

3. Спутниковая система персональной подвижной связи *Globalstar*

Назначение и принципы функционирования системы Globalstar

Спутниковая система персональной подвижной связи (ССППС) *Globalstar* представляет собой глобальную цифровую систему персональной связи, основанную на использовании низкоорбитальных КА с таким же названием. При разработке системы *Globalstar* использован опыт создания сотовых систем связи с кодовым разделением каналов CDMA. Идеология построения системы *Globalstar* состоит в использовании методов сотовой связи при выносе в космическое пространство ретрансляторов базовых станций.

Следует отметить, что рассматриваемая система предназначена для абонентов не только мобильной, но и обычной связи. Предусматривается также предоставление пользователям ряда дополнительных услуг, таких, как телефакс, передача факсимильных сообщений с расширенными возможностями (с высокой разрешающей способностью и коррекцией ошибок).

Система предназначена для пользователей сотовых сетей, роумингующих за пределами покрытия домашней сети, людей, работающих в удаленных районах, где наземная связь отсутствует, жителей населенных пунктов с ограниченной емкостью телекоммуникационных сетей для удовлетворения потребности в телефонии, а также тех, кому необходима связь во время международных командировок и путешествий.

Прежде чем установить связь, абонентский терминал системы *Globalstar* сначала осуществляет проверку возможности работы в наземной сотовой сети связи, и лишь при невозможности этого устанавливается соединение через КА. В этом случае сигнал с абонентского терминала (телефонного аппарата пользователя) передается через КА на ближайшую земную станцию сопряжения (шлюз), которая соединяет его с требуемым абонентом обычной телефонной сети, сотовой сети или с абонентом системы *Globalstar*.

Архитектура ССППС *Globalstar* представлена на рисунке 3.1, а принцип действия системы проиллюстрирован на рисунке 3.2. Общемировой роуминг позволяет дозвониться до абонента по одному и тому же номеру независимо от географического местоположения абонента. При этом максимальная задержка сигнала не превышает 150 мс, а время установления соединения составляет 5 с.

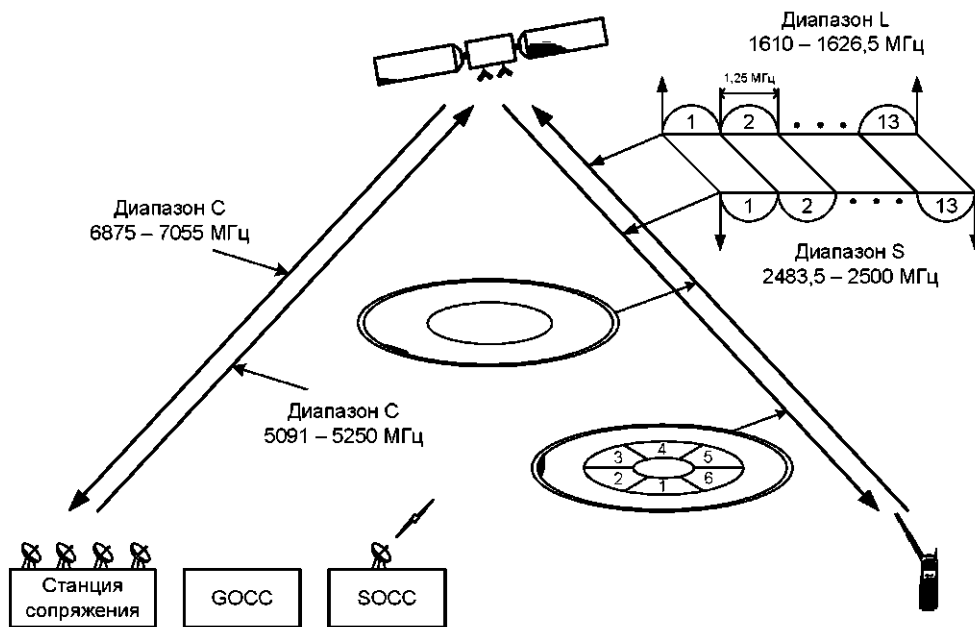


Рисунок 3.1. Общая архитектура спутниковой системы персональной связи Globalstar.

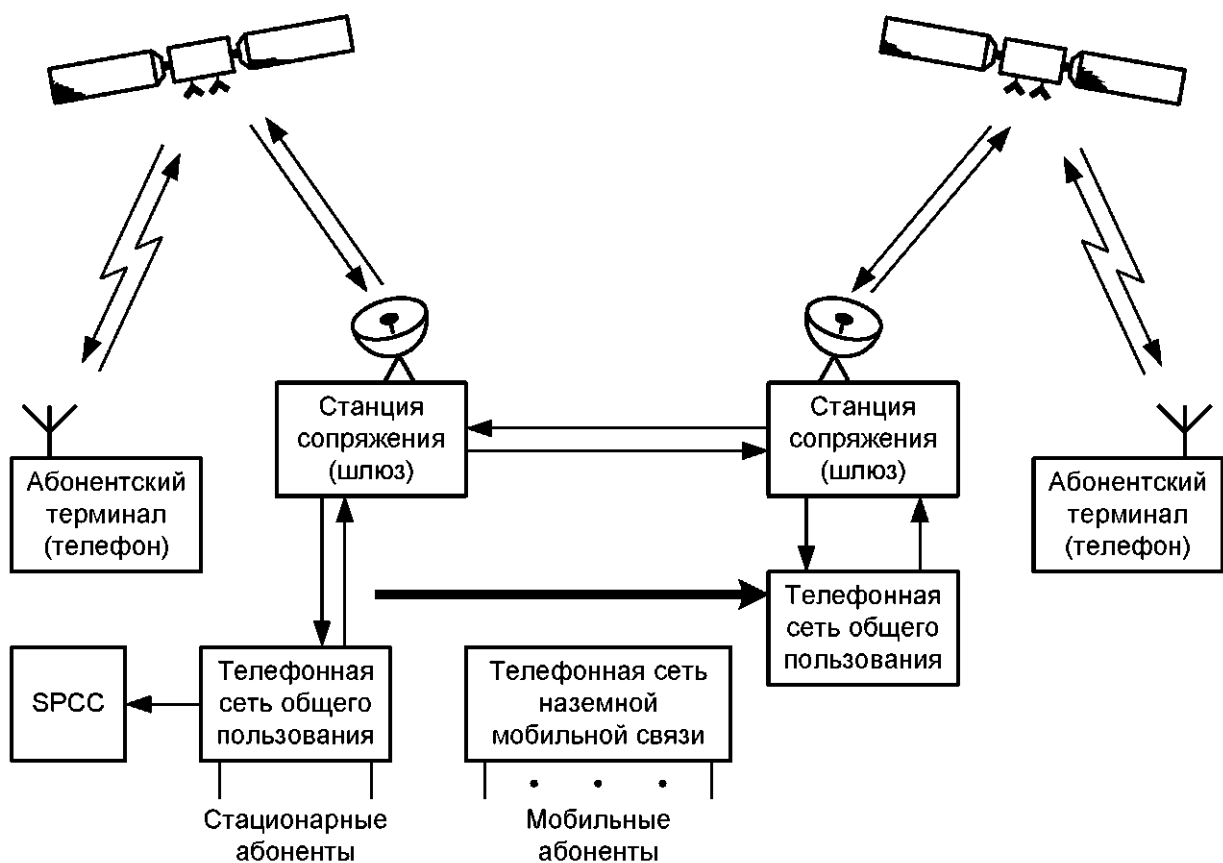


Рисунок 3.2. Схема функционирования системы связи Globalstar

Услуги системы Globalstar.

