонентских терминалов типа «трубка в руке». Однако в отличие от ССС «Иридиум» ССС «Глобалстар» не претендует на автономность от наземных телекоммуникационных сетей. Система «Глобалстар» должна дополнять наземные сотовые сети в регионах с развитой инфраструктурой связи, а также автономно предоставлять услуги связи в малонаселенных и труднодоступных районах во всем мире. Сопряжение системы «Глобалстар» с ТФОП будет осуществляться через ШС.

Связь через систему «Глобалстар» будет осуществляться только в тех случаях, когда доступ к ТФОП невозможен или затруднен.

Система «Глобалстар», обеспечивая одинаковый с системой «Иридиум» перечень услуг и качество связи, имеет вместе с тем более высокие экономические показатели.

С целью повышения экономической эффективности при построении системы «Глобалстар» используются принципы, позволяющие существенно снизить затраты на разработку и эксплуатацию космического сегмента, а именно/12, 14/:

- снижено количество ИСЗ, используемых в созвездии;
- упрощена бортовая аппаратура за счет отказа в использовании СР с обработкой сигналов, межспутниковых каналов связи и уменьшения количества лучей в антенной системе СР.

Другими отличительными особенностями системы «Глобалстар» являются использование многостанционного доступа с кодовым разделением сигналов (МДКР) и повышение скорости передачи данных до 9,6 Кбит/с. При этом благодаря использованию широкополосных шумоподобных сигналов (ШПС) в системе «Глобалстар» успешно решаются такие проблемы, как борьба с замираниями за счет многолучевого распространения радиоволн, электромагнитной совместимости и повышения помехоустойчивости.

Связь с подвижным абонентом в системе «Глобалстар» осуществляется в двух частотных диапазонах, выделяемых для ССС ПО, а именно:

- в L-диапазоне в полосе 1610...1626,5 МГц на линии «Земля-Космос»;
- в S-диапазоне в полосе 2483,5...2500 МГц на линии «Космос-Земля».

Фидерные линии, обеспечивающие связь между ИСЗ и ШС, будут работать в диапазоне фиксированной спутниковой службы, а именно:

- в C-диапазоне в полосе 5025...5225 МГц на линии «Земля-Космос»;
- в C-диапазоне в полосе 6875...7075 МГц на линии «Космос-Земля».

Скорость передачи речевых сообщений — 4,8 Кбит/с.

При использовании в системе «Глобалстар» созвездия из 48 ИСЗ пропускная способность составит 65000 дуплексных телефонных каналов.

Система «Глобалстар», структура которой приведена на рис. 3.8, по своему составу сходна с системой «Иридиум». Отличие их состоит в том, что в системе «Глобалстар» отсутствуют межспутниковые каналы связи, что приводит к необходимости увеличения количества и усложнению ШС /15/.

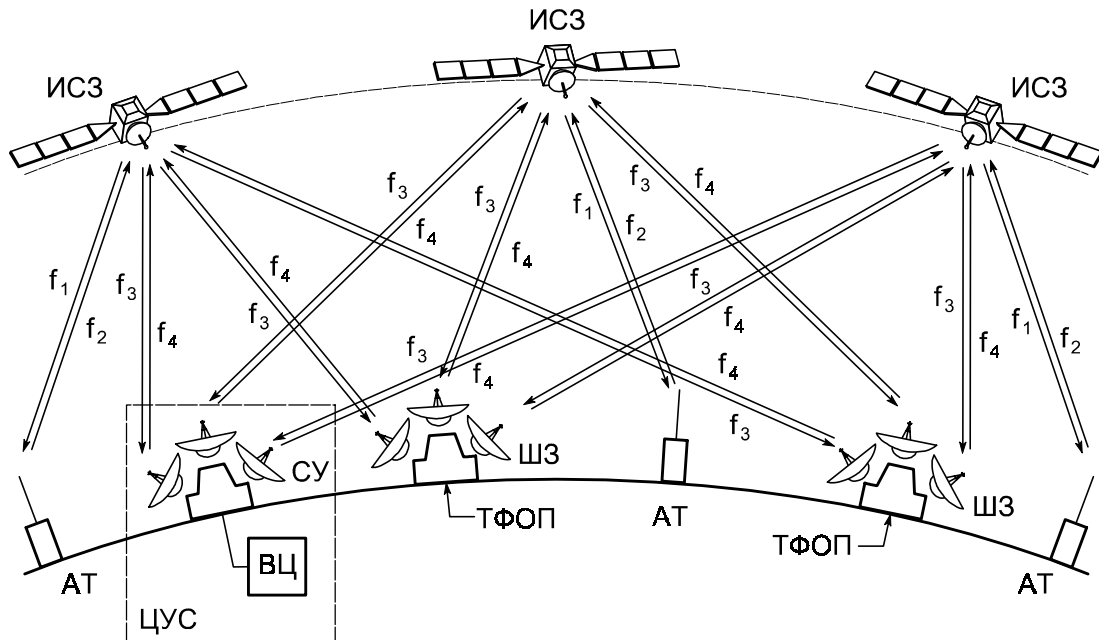


Рис. 3.8.

Космический сегмент состоит из 48 спутников, обращающихся по круговым орбитам на высоте 1410 км над поверхностью Земли. Их орбиты находятся в восьми плоскостях с наклоном 52 град., в каждой из которых равномерно расположены шесть спутников. Вес одного ИСЗ составляет порядка 450 кг. На спутнике помещены два СР, работающие в полосах частот: в направлении от абонента к спутнику — 1610...1626,5 МГц (полоса L), от спутника к шлюзовой станции — 5185,5...5350 МГц (полоса фидерной линии); в направлении от шлюзовой станции к спутнику — 6484...6675,5 МГц (полоса фидерной линии), от спутника к абоненту — 2483,5...2500 МГц (полоса S).

Приемная и передающая антенны спутника в полосах L- и S-многолучевые АФАР, состоящие из 61 элемента в полосе L и 91 элемента в полосе S. 16 лучей конгруэнтных друг другу диаграмм направленности (ДН) образуют на поверхности Земли зону обслуживания диаметром 5760 км (рис. 3.9). Сигналы во всех лучах имеют одинаковые частоты, и каждый из них занимает всю отведенную системе полосу шириной 16,5 МГц. В СР сигналы каждой пары лучей преобразуются по частоте и занимают восемь отдельных полос шириной по 16,5 МГц в полосе частот фидерных линий при ортогональной поляризации. Поэтому сигналы, принимаемые и передаваемые ШС, при ортогональной поляризации занимают (с учетом защитных полос) две полосы шириной

по 191,5 МГц. Приемная и передающая антенны спутника в полосах частот фидерных линий имеют ДН с глобальным охватом.

