

# Тема 2.3

## Сотовые и спутниковые системы

- 1** Принципы функционирования систем сотовой связи.  
Стандарты GSM и CDMA
- 2** Спутниковые системы передачи данных. Общие сведения о системах спутниковой связи. Структура спутниковых систем связи.
- 3** Низкоорбитальные спутниковые системы связи.  
Среднеорбитальные спутниковые системы связи
- 4** Системы связи с использованием геостационарных спутников

# **СОТОВЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ**

**ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ СОТОВОЙ СВЯЗИ**

The bottom of the slide features a decorative graphic consisting of several overlapping, wavy horizontal bands. From top to bottom, the bands are light blue, dark grey, black, and white, creating a layered, wave-like effect.

# Принципы функционирования систем сотовой связи

- Первая система радиотелефонной связи, предлагающая услуги всем желающим, начала свое функционирование в 1946 г. в г. СентЛуис (США). Радиотелефоны этой системы использовали обычные фиксированные каналы связи.
- Если канал был занят, то абонент вручную переключался на другой — свободный.
- Аппаратура была громоздкой и неудобной

□ Главная проблема, с которой пришлось столкнуться при дальнейшем развитии систем подвижной связи, — это ограниченность частотного ресурса: число фиксированных частот в определенном частотном диапазоне не может бесконечно увеличиваться, поэтому радиотелефоны с близкими по частоте рабочими каналами начинают создавать взаимные помехи

- В середине 40-х гг. XX в. исследовательский центр Bell Laboratories американской фирмы AT&T предложил идею разбиения всей обслуживаемой территории на небольшие участки, которые стали называться сотовыми

- Каждая сота должна обслуживаться передатчиком с ограниченным радиусом действия и фиксированной частотой. Это позволило бы использовать эту же самую частоту повторно в другой соте.
- Однако прошло более 30 лет, прежде чем такой принцип был реализован на практике. В широкую эксплуатацию сотовые системы поступили в середине 1980-х гг

- Разделить обслуживаемую территорию на соты можно двумя способами:
- 1) путем измерения статистических характеристик распределения сигналов в системе связи;
- 2) путем измерения или расчета параметров распределения сигнала для конкретного района.

- При использовании первого способа вся обслуживаемая территория разделяется на одинаковые по форме зоны и с помощью законов статистической радиофизики определяются их допустимые размеры и расстояния до других зон, в пределах которых выполняются условия допустимого взаимного влияния.



- Для оптимального разделения территории на соты могут быть использованы три фигуры: треугольник, квадрат и шестигранник.
- Наиболее подходящей является последняя фигура, так как если антенну с круговой диаграммой установить в центре, то будет обеспечен доступ ко всем участкам соты.
- При использовании первого способа интервал между зонами с одинаковыми рабочими каналами обычно получается больше требуемого для обеспечения необходимого уровня помех.

- При использовании второго способа параметры системы определяют так, чтобы минимизировать число базовых станций, определить место их расположения, необходимость использования направленных антенн, пассивных ретрансляторов и смежных центральных станций в момент пиковой нагрузки.
- Каждая ячейка-сота обслуживается своим передатчиком с невысокой выходной мощностью и ограниченным числом каналов связи. Это позволяет без помех использовать повторно частоты каналов этого передатчика в другой, удаленной на значительное расстояние ячейке, поэтому в соседних сотах используются различные частоты.

- Группа сот с различным набором частот называется кластером.
- Определяющим его параметром является количество используемых частот. На рис.1, а размерность кластера равна 3. На практике это количество может достигать 15.
- Смежные базовые станции, использующие различные наборы частотных каналов, образуют группу из  $C$  ячеек.
- Если каждой базовой станции выделяется набор из  $t$  каналов с шириной полосы каждого  $F_K$ , то общая ширина полосы частот, занимаемая данной системой связи, будет составлять  $F_c = F_K m C$
- величина  $C$  определяет минимально возможное число каналов в системе, поэтому ее называют частотным параметром, или коэффициентом повторения частот