Набор услуг системы *Globalstar* включает передачу речи, данных, факсимильных сообщений, сигналов персонального радиовызова (пейджинговых сообщений), экстренных

вызовов и определение координат подвижных абонентов.

Передача речевых сообщений. При передаче речи исходный сигнал преобразуется в цифровую форму с помощью адаптивного вокодера с линейным предсказанием типа CELP. Вокодер обеспечивает передачу речи со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с (при средней скорости алгоритма CELP около 2,4 кбит/с).

Обработка речевого сигнала включает в себя подавление шумов в паузах. При этом качество восстановленной речи оценивается в 3,5 балла (по методике MOS).

Вокодеры, установленные на земных станциях, имеют в своем составе эхоподаватели. Качество передачи речи по принятым критериям оценки качества эквивалентно цифровым сотовым системам связи.

Передача данных. Передача данных осуществляется в пакетном режиме со скоростями до 9,6 кбит/с, что существенно выше, чем в ССППС *Iridium* (до 2,4 кбит/с). Вероятность ошибки при этом не превышает 10^{-6} .

Использование многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (МДКР) позволяет также достаточно легко решить проблемы конфиденциальности связи и несанкционированного доступа к ретранслятору.

Определение местоположения. Определение местоположения объектов производится с точностью, зависящей от ряда факторов, а именно: числа КА, «видимых» абонентом, точности определения координат КА, времени, в течение которого абонент соединен со шлюзом, геометрии радиолинии «АТ – КА – шлюз», а также стабильности эталона частоты абонентского терминала.

Наихудшая точность при автономном местоопределении абонента не превышает 10 км. Земная станция сопряжения производит определение местоположения более точно. Так, по двум КА, разнесенным не менее чем на 22° , точность определения местоположения может достигать 300 м с вероятностью 0,95 за время не более 10 с.

Абонентская аппаратура является совмещенной, обеспечивает связь и местоопределение. Однако можно использовать только режим местоопределения. В этом случае операция местоопределения производится в станции сопряжения или на центральной станции.

Компания «Globalstar L.P.» планирует замену существующей аппаратуры первого поколения, когда система выработает свой ресурс, на усовершенствованную аппаратуру системы *Globalstar-II*, которая обеспечит более высокую скорость передачи информации, улучшенное качество работы и большее число каналов.

Система Globalstar в России.

Предоставлением услуг связи с помощью системы *Globalstar* в России занимаются российские операторы спутниковой связи «ГлобалТел» и «Вэб Медиа Сервисез», продвигающие на рынок систему *HeliosNet*. В 2002 г. они заключили соглашение о сотрудничестве в области разработки, реализации и продвижении на рынке совместных решений и проектов по предоставлению услуг доступа в сеть Интернет, мультимедийного вещания и рассылки файлов.

ЗАО «ГлобалТел» является эксклюзивным поставщиком услуг глобальной персональной спутниковой связи *Globalstar* в России. Учредителями компании являются ОАО «Ростелеком» и «Globalstar L.P.».

В настоящее время «ГлобалТел» предоставляет более 27 видов услуг спутниковой подвижной радиосвязи и телематики и предлагает более 17 моделей абонентских терминалов различной комплектации, от портативных трубок и автомобильных комплектов до стационарных радиоблоков и спутниковых модемов.

Проведенные в 2001 г. успешные совместные испытания по предоставлению базовых услуг сети *HeliosNet* при организации канала запросов через систему *Globalstar* с использованием стационарного АТ GSP-2800 (спутникового телефона) подтвердили эффективность данной схемы связи. Она открывает широкие возможности по предоставлению качественных услуг передачи данных и информации в удаленных и труднодоступных районах.

ЗАО «Вэб Медиа Сервисез» является разработчиком и эксклюзивным оператором системы комбинированного доступа *HeliosNet*, в которой используются геостационарные КА связи *Intelsat-604* и *Ямал-100*. Компания предоставляет комплекс услуг доступа в сеть Интернет, мультимедийного вещания и многоадресной рассылки файлов для абонентов на территории России (за исключением Чукотки) и других государств СНГ. Абонентская сеть насчитывает несколько сотен точек приема и постоянно расширяется. Компания участвует в реализации проектов по телемедицине, дистанционному образованию, а также медиапроектов. Разработанные на базе системы *HeliosNet* технические решения применяются для построения узлов доступа в сеть Интернет, модернизации низкоскоростных систем передачи данных и существующих узлов провайдеров сети Интернет.

Данное соглашение еще раз свидетельствует о том, что «ГлобалТел» и «МегаФон» считают своей главной задачей максимальную заботу о своих абонентах, улучшение сервиса, расширение спектра услуг. Оно является примером позитивного взаимовыгодного сотрудничества ведущего оператора мобильной спутниковой связи, компании «ГлобалТел», с одним из ведущих GSM-операторов.

Портативные спутниковые телефоны все большее применение находят в зонах локальных вооруженных конфликтов. Так, в течение нескольких недель (в феврале-марте 2003 г.) накануне начала военных действий в Ираке компания «Globalstar USA LLC» продала свыше 1000 спутниковых телефонов для их использования в зоне конфликта американскими военными специалистами и журналистами. Американские военнослужащие используют спутниковые телефоны в зоне конфликта для военной связи, координации снабжения топливом и продовольствием.

Для обеспечения повседневных потребностей телефоны *Globalstar* с октября 2001 г. используются в военно-морском флоте Италии.

Состав спутниковой системы персональной связи *Globalstar*

Система *Globalstar* включает в себя три основных сегмента, а именно: космический сегмент (группировка КА), наземный сегмент (земные станции контроля, управления и сопряжения) и сегмент пользователя (абонентские терминалы).

Космический сегмент.

В соответствии с проектом космический сегмент системы состоит из 48 основных и четырех резервных КА, которые расположены в восьми орбитальных плоскостях (по шесть основных КА в каждой) и обеспечивают покрытие земной поверхности от 74°с.ш. до 74°ю.ш.

Наклонение орбит КА *Globalstar* составляет 52° (в отличие от полярных орбит с наклоном 86° в ССППС *Iridium*), что сужает ширину зоны обслуживания системы в целом. Период обращения КА на орбите равен 114 мин. Фазовый сдвиг между КА в соседних орбитальных плоскостях составляет 7,5°. Высота орбит составляет 1414 км (почти в два раза выше, чем высота орбит КА *Iridium*) (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Группировка КА ССППС *Globalstar*

Система	КА	Параметры орбиты	Число КА
---------	----	------------------	----------

			Всего в системе	В зоне доступности РФ
<i>Globalstar</i>	<i>Globalstar</i>	LEO, $h = 1414 \text{ км}$ $i = 52^\circ$	48 – основн.	48
			4 - резерв	4
	Всего в системе			52

Большая высота орбиты обуславливает, с одной стороны, большую зону обслуживания каждого КА и большой срок службы КА (7,5 лет), а с другой – большее запаздывание и затухание сигнала, а также более дорогой вывод КА на орбиту. Космический сегмент построен так, чтобы обеспечить наилучшее обслуживание пользователей в средних широтах. Именно в средних широтах доступными являются не менее двух КА. По этому показателю система *Globalstar* существенно отличается от системы *Iridium*, в которой структура космического сегмента основана на односпутниковом покрытии территории.