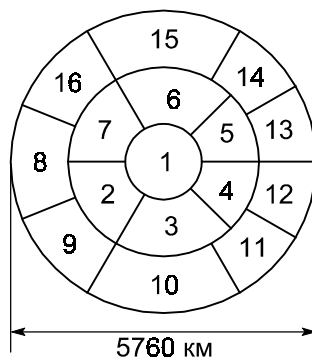


Рис. 3.9.

Земной сегмент системы состоит из большого числа ШС (порядка 200), включенных в общие коммутируемые станции наземных сетей связи, и абонентских терминалов. ШС имеет четыре параболические антенны диаметром 3,4 м с программным наведением: три антенны сопровождают три спутника в зоне обслуживания, а четвертая готовится сопровождать новый, появляющийся на горизонте спутник. Абонентские терминалы (АТ) могут быть трех типов:

- 1) портативные переносные;
- 2) перевозимые автомобильные, аналогичные автомобильным станциям наземных сотовых сетей;
- 3) стационарные.

Первые два типа имеют ненаправленные антенны, антенны стационарных АТ немного сложнее. Основные характеристики ШС и АС приведены в табл. 3.3.

В состав земного сегмента входят также центры управления системой (ЦУС), планирующие режимы для каждой ШС и управляющие ресурсом спутников, их орбитами и обеспечивающие телеметрию и передачу команд на спутник в полосах частот фидерных линий.

На линии связи от АТ к СР используется диапазон частот 1,61...1,6265 ГГц с выделенной полосой $\Delta F_{\text{Аб-СР}}=16,5$ МГц, который разбивается на 13 поддиапазонов, каждый равный ширине спектра ШПС абонента $F_{\text{Аб}}=1,23$ МГц. Для приема сигналов от абонентов приемная антенна СР имеет 16 лучей с полосой пропускания в каждом из них $\Delta F_{\text{л}}=\Delta F_{\text{Аб-СР}}$ и одинаковыми ДН, имеющими ширину по половинной мощности около $\theta=20$ град. В результате на поверхности Земли под одним лучом образуется зона обслуживания диаметром около 1150 км.

На СР принятые сигналы лучей группируются попарно, т.е. по два сигнала с ортогональными направлениями поляризации. Затем на выходе антенны выделяются сигналы правого или левого направлений поляризации. В частности, принятые на СР сигналы лучей с номерами 9, 11, 13, 15, 8, 3, 7, 5 приобретают правую поляризацию, а с номерами 12, 14, 16, 10, 1, 6, 4, 2 — левую. Каждая такая пара сигналов (например, 9 и 12) при однократном преобразовании частоты в диапазон 7 ГГц переносится в одну и ту же выделенную полосу $\Delta F_{\text{Аб-СР}}=16,5$ МГц. Таким образом, требуемая полоса час-

тот для группового ШПС СР в диапазоне 7 ГГц будет в 8 раз больше $\Delta F_{\text{Аб-СР}}$, что с учетом защитных и служебных полос частот составит приблизительно $\Delta F_{\text{аа}}=200$ МГц. На СР имеется также передающая антенна диапазона 7 ГГц, с помощью которой охватывается территория диаметром $\bar{A}_{\text{аа}}=6000$ км. Эта антенна передает групповой сигнал СР в направлении ШС.

Таблица 3.3

Технические характеристики	АТ	ШС
Диапазон частот, МГц – линия «Земля-Космос» – линия «Космос-Земля»	$f_1 \in 1616 \dots 1626,5$ $f_2 \in 2483,5 \dots 2500$	$f_3 \in 6875 \dots 7055$ $f_4 \in 5091 \dots 5250$
Скорость передачи, Кбит/с – речь – данные	1,2...9,6 1,2...9,6	
Мощность передатчика, Вт	2	400
ЭИИМ, дБ·Вт	2...8	32,2...44,2
Добротность G/T , дБ/К	-21,7...-23,7	14,6
Доступ абонентов	МДКР	МДКР
Вид модуляции	ФМ-4	ФМ-4
Вероятность ошибки на бит	10^{-4}	10^{-6}
Коэффициент усиления АФУ, дБ	1...4	43
Полоса одного канала, МГц	1,23	16,5
Масса, кг	0,6/2	
Питание	Аккумуляторные батареи или сеть переменного тока	Сеть переменного тока

В ШС осуществляются полная обработка принимаемых от абонентов ШПС и перераспределение потоков передаваемой информации по частотным поддиапазнам в зависимости от местоположения абонента, принимающего информацию, причем групповой сигнал ШС, излучаемый в направлении СР, переносится в диапазон частот $f_{\text{ШС-СР}}=5$ ГГц, где занимает полосу $\Delta F_{\text{аа}}=200$ МГц. В этом случае сохраняются такие же, как и сформированные на СР, пары сигналов с ортогональной поляризацией, занимающие общую полосу частот и предназначенные для излучения в двух различных лучах антенной СР. Передающие антенны ШС ретранслируют информацию для каждого абонента одновременно через один, два, три или даже четыре СР в зависимости от их числа в зоне прямой видимости ШС и АТ, в результате чего в каждой ШС формируется по три или четыре дублирующих результирующих сигнала, каждый из кото-

рых имеет одну и ту же ширину спектра $F_{\text{эд}}=200$ МГц, но передается отдельной узконаправленной антенной ШС через разные СР.

На каждом СР с помощью 16-лучевой приемной антенны частотное разделение сигналов преобразуется в пространственное разделение.

Абонентский приемопередатчик принимает сигналы от всех СР, попадающих в зону его прямой видимости. Поскольку период обращения СР равен 114 мин, то каждый АТ попадает в зону видимости одного либо одновременно двух, трех и даже четырех СР в зависимости от географического положения абонента и времени суток. При первом включении АТ происходит его синхронизация по синхросигналу ШС, заключающаяся в обнаружении последнего и последующем слежении за его частотой и временем задержки. Этот этап синхронизации аппаратуры АТ называется первичной синхронизацией. По его завершении начинается этап установления синхронности функционирования всех устройств формирования и обработки ШПС данного АТ с аналогичными устройствами на ШС и остальных АТ, уже вошедших в синхронизм.

Процедура синхронизации АТ завершается, когда АТ принимает ответное сообщение от ШС. После этого в ШС происходит процесс регистрации и аутентификации вызывающего и вызываемого АТ, заключающийся в их идентификации, установлении местоположения, определении статуса, типа и т.д. Далее, для осуществления дуплексной связи абонентов ШС назначает им номер частотного канала, параметры кодирующей псевдослучайной последовательности, начальную скорость передачи информации и т.д.

В режиме дуплексной связи между двумя АТ (одновременно с ретрансляцией информации от абонента к абоненту) ШС передает служебные команды регулирования излучаемых мощностей АТ и скоростей передачи информации, временного смещения синхросигнала, а также команды для регулирования смещения синхросигнала по частоте и времени при переходе АТ в зону обслуживания соседних лучей антенны СР или лучей антенны другого СР и т.д. Функции управления параметрами синхросигнала реализуются одновременно с передачей информации от абонента к абоненту с помощью специального сигнала, а функции управления мощностью — во время пауз, организуемых в процессе передачи информации.