Параметры круговых орбит выбраны так, чтобы обеспечить максимальную кратность обслуживания земной поверхности в средних широтах. Полярные области не обслуживаются. В Антарктиде, на Северном полюсе, в северных регионах России и Гренландии, в некоторых районах Северного морского пути использование системы *Globalstar* невозможно.

КА *Globalstar* выполнен на платформе LS-400. С точки зрения радиосвязи, КА представляет собой ретранслятор с преобразованием частот, который осуществляет прием сигналов в пределах зоны обслуживания, их преобразование и передачу на земную станцию. Все операции по обработке вызовов, их коммутации, преобразованию сигналов и разделению каналов производятся на Земле, где реализация данных функций обходится дешевле, аппаратура доступна для технического обслуживания и может быть со временем модернизирована. Отсутствие обработки сигнала на борту КА, а также отсутствие в системе *Globalstar* линий межспутниковой связи (в отличие от ССПС *Iridium*) делают КА проще и надежнее. Каждый КА состоит из антенны, трапециевидного корпуса, двух солнечных панелей и магнитометра (рисунок 3.3).

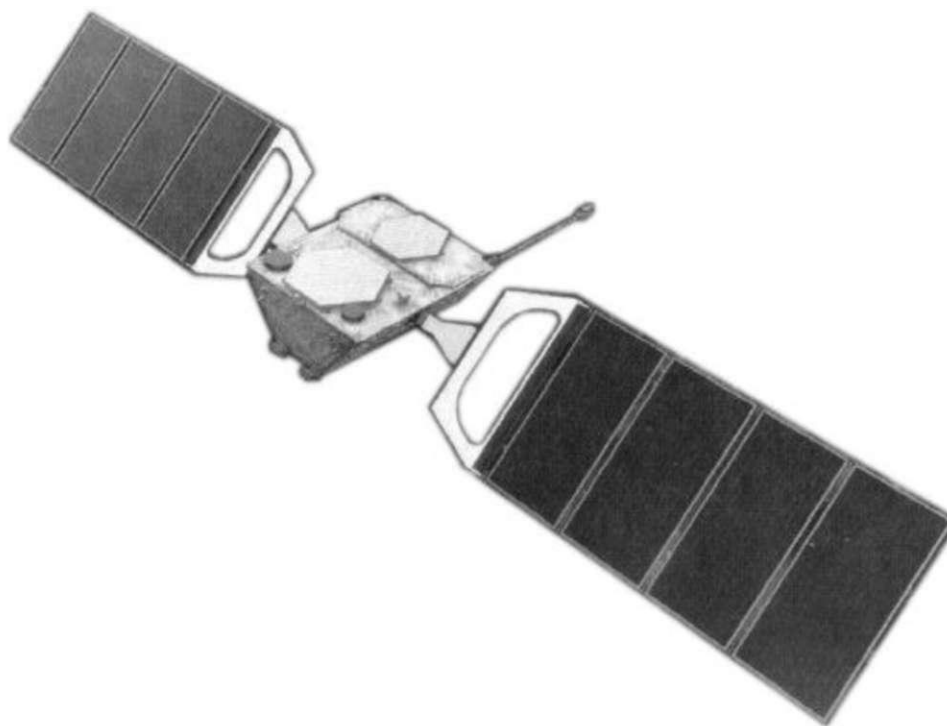


Рисунок 3.3. Внешний вид КА Globalstar

На КА *Globalstar* предусмотрена трехосная система стабилизации, в которой используются датчики на Землю, на Солнце и лазерные гироскопы. Навигация обеспечивается по сигналам системы *Navstar*. Точность удержания КА на орбитальной позиции – не хуже $\pm 1^\circ$ вдоль орбиты и $\pm 1^\circ$ – в сторону от орбиты.

Вес КА составляет около 450 кг. Солнечные батареи имеют мощность 1100 Вт. Мощность передающей системы КА приблизительно равна 1 кВт. За счет оперативной регулировки потребляемой мощности бортового ретранслятора в каждом канале в соответствии с условиями приема минимизируются энергетические ресурсы КА.

Для связи с земными станциями (фидерные линии связи) на КА устанавливаются по две рупорные антенны (для приема и передачи), работающие в С-диапазоне частот (5091 – 5250 МГц – для линии «Земля – КА» и 6875 – 7055 МГц – для линии «КА -Земля»). Этот диапазон частот за счет применения правой и левой круговой поляризации используется дважды. Командная радиолиния имеет антенну также и на стороне КА, обращенной от Земли. Она может использоваться в том случае, когда нарушается ориентация КА. Скорость передачи командной информации равна 100 бит/с, а телеметрической – 1 кбит/с.

Для радиолиний связи КА с абонентскими терминалами используются частоты L-диапазона (1610 – 1626,5 МГц для радиолинии «АТ – КА») и S-диапазона (2483,5 – 2500 МГц для линии «КА – АТ»).

Бортовой комплекс L- и S-диапазона содержит приемные и передающие активные фазированные антенные решетки (АФАР), с помощью которых формируется 16 лучей (рисунок 3.4). Усиление и форма лучей подобраны так, чтобы у поверхности Земли формировалась многосотовая зона покрытия. Коэффициент усиления в периферийных лучах выше, чем в первом, что необходимо для создания равномерной плотности потока мощности. Общая пропускная способность одного ретранслятора составляет 2400 эквивалентных телефонных каналов.

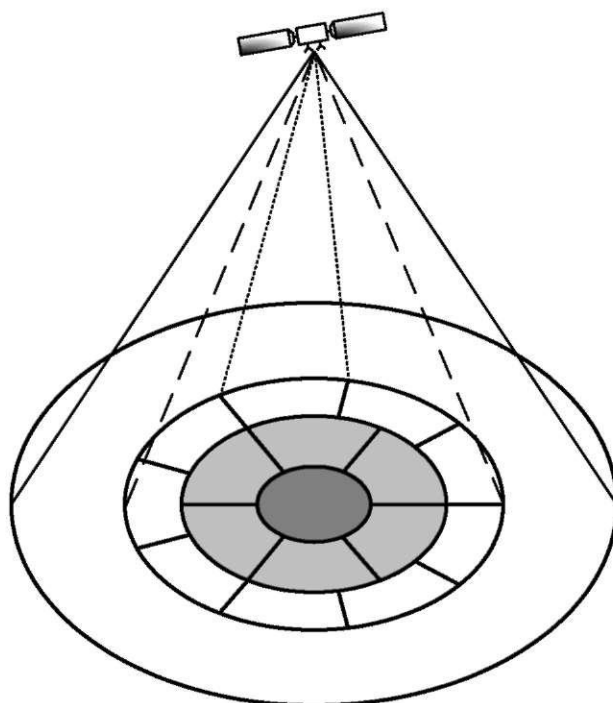


Рисунок 3.4. Формирование зоны обслуживания и порядок размещения лучей в диаграмме направленности КА Globalstar

На ретрансляторах LEO многолепестковая антенна (МЛА) имеет малокольцевую конфигурацию с небольшим числом лучей. Так, на КА-ретрансляторе *Globalstar* $n_k = 3$, $N_{GL} = 16$. В таких МЛА используются лучи с достаточно широким лепестком диаграммы направленности $\Delta\gamma_k/2 = 15...17^\circ$ и усилением на один луч порядка $G_{\text{Л}} = 30...50$. Однако, небольшая высота орбиты (1414 км) и относительно небольшая наклонная дальность (2700 км для КА-ретрансляторов *Globalstar* при $\beta > 20^\circ$) позволяют достичь необходимой энергетики радиолинии.