Интервал между первым включением АТ до установления дуплексной связи с вызываемым абонентом составляет около 50 с, из которых более 48 с используется для первичной синхронизации АТ по синхросигналу ШС и синхронизации ШС по синхросигналу АТ. Если же синхронизация АТ с ШС устанавливается заранее, то для соединения с вызываемым абонентом требуется менее 2 с.

В речевом канале трафика применен вокодер с переменной скоростью передачи, средняя скорость 2,4 Кбит/с. Вокодер преобразует речевой сигнал в поток сигналов ИКМ, который кодируется сверточным кодом, а на приемной стороне декодируется по алгоритму Витерби.

Система может также обеспечить асинхронную передачу данных со скоростью до 4,8 Кбит/с. Доплеровский сдвиг частот на абонентских и шлюзовых станциях компенсируется под управлением ШС. Кроме каналов трафика в системе организуются: пилотный канал, канал синхронизации (со скоростью 1200 бит/с) и канал поискового вызова. Для борьбы с замираниями сигналов применяется регулировка мощности передачи под управлением ШС.

В России планируется создать наземный сегмент системы «Глобалстар», включающий в себя девять ШС, обеспечивающий услугами глобальной спутниковой связи до 260000 абонентов как на основе использования портативных АТ, так и через ТФОП.

3.4. Система подвижной спутниковой связи «Полярная звезда»

Система «Полярная звезда», разрабатываемая рядом российских фирм (РКК, «Энергия», АО «Ростелеком», АО «Газком»), предназначена для обеспечения персональной, мобильной и фиксированной связи на всей территории РФ.

По назначению и перечню предоставляемых услуг связи система «Полярная звезда» сходна с системой «Глобалстар», поскольку они имеют одинаковые принципы построения.

Необходимость в создании системы «Полярная звезда» обусловлена тем обстоятельством, что в системе «Глобалстар» структура и параметры космического сегмента оптимизированы для качественного обслуживания территории США (кроме Аляски), а в пределах территории РФ не обеспечивают качественного обслуживания выше 70 град. северной широты и не гарантируют устойчивой связи при чрезвычайных обстоятельствах.

Отличительной особенностью системы «Полярная звезда» является использование ИСЗ на высокоэллиптической орбите (ВЭО), что позволяет существенно уменьшить количество ИСЗ в созвездии и повысить экономическую эффективность системы /16/. Для качественного обслуживания территории РФ, в том числе и северных территорий, ИСЗ с ВЭО должен обладать характеристиками, соответствующими ИСЗ «Молния», а именно: периодом обращения 12 часов, наклоном плоскости орбиты 63,4 град., высотой апогея порядка 40000 км и высотой перигея 500 км. При этом за счет замедления движения ИСЗ в области апогея обслуживание всей территории РФ одним ИСЗ возможно в течение 6...8 часов.

При создании ССС «Полярная звезда» будут использованы технологии, разработанные для ССС «Глобалстар» — спутниковый ретранслятор, шлюзовые станции, абонентские терминалы, а также космические станции и средства выведения фиксированной системы спутниковой связи «Ямал» и вновь созданные фазированные многолучевые антенные системы для L- и S-диапазонов. Использование разработанных технологий уменьшит риск и стоимость реализации проекта «Полярная звезда», позволит значительно снизить массогабаритные характеристики, энергопотребление и стоимость абонентских станций при оборудовании ими самолетов-салонов, фирменных поездов, речных и морских судов, а также различных типов автомобилей.

ССС «Полярная звезда» дополнит российский сегмент ССС «Глобалстар» и может стать системой межведомственного, так называемого «двойного», использования, предоставляя свои услуги пользователям различных отраслей промышленности, населению, а также при создании ведомственных виртуальных сетей.

Структура ССС «Полярная звезда» состоит из космического и наземного сегментов. Космический сегмент включает в себя четыре ИСЗ на ВЭО типа «Молния», средства выведения и центр управления системой. Четыре ИСЗ, сменяя поочередно друг друга в зоне радиовидимости, смогут обеспечить непрерывное покрытие обслуживаемых территорий Земного шара, формируя при этом две пересекающиеся на Северном по-

люсе зоны обслуживания: одну в северной части Восточного полушария (Россия, страны СНГ и Западной Европы), вторую в северной части Западного полушария (США, Канада и др.).

Для формирования устойчивой связи через АТ на борту ИСЗ предлагается установить многолучевые антенны (МЛА) L- и S-диапазонов с 37 региональными лучами, а для организации фидерных линий в С-диапазоне — использовать однолучевую антенну, охватывающую подспутниковую зону обслуживания.

На борту ИСЗ системы планируется установить СР, аналогичные ССС «Глобалстар». Основные параметры СР для абонентской и фидерной линий приведены в табл. 3.4.

ШС предназначены для организации фидерной линии, обеспечивающей передачу информационных сигналов и сигналов служебного канала управления ресурсами сети ССС.

Работа системы «Полярная звезда» основывается на использовании ШПС, частотно-пространственном и кодовом разделении сигналов (каналов), включая организацию служебных каналов для управления системой связи. Суммарная пропускная способность ССС одной зоны (четного или нечетного витка ИСЗ) составляет при обслуживании только персональных портативных (ПТ) и автомобильных АТ порядка 1 тыс. каналов; при обслуживании АТ фиксированной связи в стационарных условиях (СТ) и АТ, установленных на больших подвижных объектах с повышенными энергетическими характеристиками, — порядка 8 тыс. каналов, что соответствует возможности обслуживания в РФ до 480000 абонентов. Основные параметры АТ приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.4

Технические характеристики	АТ	ШС
Полоса частот, ГГц	1,6/2,5	5/7
Диапазон частот, МГц – линия «Земля-Космос» – линия «Космос-Земля»	1610...1618,25 2483,5...2491,75	5095...5250 6900...7055
Ширина используемой полосы, МГц	8,25/8,25	155/155
Общий частотный ресурс с учетом повторного использования частот, МГц	264,0/264,0	310/310
Тип луча	Региональный	Полуглобальный
Количество лучей, шт.	37 (активных 32)	1
Ширина лучей антенн, °	2×2	14×14
ЭИИМ борта на один канал, дБВт: – С-диапазона – S-диапазона для ПТ	— 23,8	–7...–5,5 —

– S-диапазона для СТ	23,8	—
Количество стволов, шт.	32 по 8,25 МГц	2 по 155 МГц
Пропускная способность РТР, число каналов	1000 — при использ. ПТ или 8000 — при использ. СТ	

Таблица 3.5

Параметр	Значение параметра
Скорость передачи в канале, Мбит/с	
– ТЛФ: адаптивно регулир. в пределах	1,2...9,6
– среднее значение	2,7
– передача данных	4,8
ЭИИМ АТ всех типов, дБВТ	-6/+4
Добротность ПТ, дБ/К	-24,6
Добротность СТ, дБ/К	+2,6
Добротность ШС, дБ/К	+27,5
Требуемое значение С/Ш (дБ) для телефонной связи на входе:	
– ПТ	≥3,9
– СТ	≥3,1
– ШС	≥5,0

3.5. Система подвижной спутниковой связи «Одиссей»

Система «Одиссей», разрабатываемая компанией TRW (США), предназначена для обеспечения персональной, мобильной и фиксированной связи 9 регионов:

- 1) Австралии и Океании;
- 2) Центральной Америки;
- 3) Южной Америки;
- 4) Северной Америки;
- 5) Азии;
- 6) Европы;
- 7) Северной Африки;
- 8) Южной Африки;
- 9) Тихого океана, включая Гавайи.

По назначению, принципам построения и перечню предоставляемых услуг система «Одиссей» сходна с системой «Глобалстар».

Целесообразность создания системы «Одиссей» обусловлена тем, что при ее реализации с целью повышения экономической эффективности по сравнению с системой «Иридиум» уменьшается количество используемых в созвездии ИСЗ и исключаются

межспутниковые каналы связи, а по сравнению с системой «Глобалстар» уменьшается количество используемых в созвездии ИСЗ и количество шлюзовых станций.

Отличительной особенностью системы «Одиссей» является использование «тяжелых» ИСЗ на круговой орбите со средней высотой, что позволяет увеличить зону обслуживания, приходящуюся на один ИСЗ и, следовательно, уменьшить необходимое количество ИСЗ /7/.

Связь с подвижными абонентами в системе «Одиссей» осуществляется в частотных диапазонах L и S в тех же частотных полосах, что и в системе «Глобалстар».

Фидерные линии в системе «Одиссей» должны функционировать в K_a -диапазоне как на линии «Земля-Космос», так и на линии «Космос-Земля». Пропускная способность системы «Одиссей» составляет порядка 46000 каналов. Зона обслуживания системой «Одиссей» расположена в пределах от 65 град. южной широты до 75 град. северной широты.

Система «Одиссей» имеет структуру и принципы организации связи, аналогичные системе «Глобалстар». Космический сегмент системы «Одиссей» включает в себя 12 ИСЗ, каждый весом 1134 кг. По четыре ИСЗ размещены на трех круговых орбитах высотой 10354 км с наклоном 55 град., что обеспечивает двойное покрытие зоны обслуживания при углах места не менее 30 град. в 95% случаев.

В системе «Одиссей» антенна каждого ИСЗ формирует многолучевую диаграмму направленности, которая разбивает зону покрытия на примыкающие друг к другу ячейки. Это позволяет лучше согласовать зону покрытия с поверхностью суши и улучшить использование частотного спектра за счет повторного назначения несущих частот в разных ячейках.

Трафик через восходящий спутник-ретранслятор возрастает, а через заходящий — убывает в соответствии с возрастанием и убыванием количества абонентов в данной зоне обслуживания. При смене заходящего спутника восходящим трафик района передается другому спутнику, обслуживающему этот же район. Обычно продолжительность вызова и обмена составляет в сотовой сети 2–3 минуты, т.е. при двухчасовой зоне видимости подавляющее число вызовов будет обслужено одним ИСЗ и лишь небольшое количество потребует процедуры смены ИСЗ.

СР имеют 19-канальную архитектуру для прямой и обратной линии связи. В обратной линии связи каждый из 19 приемных лучей состоит из малошумящего усилителя; повышающего преобразователя частоты, осуществляющего перенос в K_a -диапазон. После переноса в K_a -диапазон сигналы поступают на усилитель мощности или ЛБВ и передаются в направлении на ШС. Прямая линия связи дуальна по отношению к обратной линии связи. Сигналы K_a -диапазона будут приниматься от ШС, их частота будет понижаться, они будут фильтроваться, усиливаться и подводиться к антенне L-диапазона. Каждый канал передачи будет снабжен усилителем мощности с двумя уровнями выходной мощности (17,5 Вт или 35 Вт), работающим в режиме насыщения (для увеличения КПД).

Платформа космического аппарата будет создаваться на основе ИСЗ FLTSATCOM, обеспечивающего связь между морскими объектами ВМС США. Зеркало антенны L-диапазона будет иметь диаметр 2,5 м, зеркало антенны S-диапазона — 1,6 м. Две антенны K_a -диапазона будут устанавливаться на поворачивающихся подвесах, закрепленных на панели ИСЗ, обращенной к земле.

Так как спутники системы «Одиссей» будут находиться на орбитах средней высоты (МEO), то они будут подвергаться воздействию свободных электронов и протонов пояса Ван-Аллена.

Однако исследования, проведенные компанией TRW, показали, что спутники могут выдерживать солнечную радиацию более 10 лет. При этом будет происходить некоторое ухудшение параметров солнечных батарей; электронное оборудование будет подвергаться значительно меньшей радиации, чем на спутниках с геостационарными орбитами. Для защиты наиболее чувствительных к радиации электронных систем на ИСЗ FLTSATCOM должно применяться экранирование.

В наземном сегменте системы «Одиссей» планируется использовать порядка 20 ШС, по две ШС на каждый из 9 регионов. Для непрерывного обслуживания территории США в системе «Одиссей» планируется предусмотреть две ШС; одна на восточном и одна на западном побережье. Каждая из ШС будет иметь четыре антенны диаметром 3 м, разнесенными на расстояние 30 км друг от друга. Три из них будут одновременно обеспечивать связь с несколькими спутниками. Четвертая будет работать с восходящим спутником, что обеспечит непрерывную связь при смене спутников. Ее можно использовать и для обхода дождя, который обычно выпадает на площади с диаметром меньше 30 км.

Портативные ЗС должны быть простыми и дешевыми и иметь пользовательский интерфейс, аналогичный носимым терминалам сотовых сетей. Оконечная аппаратура должна содержать блок, который обеспечивает сопряжение с ССС «Одиссей» и сотовыми сетями европейского стандарта GSM и американскими стандартами ADS и AMPS.

Спутниковая связь реализуется между абонентами, находящимися в зоне обслуживания одного ИСЗ. В случае необходимости установления связи между абонентами, находящимися в зонах обслуживания различных ИСЗ, используется наземная волоконно-оптическая линия связи между фиксированными ШС, закрепленными за данными зонами обслуживания.