В ретрансляторе *Globalstar* бортовая ФАР имеет гексагональную структуру с n_k кольцами. Число антенных элементов такой структуры равно $N_{GL} = 3n_k(n_k+1)+1$ и различно для передающей ($n_{kt} = 5$, $N_{GLt} = 91$) и приемной ($n_{kr} = 4$, $N_{GLr} = 61$) ФАР. Как передающая, так и приемная ФАР формируют трехсекторную МЛА. При этом число лучей в секторе увеличивается по закону натурального ряда (1, 2, 3, ...), т.е. число лучей в поясе k равно k , а общее число лучей в k поясах составляет $N_{GL} = 3n_k(n_k+1)/2-2$. Так, для $n_k = 3$ $N_{GL} = 16$ лучей.

Основные характеристики КА *Globalstar*, а также характеристики ретрансляционной аппаратуры приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Характеристики системы Globalstar

Параметр	Типовое значение
<i>Характеристики КА</i>	
Платформа	LS-400
Общий вес на старте / сухой вес	450 кг/ 400 кг
Форма КА	Трапецевидная
Габариты в сложенном виде	1,78×0,96×0,58 м
Срок службы	7,5 лет
Период обращения на орбите	114 мин
Непрерывное время видимости одного КА	до 14 мин

Количество лучей бортовой антенны	16
Площадь покрытия	5796 км ²
Размеры солнечных батарей	10,75 м (2 шт.)
Мощность солнечных батарей	1100 Вт
<i>Распределение частот радиолиний, МГц</i>	
Радиолиния «АТ – КА»	1610 – 1626,5
Радиолиния «КА – АТ»	2483,5 – 2500
Радиолиния «Земная станция – КА»	5091 – 5250
Радиолиния «КА – Земная станция»	6875 – 7055
<i>Характеристики ретрансляционной аппаратуры</i>	
Коэффициент усиления антенны (передача/прием), дБ	12 – 17 (линия «КА – АТ») / 1/3,6 (линия «КА – ЗС»)
ЭИИМ, отнесенная к цифровому потоку 2,4 кбит/с с полосой частот 1,25 МГц, дБВт	-2,9 (линия «КА – АТ») / -27,7 (линия «КА – ЗС»)
Общая мощность излучения, Вт	240 (линия «КА – АТ») / 141 (линия «КА – ЗС»)
Добротность G/T , дБ/К	-10 (линия «КА – АТ») / -13,7 (линия «КА – ЗС»)

Абонентский сегмент

Абонентские терминалы (телефоны) имеют три основных варианта исполнения:

- стационарные с выходной мощностью передатчика до 3 Вт;
- портативные мобильные с выходной мощностью передатчика 0,6 Вт с усилением дополнительной антенны более 1 дБ;
- портативные персональные (аналогичные сотовому телефону).

Стационарные терминалы предназначены для работы только в системе *Globalstar* и обеспечивают предоставление услуг связи в отдаленных районах, где нет ни сотовых систем, ни наземных коммуникаций.

Портативные и мобильные абонентские терминалы оборудованы ненаправленными антеннами и могут функционировать также в наземной сотовой сети стандартов GSM, AMPS или IS-95 (CDMA One). Мобильные терминалы отличаются от портативных дополнительным усилителем мощности и внешней антенной. Мощность мобильного терминала не превышает 3 Вт, портативного – 0,6 Вт.

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

В зависимости от состояния радиолинии ЭИИМ терминала может изменяться в пределах от -11,9 до -0,7 дБВт. Шумовая температура приемного устройства не превышает 261 К. Они оборудованы усилителем и внешней антенной с усилением +7 дБ и имеют эквивалентную изотропно-излучаемую мощность 3,2 Вт. Продолжительность работы в режиме передачи составляет примерно 2 ч, в режиме ожидания – 15 ч.

Одним из важных параметров терминала является время системной синхронизации, которое включает в себя обнаружение текущего «созвездия» КА *Globalstar* и оценку параметров временного смещения ПСП в пилот-канале CDMA. Пока не получена оценка этих

параметров, работа в системе невозможна. Различают «холодную» и «теплую» синхронизацию. Первая имеет место при включении питания терминала и длится до 50 с, а вторая – при кратковременной (до 5 с) потере радиовидимости КА.

В состав терминалов входит устройство автоматической регулировки мощности передатчика, которое позволяет снизить мощность передатчика до 2 мВт. Регулировка уровня мощности осуществляется автономно в каждом CDMA-канале. Команда на изменение значения мощности передается со станции сопряжения, в которой измеряется уровень принимаемого сигнала от каждого терминала индивидуально, сравнивается с пороговым значением. После этого абоненту передается команда на увеличение или уменьшение мощности, что позволяет выровнять сигналы на входе ретранслятора, снизить уровень взаимных помех и максимизировать пропускную способность.

Последовательный порт ввода/вывода данных позволит подключать к терминалам пользователя компьютер, факсимильный аппарат или другие устройства и обеспечивать передачу данных или факсимильных сообщений.

Компании «Qualcomm», «Telit» и «Ericsson» выпускают абонентские терминалы трех типов – трехрежимные (*Globalstar/AMPS/CDMA*), двухрежимные (*Globalstar/GSM*) и однорежимные (*Globalstar*) (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5. Портативные абонентские мобильные терминалы ССППС *Globalstar*

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

С 2000 г. фирма «Ericsson» предлагает мобильный спутниковый телефон R290. Двухрежимный (*Globalstar/GSM*) AT R290 имеет массу 350 г и размеры 160×60×37 мм. В телефоне реализован режим работы в сети GSM. Скорость передачи составляет 7,2 кбит/с (спутниковая сеть *Globalstar*) и 9,6 кбит/с (сеть GSM). Время работы в режиме ожидания *Globalstar/GSM* составляет 5/36 ч, в режиме разговора *Globalstar/GSM* – 1/5 ч. Контракт на производство трубок также включает поставку автомобильных и/или стационарных абонентских терминалов.

Весной 2003 г. фирма «Ericsson» выпустила на рынок США новый спутниковый телефон стационарного варианта исполнения *Globalstar* FAU-200. Он имеет защищенный от погодных

условий корпус и может устанавливаться непосредственно на стенах зданий, столбах или других конструкциях.