В системе «Одиссей» предполагается использовать ШПС, аналогично ССС «Глобалстар». Радиолиния «Земля-Космос» системы связи «Одиссей» работает в L-диапазоне на частотах от 1610 до 1625,5 МГц, а радиолиния «Космос-Земля» — в S-диапазоне на частотах от 2483,5 до 2500 МГц. Каждому парциальному лучу диаграммы направленности антенны (каждой ячейке зоны обслуживания) ставится в соответствие пара частотных поддиапазонов, каждый из которых занимает одну треть часть полосы частот (4,83 МГц), выделяемой для линии «Земля-Космос» и «Космос-Земля» соответственно, причем ШПС занимает весь поддиапазон. С целью снижения внутрисистемных помех в соседней ячейке используется другая пара частотных поддиапазонов. На спутниках предполагается установить 19-лучевую антенну с шириной парциального луча 5 градусов. Такое построение позволяет обеспечить примерно 6-кратное повторное использование частотного спектра.

Связь между ШС и ИСЗ осуществляется в K_a -диапазоне. При этом для каждой ячейки резервируется один поддиапазон для радиолинии «ИСЗ-ШС» и один для радиолинии «ШС-ИСЗ». Возможно также применение частотного мультиплексирования в радиолинии перед переносом сигналов из L- в K_a -диапазон и демупльтиплексирование во второй радиолинии перед переносом сигналов из K_a - в S-диапазон.

Принятые во всех 19 лучах ФМ ШПС мультиплексируются и передаются к ШС на частоте около 20 ГГц. Этот сигнал с учетом защитных интервалов занимает полосу 104 МГц. Соответствующий сигнал от ШС на несущей около 30 ГГц демультиплексируется и переносится в S-диапазон.

Пропускная способность канала в одном парциальном луче определяется уровнем теплового шума и взаимокорреляционными помехами ШПС. Для 19-лучевой антенны пропускная способность составляет 2300 телефонных каналов, а с учетом того, что каждый регион обслуживается не менее, чем двумя спутниками-ретрансляторами, пропускная способность в регионе может составлять порядка 4600 телефонных каналов.

При вызове требуемого абонента вначале делается попытка использовать ресурсы сотовых сетей, а в случае неудачи — ресурсы системы «Одиссей». Аппаратура вызова соединяется кабельными линиями с ШС. Для каждого парциального луча на спутнике предусмотрен канал вызова. Абонент будет поставлен на обслуживание в тот парциальный луч, который обеспечит соответствующий уровень сигнала на ШС. При этом абоненту будет предписано использовать частоту соответствующего поддиапазона.

В большинстве случаев в течение вызова абонент будет оставаться в одной и той же ячейке, хотя нельзя исключать и возможность перехода абонента из одной зоны в другую. Этому есть 2 причины. Во-первых, ячейки имеют достаточно большие размеры (диаметр около 800 км), во-вторых, положение ячеек на поверхности Земли остается относительно постоянным. Соответствующие управляющие команды по переводу абонента из одной зоны в другую и изменению частот и кодов выдаются соответствующей ШС.

Предварительные исследования, проведенные компанией TRW (США), показывают, что полные затраты на реализацию системы «Одиссей» не менее, чем в три раза меньше, чем затраты на реализацию систем «Иридиум» или «Глобалстар».

В числе существенных достоинств системы «Одиссей» необходимо также отметить:

- возможность управления диаграммой направленности антенны СР при изменении района обслуживания;
- возможность наблюдения ИСЗ под углами места не менее 30 град., что позволяет исключить влияние помех от наземных систем и устранить блокирование сигналов за счет неровностей рельефа и строений.

4. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

4.1. Анализ состояния и тенденций развития геостационарных систем спутниковой связи с подвижными объектами

В процессе своего развития геостационарные ССС ПО прошли несколько этапов, которые можно проследить на основе анализа особенностей развития системы «Инмарсат».

На начальном этапе развития системы «Инмарсат» необходимо было проверить принципиальную возможность спутниковой связи с подвижными объектами в глобальном масштабе, определить требования к космическому и земному сегментам системы. Данный этап был успешно реализован на основе использования первого поколения ИСЗ «Инмарсат» и разработки «Стандарта-А». В системе «Инмарсат-А» используются аналоговые и цифровые методы передачи информации и достаточно громоздкие станции (СС) весом до ста килограмм.

После накопления определенного опыта эксплуатации ССС ПО и появления качественной цифровой элементной базы на втором этапе развития в системе «Инмарсат» был разработан «Стандарт-В», в соответствии с которым был осуществлен переход к цифровым методам передачи информации, оптимизация использования энергетического и частотного ресурсов СР, что позволило снизить тарифы и вес СС (ЗС).

Большой интерес и рост спроса на услуги подвижной спутниковой связи потребовал решения такой проблемы, как переход от мобильных ЗС к портативным (носимым и ручным) ЗС. В попытках решения вышеуказанной проблемы в системе «Инмарсат» были разработаны такие стандарты как «С», «М», «АЭРО».

В системе «Инмарсат-С» снижение массогабаритных характеристик ЗС (массы до 5...7 кг и габаритов до 30×20×15 см) достигается путем уменьшения полосы канала связи до 5 кГц, ограничения предоставляемых услуг связи передачей цифровых и телеграфных сообщений.

В системах «Инмарсат-М» и «Инмарсат-АЭРО» при необходимости предоставления таких услуг связи, как телефония, факсимильная связь и передача данных, для снижения массогабаритных характеристик (массы до 9,5...22 кг и габаритов до 45×35×18 см), наряду со специальными методами обработки (вокодерной), позволяющими уменьшить ширину частотного канала до 10 кГц, существенно увеличен энергетический потенциал СР за счет повышения мощности передатчика и использования многолучевой антенны СР, что реализовано во втором и третьем поколениях ИСЗ системы «Инмарсат».

Дальнейшее развитие системы «Инмарсат», направленное на реализацию глобальной персональной радиосвязи с использованием портативного (ручного) терминала, выполняющего функции ЗС, связано с разработкой «Стандарта-Р», в котором с целью достижения энергетического потенциала радиолиний, необходимого для обеспечения

качественной телефонной связи, планируется при реализации космического сегмента переход от геостационарных к низкоорбитальным ИСЗ /5/.

Возможность организации глобальной персональной спутниковой связи с использованием геостационарных ИСЗ и «ручных» терминалов исследуется в гипотетическом проекте «Гарбон», разработанном фирмами Моторола и LMSC (США) /3/.

Выполненные исследования показали, что для выполнения проекта «Гарбон» требуется создание уникального космического сегмента, обладающего антенной с большими габаритами (порядка 33 м) и большим количеством лучей (порядка 800), мощной энергоустановкой (порядка 10 кВт), высокой надежностью бортовой аппаратуры и других подсистем ИСЗ, большим сроком службы (до 10 лет).

Кроме того, с целью обеспечения непрерывности обслуживания абонентов, в системе «Гарбон» предполагается использовать, наряду с тремя рабочими ИСЗ, три резервных ИСЗ. При этом коэффициент избыточности используемых ИСЗ равен 2.

Реализация системы «Гарбон» в ближайшее время не планируется в связи с отсутствием необходимых для создания требуемого космического сегмента технологий, а также большой стоимостью проекта и большим риском в успешности его осуществления.

Для проведения детального сопоставления геостационарных ССС ПО и выявления тенденций их развития можно воспользоваться таблицами 4.1–4.4, в которых систематизированы тактико-технические характеристики космического и земного сегментов, а также эксплуатационные и экономические характеристики систем.

4.2. Анализ состояния и тенденций развития низкоорбитальных систем спутниковой связи с подвижными объектами

В ССС ПО после этапа интенсивного использования геостационарной орбиты наступила эра широкого использования круговых и эллиптических орбит с различным количеством ИСЗ в созвездии конкретных ССС. Перечень основных достоинств низкоорбитальных ССС ПО по сравнению с геостационарными ССС ПО сформулирован в подразделе 1.5.4.

Для решения проблем индивидуализации и глобализации при предоставлении услуг связи низкоорбитальные ССС ПО превосходят геостационарные ССС ПО по экономическим показателям, глобальности и непрерывности связи, что обеспечивает широкий интерес к ним и реализацию целого ряда проектов. Из упомянутых в подразделе 1.5.4 трех возможных классов низкоорбитальных ССС ПО следует отметить, что

- системы зонной связи не получили широкого распространения, поскольку они по совокупности технико-экономических характеристик уступают геостационарным ССС ПО ;
- низкоорбитальные ССС ПО типа электронной почты обеспечивают более высокие экономические показатели, чем геостационарные ССС ПО, в случае использования их в качестве международных систем. Примером подобной системы является проект системы «Гонец»;

- системы глобальной персональной связи представляют большой интерес в качестве автономных систем и как дополнение наземных сотовых сетей и, кроме того, являются монополистами при предоставлении услуг подвижной связи в регионах со слаборазвитой инфраструктурой связи.

Наиболее просты в реализации и не требуют больших затрат ССС ПО типа электронной почты, однако они представляют ограниченный спектр услуг связи : передачу данных, что представляет больший интерес для абонентов фиксированной связи, чем для абонентов подвижной связи.

Из числа проектов низкоорбитальных ССС ПО, обеспечивающих глобальную персональную связь, наиболее близки к завершению система «Иридиум», система «Глобалстар» и система «Инмарсат-Р» /10/.

Система «Иридиум» задумана как автономная система глобальной персональной связи, и поэтому ориентирована на использование межспутниковых каналов связи для маршрутизации сообщений, что делает ее дорогой.

Системы «Глобалстар» и «Инмарсат-Р» создаются как дополнение к наземным телефонным сетям общего пользования и сотовым сетям, что позволило отказаться от использования в них межспутниковых каналов связи и осуществить переход к маршрутизации сообщений связи через наземные шлюзовые станции. Такой подход обеспечивает существенное улучшение экономических показателей подвижной спутниковой связи.

Дальнейшие усилия в развитии низкоорбитальных ССС ПО были направлены на создание таких проектов, в которых затраты абонентов находятся на уровне затрат абонентов наземных сотовых сетей. В качестве примеров таких проектов можно отметить систему «Одиссей» и систему «Полярная звезда». Отличительными особенностями упомянутых проектов является переход к более высоким орбитам (круговой и эллиптической), что позволяет существенно уменьшить необходимое для системы количество ИСЗ и снизить стоимость космического сегмента и системы в целом. Однако в данном случае улучшение экономических показателей достигается путем интеграции спутниковой сети с наземными сетями общего пользования для обеспечения глобальной персональной связи в различных географических регионах земного шара /18/.

Для проведения детального сопоставления низкоорбитальных ССС ПО и выявления тенденций их развития можно воспользоваться таблицами 4.5–4.8, в которых систематизированы тактико-технические характеристики космического и земного сегментов, а также эксплуатационные и экономические характеристики систем.

В настоящее время все перечисленные выше низкоорбитальные ССС ПО находятся в стадии реализации, между их владельцами идет конкурентная борьба за регионы, страны, представляющие рынки сбыта услуг связи, и конкретных абонентов, что в конечном счете окажет существенное влияние на технические, эксплуатационные и экономические показатели ССС ПО и даже на сам факт существования тех или иных систем.

В качестве возможных тенденций развития низкоорбитальных ССС ПО после ввода в эксплуатацию вышеперечисленных проектов можно ожидать:

- разработку и массовое использование абонентских терминалов двойного назначения (спутниковая и сотовая связь) с доступными широким слоям потенциальных пользователей ценами и соответствующими экологическими нормами;

- расширение используемого ССС ПО частотного ресурса за счет освоения частотных полос в диапазонах 1,9; 2,5 и 3 ГГц, с целью увеличения пропускной способности;
- интеграцию на сетевом уровне и стандартизацию технических решений подвижной спутниковой и наземной сотовой связи, с целью создания единой сети подвижной связи.

**Характеристики космического сегмента
геостационарных систем спутниковой связи
с подвижными объектами**

Таблица 4.1

Название ССС ПО Характеристики	Инмарсат-А	Инмарсат-В	Инмарсат-С	Инмарсат-М	Гарбон
Количество ИСЗ в созвездии	4	6	6	8	6
Количество орбит	0	0	0	0	0
Угол наклонения, °	0	0	0	0	0
Высота орбиты, км	35786	35786	35786	35786	35786
Масса ИСЗ, кг	500÷870				4500
Частотный диапазон	L(1,5/1,6)	L(1,5/1,6)	L(1,5/1,6)	L(1,5/1,6) S(3,6)	L
Частотный ресурс системы, МГц	5,5÷7,5	20	20	24	14
Пропускная способность системы	125	250	4000	1500	210000
Вид доступа	МДЧР/МДВР	МДЧР/МДВР	МДЧР/МДВР	МДЧР/МДВР	МДЧР/МДВР
Вид бортовой обработки	прямая ретрансляция	прямая ретрансляция	прямая ретрансляция	прямая ретрансляция	с коммут. на борту
ЭИИМ СР, дБ·Вт	33	33	39	48	
Добротность СР, дБ/К	-13	-13	-13	-12,5	
Тип и размеры антенны					зеркало диаметром 33 м
Количество лучей	1	1	1	1(5)	800
Скорость передачи: – речи, Кбит/с – данные, Кбит/с	телефонный канал 25кГц 2,4; 9,6; 64	16 2,4; 16; 64	— 1,2	4,8 2,4	