С марта 2003 г. компания «ГлобалТел» предлагает на российском рынке спутниковый телефон SAT-600 фирмы «Telit» и морской комплект абонентского оборудования GSP-2800M производства фирмы «Qualcomm».

Портативный абонентский мобильный терминал SAT-600 фирмы «Telit» обеспечивает связь в режимах Global star/GSM. Его характеристики следующие: масса – 300 г, размеры – 220×65×5 мм, время работы в режиме разговора *Globalstar*/GSM – 1/5 ч, время работы в режиме ожидания *Globalstar*/GSM – 6/36 ч.

Наибольшую популярность в настоящее время имеет портативный мобильный спутниковый телефон фирмы «Qualcomm» GSP1600 Tri-Mode – трехрежимный телефон (*Globalstar*/AMPS/CDMA). Кроме возможностей работы в спутниковой сети *Globalstar* он обеспечивает телефонную связь и передачу данных в режиме сотовой системы CDMA-800, а также в режиме североамериканской аналоговой сотовой системе AMPS. Кроме того, полностью реализован спутниковый сервис системы *Globalstar*. Основные характеристики телефона следующие:

- максимальная выходная мощность – 400 мВт;
- размеры – 177×57×48 мм (антенна телефона опущена);
- масса – 370 г;
- скорость вокодера – 8 кбит/с (*Globalstar*) и 13 кбит/с (CDMA-800);
- дисплей на 4×16 символов, записная книжка на 99 номеров, ускоренный автодозвон, голосовая почта, прием сообщений, определитель номера;
- встроенный модем для передачи данных со скоростью до 9,6 кбит/с;
- факс-модем со скоростью до 9,6 кбит/с;
- время работы в режиме разговора *Globalstar*/APMS/CDMA – 1/1/3 ч, время работы в режиме ожидания *Globalstar*/AMPS/CDMA – 5/7/25 ч.

Операторы могут собирать различные данные по трафику в масштабе времени, близком к реальному. Данные могут поступать со всего мира от изолированно размещенных объектов или передвигающихся контейнеров. Для решения этих задач предлагаются специальные модемы передачи данных *Globalstar*, функционирующие автономно, а именно:

1. Симплексный модем (*Globalstar* Simplex Modem) передачи телеметрической информации. Этот прибор предназначен для дистанционного оценивания состояния объекта и мониторинга происходящих процессов и устанавливается на стационарных и мобильных объектах. Сведения могут собираться конфиденциально.

2. Симплексный модем Sentauri. Это – прибор телеметрического контроля, разработанный специально для использования на автотранспорте. Он обеспечивает автоматическую передачу навигационной и другой информации, поступающей по двум входам.

3. Дуплексный модем QUALCOMM GSP-1620.

Примеры абонентского оборудования различного назначения для системы *Globalstar* приведены в таблице 3.3.

Абонентская аппаратура ССПС *Globalstar*

Тип прибора	Назначение	Скорость передачи, кбит/с	Примечание
Telit SAT-550	Спутниковый портативный телефон	до 9,6	Двухрежимный – сеть GSM-900
Telit SAT-600	Спутниковый портативный телефон	до 9,6	Двухрежимный – сеть GSM-900
Mobile Интернет Access	Модем прямого доступа к Интернету	9,6	
<i>Globalstar</i> MCM-8	Модем прямого доступа к Интернету	до 56	На 8 модемов Qualcomm GSP-1620
CopyTele DCS-1200	Шифратор	до 9,6	
CopyTele DCS-1400	Шифратор	до 9,6	На основе телефона Qualcomm GSP-1600
Mykotronx KIV-7HSB	Шифратор	до 9,6	Разработан для аппаратуры Type-1

Принципы сигналообразования в каналах спутниковой системы персональной подвижной связи *Globalstar*

Общая характеристика сигнала. Для уплотнения каналов в системе *Globalstar* используется комбинация методов многостанционного доступа с частотным и кодовым разделением каналов (МДЧР и МДКР). Общая полоса частот шириной 16,5 МГц, отведенная для связи в L-диапазоне (1610,0 – 1626,5 МГц) и S-диапазоне (2483,5 – 2500,0 МГц), разделена на 13 поддиапазонов шириной 1,25 МГц (рисунок 3.4). Благодаря использованию многолепестковой антенной системы, указанных поддиапазонов частот и кодового разделения абонентов обеспечивается результирующий коэффициент повторного использования диапазона, равный 288. Частотный план радиолинии связи КА со станцией сопряжения представлен на рисунке 3.6.

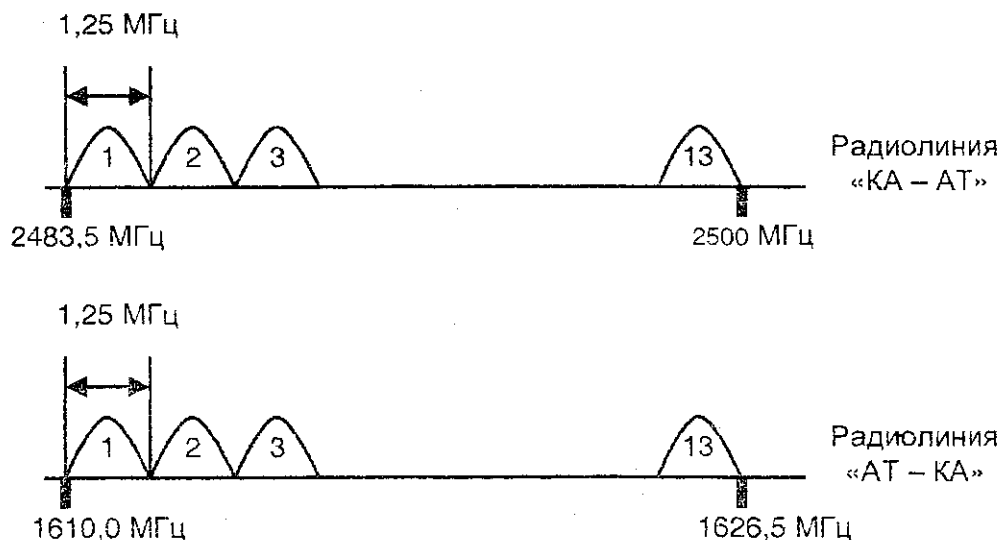


Рисунок 3.6. Частотный план радиолинии персональной связи

Внутри каждого из частотных каналов разделение производится по форме сигналов.

Сигнал каждого абонента преобразуется в широкополосный сигнал с полосой частот 1,25 МГц. В качестве модулирующей последовательности выбраны функции Уолша, поэтому разделение сигналов абонентов выполняется по виду последовательности Уолша, фактически по ее номеру в ансамбле последовательностей.

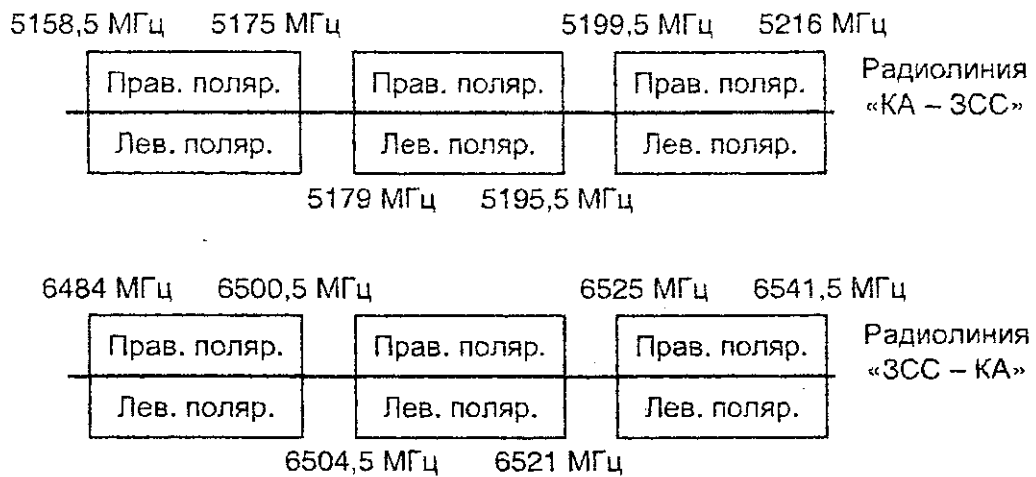


Рисунок 3.7. Частотный план радиолинии связи КА со станцией сопряжения

Модуляция несущего колебания. После процедуры прямого расширения спектра цифровой поток со скоростью 1,2288 Мбит/с подвергается квадратурному I/Q-преобразованию с последующей фазовой модуляцией несущих колебаний ($\cos 2\pi ft$ и $\sin 2\pi ft$), в результате сложения которых образуется излучаемый радиосигнал вида QPSK.

Квадратурное I/Q-преобразование осуществляется с использованием периодических ЛРПМ с формирующими полиномами вида:

$$A_1(X) = X^{15} + X^{13} + X^9 + X^8 + X^7 + X^5 + 1;$$

$$A_Q(X) = X^{15} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^6 + X^5 + X^4 + X^3 + 1.$$

Каждая такая ЛРПМ имеет период $2^{15} - 1 = 32767$ символов, что при скорости 1,2288 Мбит/с составляет 26,6(6) мс, т.е. один кадр синхросигнала. За тактируемый интервал 2 с формируется 75 таких пилотных последовательностей I/Q-каналов.

В каждом канале ЗСС квадратурное I/Q-преобразование и фазовая модуляция выполняются по одинаковой схеме (рисунок 3.8). В свою очередь, в АТ тракт формирования радиосигнала отличается только наличием элемента задержки в квадратурном канале.

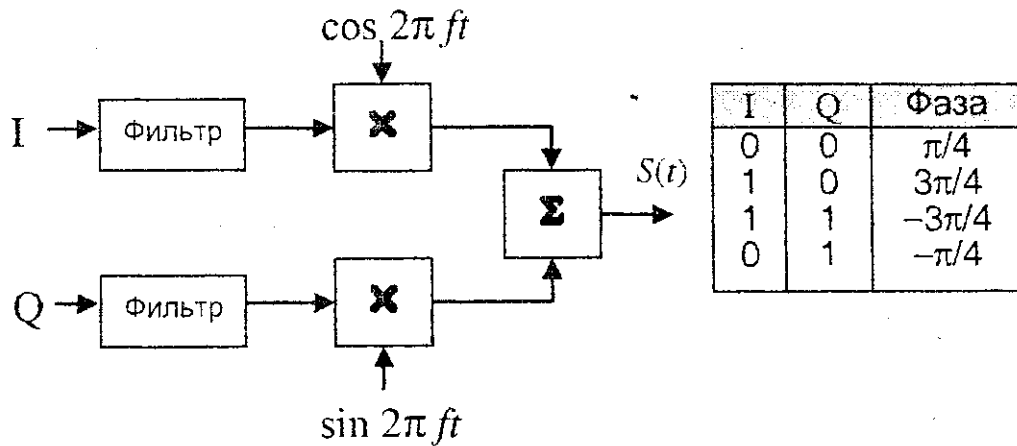


Рисунок 3.8. Тракт формирования радиосигнала ЗСС и таблица соответствия фазы символам квадратурных каналов.

Виды каналов. Всего для связи в режиме МДКР используются 64 канала (64 последовательности Уолша). Процедуры прямого расширения спектра в ЗСС и в АТ несколько различаются. Однако конечная скорость после расширения спектра одинакова во всех каналах и равна 1,2288 Мбит/с.

В радиолинии «ЗСС — КА» организуются следующие виды каналов:

- один канал для передачи пилот-сигнала PICH (Pilot Channel);
- один канал синхронизации SyCh (Synchronization Channel);
- семь каналов персонального вызова PgCh (Paging Channel);
- 55 каналов прямого трафика FTC (Forward Traffic Channel), предназначенных для информационного обмена.

В радиолинии «КА – ЗСС» имеют место следующие каналы:

- один канал доступа AcCh (Access Channel);
- один канал обратного трафика RTC (Reverse Traffic Channel).

В последнем случае в АТ работает один из двух каналов (RTC или AcCh).

Канал пилот-сигнала. По каналу пилот-сигнала передается единое время системы в виде последовательности единиц, тактируемых сигналом единого времени UTC, получаемых ЗСС от GPS каждую четную секунду. Пилот-сигнал формируется с помощью квадратурной фазовой манипуляции ФМн-4 (QPSK), передается последовательность «все единицы» длиной $2^{17} - 1$. Скорость передачи составляет около 1,2 Мбит/с. Во всех станциях сопряжения использует один и тот же короткий код, но с различным сдвигом относительно единой шкалы времени. Сдвиг кода однозначно идентифицирует станцию сопряжения, КА и луч. Передача последовательности «единиц» используется для контроля уровня сигнала в радиоканале (рисунок 3.9,а).

Канал синхронизации. По каналу синхронизации передается поток синхроданных со скоростью 1,2 кбит/с. Пакеты синхроданных формируются непосредственно на ЗСС, имеют длину 32 бит (26,6(6)мс) и содержат следующую информацию: текущее время, код идентификации станции сопряжения, эфемериды КА, расписание каналов пейджинга. Для коррекции ошибок используется сверточное помехоустойчивое кодирование ($r = 1/2, k = 9$), а для борьбы с замираниями – блочное перемежение символов. Скорость передачи синхросигнала после кодирования, двукратного повторения и перемежения символов равна 4,8 кбит/с (128 символов в пакете длительностью 26,6(6) мс). Перед излучением этот поток

складывается по mod 2 с последовательностью Уолша длиной 64 символа (рисунок 3.9, б).