**Характеристики земного сегмента
геостационарных систем спутниковой связи
с подвижными объектами**

Таблица 4.2

Название ССС ПО	Инмарсат-А	Инмарсат-В	Инмарсат-С	Инмарсат-М	Гарбон
Характеристики					
Частотный диапазон	L(1,5/1,6)	L(1,5/1,6)	L(1,5/1,6)	L(1,5/1,6)	L(1,5/1,6)
Частотный ресурс системы, МГц	8,5	20	20	24	14
Полоса пропускания канала, кГц	50	20	5	10	
Модуляция	ЧМ	ФМ-4	ФМ-2	ФМ-4	
ЭИИМ АТ, дБ·Вт	36	33	15	27	
Добротность АТ, дБ/К	-4	-4	-23	-12	
Масса АТ, кг	30÷100	18	10	16 (с аккумулятором)	~0,5
Габариты, см×см×см		70×60×30		180×350×450	телефонная трубка
Тип и размеры антенны	зеркало, диаметр 1 м	зеркало, диаметр 0,8 м	спираль высотой 0,4 м	ФАР 650×560 см ²	
Питание АТ	сеть ~220 В	сеть ~220 В	12 В пост. тока, сеть ~220 В	аккумулятор, сеть ~220-260 В	аккумулятор, сеть ~220 В
Количество береговых станций	>20	>20	>30	>30	
Скорость передачи: – речи, Кбит/с – данные, Кбит/с	телефонный канал 50кГц 9,6; 64	16 9,6; 64	— 1,2	8 2,4	
Потребляемая АТ мощность, Вт – при передаче – при приеме	450 110	105 28	95 12	100 20	

**Эксплуатационные характеристики
геостационарных систем спутниковой связи
с подвижными объектами**

Таблица 4.3

Название ССС ПО	Инмарсат-А	Инмарсат-В	Инмарсат-С	Инмарсат-М	Гарбон
Характеристики					
Качество обслуживания: – задержка, мс – надежность связи, % – угол места, ° – зона обслуживания – максим. продолжительность отказа в услугах связи	400÷700 99,8 5 ±75° с./ю. ш. постоянно до замены	400÷700 99,8 5 ±75° с./ю. ш. постоянно до замены	400÷700 99,8 5 ±75° с./ю. ш. несколько часов	400÷700 99,8 5 ±75° с./ю. ш. несколько часов	400÷700 99,8 5 ±75° с./ю. ш.
Срок службы ИСЗ, год	7...10	7...10	7...10	7...10	10
Коэффициент избыточности используемых ИСЗ	1,33	1,5	1,5	2	2
Ожидаемое количество обслуживаемых абонентов, млн.	0,03	0,03	0,3	0,3	3
Сроки ввода системы в эксплуатацию	1976 г.	1992 г.	1991 г.	1993 г.	после 2010 г.
Виды услуг: – речь, – данные, – пейджинг, – групповой вызов, – определение местоположения абонентов	+ + +	+ + +	 + + +	+ + + +	+ + + + +

**Экономические характеристики
геостационарных систем спутниковой связи
с подвижными объектами**

Таблица 4.4

Название ССС ПО Характеристики	Инмарсат-А	Инмарсат-В	Инмарсат-С	Инмарсат-М	Гарбон
Стоимость системы, млн. дол.					5800
Стоимость АТ, дол.	40000	3000	3000...5000	8000...10000	2000
Тариф, дол./мин.	11...16,5	8...12	2 дол. за 1 Кбайт	7...9,5	3
Годовые эксплуатационные расходы, млн. дол.				75	
Стоимость запуска ИСЗ, млн. дол.					250
Уровень страхования, %					18
Стоимость одного ИСЗ, млн. дол.					350

**Характеристики космического сегмента
низкоорбитальных систем спутниковой связи
с подвижными объектами**

Таблица 4.5

Название ССС ПО	Гонец	Иридиум	Глобал-стар	Инмарсат-Р	Одиссей	Полярная звезда
Характеристики						
Количество ИСЗ в созвездии	36	66	48	10+2 резер.	12	4
Количество орбит	6	6	8	2	3	1
Угол наклонения, °	83	86	52	45	55	63,4
Высота орбиты, км	1410	780	1410	10354	10354	40000
Масса ИСЗ, кг	225	320	450	2750	1135	2100
Частотный диапазон	0,3/0,4 L(1,5/1,6)	L(1,6) K _a	L(1,6), S(2,4/2,5), C(6/7)	S(2,0/2,2) C(5/7)	L, S, K _a	L(1,6), S(2,4), C(5/7)
Частотный ресурс системы, МГц	3	10,5	16,5	18	15,5	18,5
Пропускная способность системы	1 к. – 64 Кбит/с 2 к. – 4,8 Кбит/с	56000 тел. каналов	65000 тел. каналов	45000 тел. каналов	46000 тел. каналов	1000 тел. каналов
Вид доступа	МДЧР/ МДВР	МДЧР/ МДВР	МДКР	МДВР	МДКР	МДКР
Особенности бортовой обработки	декод., запомин.	декод., запомин.	прямая ретрансл.	с коммут. на борту	прямая ретрансл.	прямая ретрансл.
ЭИИМ СР, дБ·Вт						
Добротность СР, дБ/К						
Тип и размеры антенны						
Количество лучей	1	48	16	163	19(37)	32
Скорость передачи:						
– речи, Кбит/с	—	4,8	1,2÷9,6			1,2÷9,6
– данные, Кбит/с	64	2,4	1,2÷9,6			4,8

**Характеристики земного сегмента
низкоорбитальных систем спутниковой связи
с подвижными объектами**

Таблица 4.6

Название ССС ПО Характеристики	Гонец	Иридиум	Глобал-стар	Инмарсат-Р	Одиссей	Полярная звезда
Частотный диапазон	0,3/0,4 L(1,5/1,6)	L(1,6) K _a	L(1,6), S(2,4/2,5), C(6/7)	S(2,0/2,2) C(5/7)	L, S, K _a	L(1,6), S(2,4), C(5/7)
Частотный ресурс системы, МГц	3	10,5	16,5	18	15,5	18,5
Полоса пропускания канала, кГц		5	1230		1230	1230
Модуляция	ФМ-2	ФМ-4	ФМ-4		ФМ-4	ФМ-4
ЭИИМ АТ, дБ·Вт	1,3	1,4	2...8			-6/+4
Добротность АТ, дБ/К	-10	-23,8	-21,7÷23,7			-24,6
Масса АТ, кг	3...10	0,65	0,6; 0,2			
Габариты, см×см×см						
Тип и размеры антенны	штырь длиной 0,5 м	штырь длиной 0,1 м	штырь			
Питание АТ	аккумулятор, сеть ~220В	аккумулятор, сеть ~220В				
Количество шлюзовых станций		~10	~200		~20	~200
Скорость передачи: – речи, Кбит/с – данные, Кбит/с	— 4,8; 64	4,8 2,4	1,2÷9,6 1,2÷9,6			1,2÷9,6 4,8
Потребляемая АТ мощность, Вт – при передаче – при приеме						