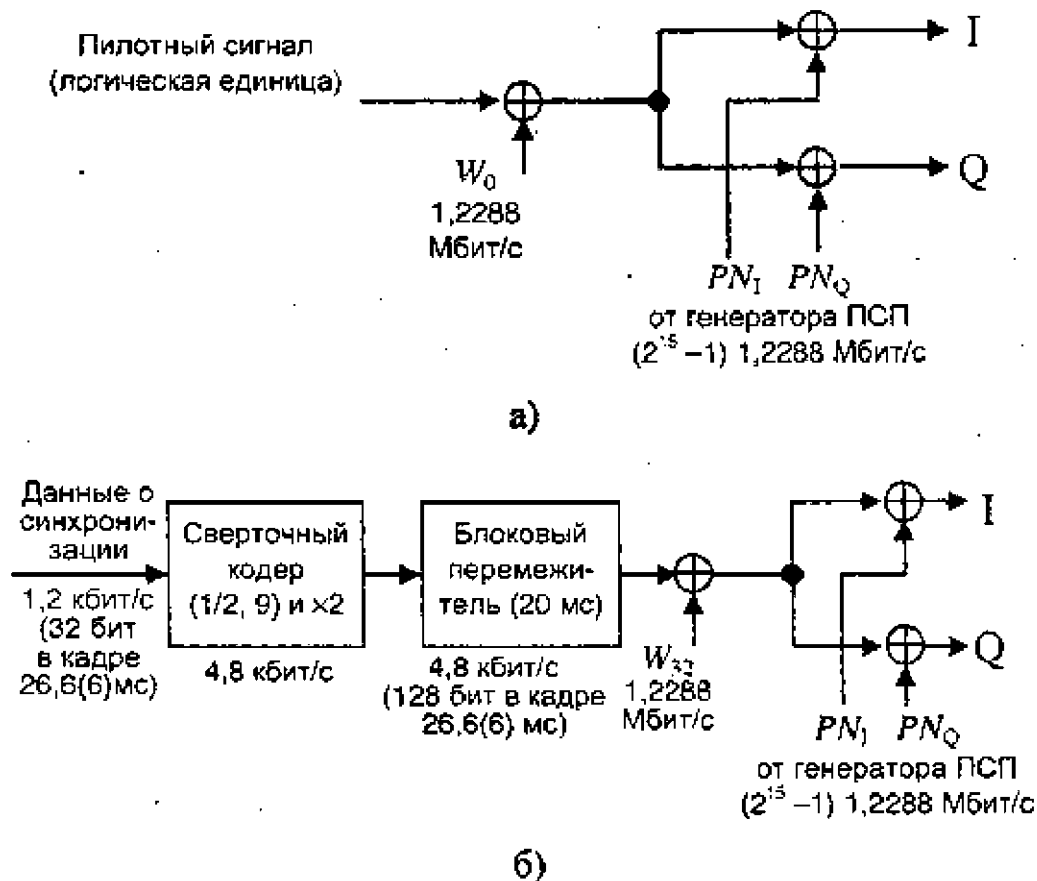


Рисунок 3.9. Формирование сигналов в пилот-канале (а) и в канале синхронизации (б) в тракте передачи ЗСС.

Канал персонального вызова. В каналах персонального вызова передается технологическая информация, необходимая для установления соединения (частота выделенного канала, код идентификации пользователя, номер вызываемого абонента). Скорость передачи зависит от режима работы и может изменяться в пределах от 4,8 до 9,6 кбит/с. Пакеты данных формируются на ЗСС и имеют длину 192 или 96 бит в кадре длительностью 20 мс. В канале используются сверточное кодирование ($r = 1/2, k = 9$), приведение к единой скорости, а также блочное перемежение символов. Скорость передачи сигнала вызова после кодирования, однократного или двукратного повторения и перемежения символов равна 19,2 кбит/с (384 символа в пакете длительностью 20,0 мс). Выходной сигнал подвергается суммированию по mod 2 с псевдослучайной последовательностью длиной $(242 - 1)$ бит, а перед излучением – с последовательностью Уолша длиной 64 символа (рисунок 3.10, а).

Прямой информационный канал. Каналы прямого трафика предназначены для передачи информационных сообщений абонентам сети Globalstar. В канале используется тот же алгоритм перекодирования информационных потоков в выходной поток 19,2 кбит/с.

В каналах прямого трафика могут передаваться данные (в том числе данные речевого кодека в пакетах длительностью 20 мс). Сначала в пакеты вводятся индикаторы типа кадра (12 или 8 бит) в зависимости от скорости исходного потока. Затем дополняется хвостовой блок 8 бит. В результате этих процедур скорости в пакетах возрастают до 9,6; 4,8; 2,4 и 1,2 кбит/с. На выходе сверточного кодера ($r = 1/2, k = 9$) скорости становятся равными 19,2; 9,6; 4,8 и 2,4 кбит/с, а длина пакетов составляет 384; 192; 96 и 48 бит (20 мс). После этого проводится процедура выравнивания скоростей путем повтора кодированных блоков (кратность повторов

составляет $\times 1, \times 2, \times 4, \times 8$), в результате чего скорость на выходе становится единой и составляет 19,2 кбит/с. Следующая процедура состоит в перемежении символов, причем таблицы перемежения для каждой из скоростей разные. В результате выполнения всех перечисленных процедур на выходе каждого из 55 каналов имеет место цифровой поток со скоростью 19,2 кбит/с (384 символа в пакете длительностью 20 мс). Далее осуществляется скремблирование длиной ЛРПМ с полиномом 42-й степени, мультиплексирование и процедура прямого расширения спектра последовательностей Уолша (рисунок 3.10, б).

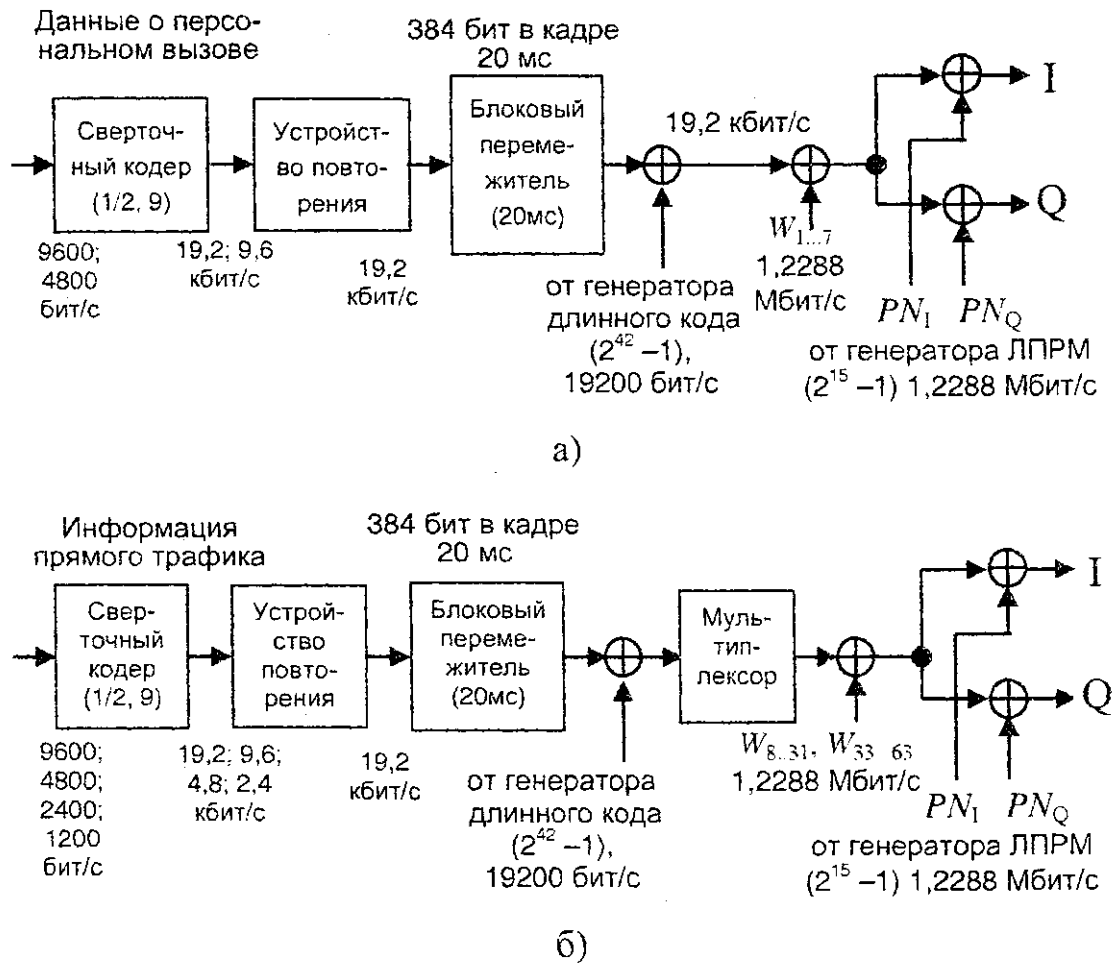


Рисунок 3.10. Схемы кодирования в каналах доступа (а) и прямого трафика (б) ЗСС.

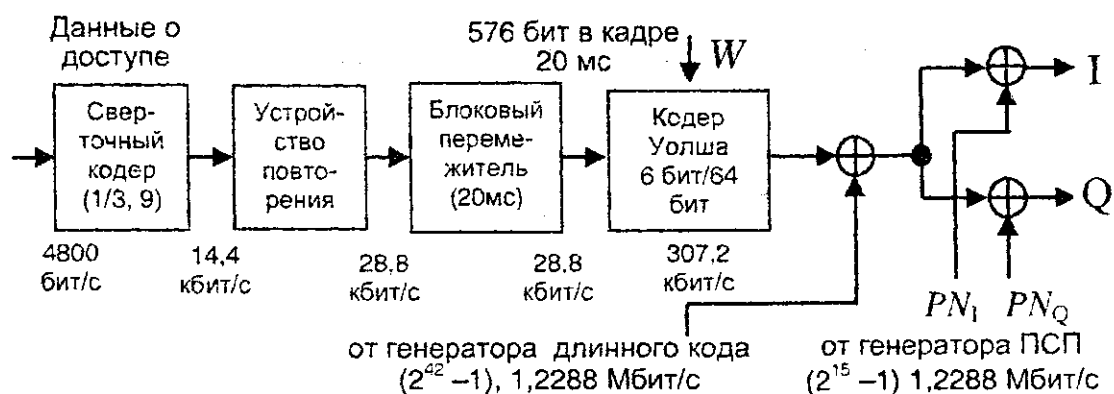
В каналах передачи данных с абонентского терминала формируются нижеследующие каналы.

Канал доступа. Канал доступа предназначен для передачи запросных пакетов. В канале используется протокол доступа типа синхронная АЛОХА (Slotted ALOHA). Пакет состоит из преамбулы и информационной части запроса. Преамбула представляет собой элемент длиной ПСП.

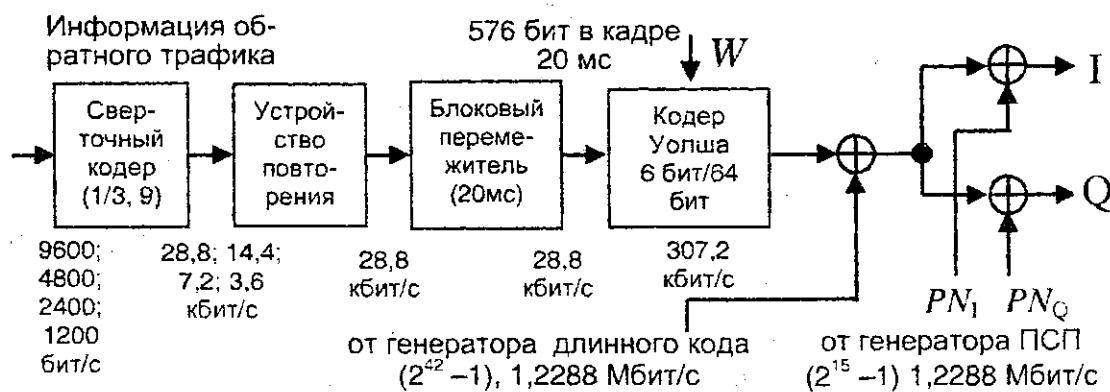
Исходная скорость передачи в канале доступа составляет 4,4 кбит/с (88 бит в кадре 20 мс). После добавления хвостовых символов скорость становится стандартной (4,8 кбит/с). В результате выполнения процедур сверточного кодирования ($r = 1/3, k = 9$), повторения ($\times 2$) и перемежения на выходе канала имеет место цифровой поток со скоростью 28,8 кбит/с (576 символов в пакете 20 мс). При кодировании с помощью последовательности Уолша каждые шесть символов информационного потока кодируются 64 символами последовательности Уолша по правилу $I_0 + 2I_1 + 4I_2 + 8I_3 + 16I_4 + 32I_5$, после чего скорость возрастает до 307,2 кбит/с (6144 символа в пакете 20 мс).

Указанный поток поступает на вход устройства расширения спектра с помощью длинной ЛРПМ с формирующим полиномом 42-й степени и скоростью 1,2288 Мбит/с (рисунок 3.11, а).

Обратный информационный канал. По обратному каналу информационного обмена абонент передает сообщения на станцию сопряжения. В канале используются те же процедуры преобразования, что и в канале прямого трафика. Отличие состоит в параметрах сверточного кодирования ($r = 1/3$, $k = 9$), в результате чего скорость цифрового потока отличается и составляет 28,8 кбит/с (576 символов в кадре 20 мс). По аналогии с каналом доступа этот поток преобразуется в кодере Уолша (6 символов информационного потока, поделенные на 64 символа последовательности Уолша) по тому же правилу (рис.3.11, б). Расширение спектра сигнала осуществляется с помощью длинной ЛРПМ с формирующим полиномом 42-й степени и скоростью 1,2288 Мбит/с. Кроме того, между кодером Уолша и блоком расширения спектра включен мультиплексор для ввода данных управления мощностью.



а)



б)

Рисунок 3.11. Схемы кодирования в каналах доступа (а) и обратного трафика (б) АТ.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие спутниковые системы связи называются мобильными?
2. Поясните назначение, решаемые задачи, орбитальную группировку спутниковой системы персональной подвижной связи Orbcomm.
3. Назначение, решаемые задачи спутниковой системы персональной подвижной связи Iridium.
4. Состав и параметры спутниковой системы персональной подвижной связи Iridium.

5. Перечислите виды и основные параметры радиолиний системы Iridium.
6. Назначение, предоставляемые услуги и принципы функционирования спутниковой системы персональной подвижной связи Globalstar.
7. Сформулируйте состав спутниковой системы Globalstar.
8. Приведите основные параметры системы Globalstar.
9. Принципы сигналообразования в каналах спутниковой связи Globalstar.