**Экономические характеристики
низкоорбитальных систем спутниковой связи
с подвижными объектами**

Таблица 4.7

Название ССС ПО	Гонец	Иридиум	Глобал-стар	Инмарсат-Р	Одиссей	Полярная звезда
Характеристики						
Качество обслуживания: – задержка, мс – надежность связи, % – угол места, ° – зона обслуживания – максим. продолжительность отказа в услугах связи	170÷320 10 ±90° с./ю. ш.	170÷320 99 8 ±90° с./ю. ш. 16 мин. в сутки	170÷320 20 ±72° с./ю. ш.	200÷400 20 ±90° с./ю. ш.	200÷400 30 –65° с. ш.	300÷500 30 +60÷+90° с. ш.
Срок службы ИСЗ, год		5	7,5	10	12	8...10
Коэффициент избыточности используемых ИСЗ		1,1		1,2		1,3
Ожидаемое количество обслуживаемых абонентов, млн.	1	1,8...3,4	2...5	1...2,5	2,3	0,4
Сроки ввода системы в эксплуатацию		1998 г.	2000 г.	2000 г.	2000 г.	после 2000 г.
Виды услуг: – речь, – данные, – пейджинг, – групповой вызов, – определение местоположения абонентов		+ + + + +	+ + + + +	+ + + + +	+ + + + +	+ + + + +

**Экономические характеристики
низкоорбитальных систем спутниковой связи
с подвижными объектами**

Таблица 4.8

Название ССС ПО Характеристики	Гонец	Иридиум	Глобал-стар	Инмарсат-Р	Одиссей	Полярная звезда
Стоимость системы, млн. дол.	100	3500	1900	2600	2000	600
Стоимость АТ, дол.		3000	750	150...200	300	650...1200
Тариф, дол./мин.	2 дол. за 1 Кбайт	3	0,35...3	1...2	0,65	0,2...0,5
Годовые эксплуатационные расходы, млн. дол.		260	227	324	135	
Стоимость запуска ИСЗ, млн. дол.		6				20
Уровень страхования, %		7				
Стоимость одного ИСЗ, млн. дол.		13,4				20

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бородич С.В.* ЭМС наземных и космических радиослужб. М.: Радио и связь, 1990.
2. *Спутниковая связь и вещание: Справочник.* 2 изд., перераб. и доп. Под ред. Л.Я. Кантора. М.: Радио и связь, 1988.
3. *Спутниковые системы связи и компьютерные сети: том 28 издания «Технологии электронных коммутаций».* Под ред. Виноградова Б.Н., Дрожжина В.И., М., 1992.
4. *Беллами Дж.* Цифровая телефония. М.: Радио и связь, 1986.
5. *Спутниковые системы связи: том 49 издания «Технологии электронных коммутаций».* Под ред. Смирнова А.А., Денисова Ю.В., М., 1994.
6. *Жилин В.А.* Международная спутниковая система морской связи ИНМАРСАТ: Справочник. Л.: Судостроение, 1988.
7. *Мордухович Л.Г., Степанов А.П.* Системы радиосвязи. Уч. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1997.
8. *Бородич С.В.* Эффективность частотного и кодового разделения в системах спутниковой связи. Электросвязь, № 8, 1994.
9. *Банкет В.Л., Дорофеев В.М.* Цифровые методы в спутниковой связи. М.: Радио и связь, 1988.
10. *Во В.В., Миллер Е.Ф.* Системы спутниковой связи с подвижными объектами. Экспресс-информация. Серия «Радиотехника и связь», № 10, 1996.
11. *Стилкер Д.Д.* Цифровая спутниковая связь. Связь, М., 1979.
12. *Кантор Л.Я., Поволоцкий И.С.* Системы персональной подвижной связи через низкоорбитальные ИСЗ. Вестник связи, № 11, 1994.
13. *Бобровский Д.Г.* Низкоорбитальные спутниковые системы связи. Сети, № 4, 1992.
14. *Евсиков М.И.* Грядущая революция в спутниковой связи. Компьютер-пресс., № 9,10, 1996.
15. *Смирнов Н.И., Иванчук Н.А., Горгадзе С.Ф.* Достоинства низкоорбитальных спутниковых систем передачи информации с синхронным кодовым разделением каналов типа «Глобалстар». Электросвязь, № 2, 1997.
16. *Матвеевко И.П.* «Полярная звезда» — национальная система подвижной спутниковой связи. Вестник связи, № 3, 1997.
17. *Рош Р.Д.* Принципы построения спутниковой системы персональной связи «Одиссей». Экспресс-информация. Серия «Передача информации», № 5, 1994.
18. *Коньков А.М.* Перспективы развития низкоорбитальных систем спутниковой связи. Вестник связи, № 1, 1994.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	4
1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ	4
1.2. СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	6
1.3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	10
1.4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ СПУТНИКОВЫХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ	16
1.5. СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИСЗ С РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТОЙ ОРБИТЫ	18
2. СИСТЕМА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ИНМАРСАТ»	25
2.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ИНМАРСАТ»	25
2.2. СИСТЕМА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ИНМАРСАТ-А»	26
2.3. СИСТЕМА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ИНМАРСАТ-В»	38
2.4. СИСТЕМА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ИНМАРСАТ-С»	44
2.5. СИСТЕМА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ИНМАРСАТ-М»	48
3. НИЗКООРБИТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ	52
3.1. МНОГОСПУТНИКОВАЯ НИЗКООРБИТАЛЬНАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ «ГОНЕЦ»	52
3.2. ГЛОБАЛЬНАЯ СИСТЕМА СПУТНИКОВОЙ ПЕРСОНАЛЬНОЙ СВЯЗИ «ИРИДИУМ»	60
3.3. ГЛОБАЛЬНАЯ СИСТЕМА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ГЛОБАЛСТАР»	67
3.4. СИСТЕМА ПОДВИЖНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ПОЛЯРНАЯ ЗВЕЗДА»	72
3.5. СИСТЕМА ПОДВИЖНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ОДИССЕЙ»	74
4. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	78
4.1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	78
4.2. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	79
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	90

Дятлов Анатолий Павлович

СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Учебное пособие

Ответственный за выпуск Дятлов А.П.

Редактор Белова Л.Ф.

ЛР № 020565

Подписано к печати 30.09.1997 г.

Формат 60×84¹/₁₆ Бумага офсетная

Офсетная печать. Усл. п. л. – 6.0. Уч.-изд. л. – 5.4.

Заказ № 339 Тираж 500 экз.

«С»

Издательство Таганрогского государственного радиотехнического университета

ГСП, 17 А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44

Типография Таганрогского государственного радиотехнического университета

ГСП, 17 А, Таганрог, 28, Энгельса, 1