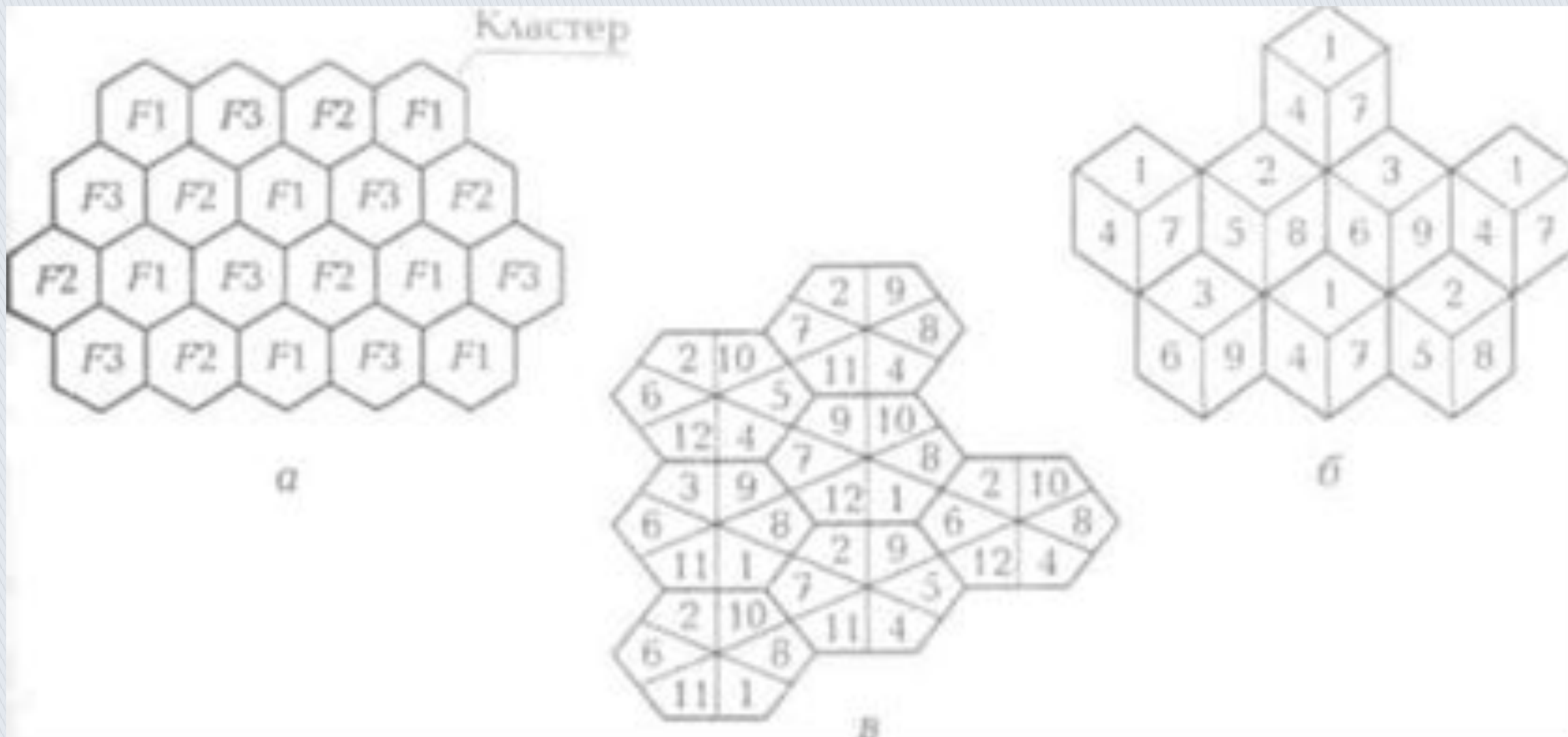


Рис. 1. Повторное использование частот в сотовой структуре:  
 а — односекторные соты; б — трехсекторные соты; в — шестисекторные соты

- Применение шестиугольных ячеек позволяет минимизировать ширину необходимого частотного диапазона, поскольку такая форма обеспечивает оптимальное соотношение между коэффициентом повторения частот защитным интервалом, т. е. удалением базовых станций друг от друга, на которых допускается повторное использование частот.
- Эффективным способом снижения уровня помех может быть использование направленных секторных антенн с узкими диаграммами направленности.

- Деление сот на секторы позволяет чаще применять частоты в сотах повторно.
- Модель повторного использования частот в трехсекторных сотах имеет вид, представленный на рис. 1, б.
- В этой модели используются трехсекторные антенны с шириной диаграммы направленности в каждом секторе  $120^\circ$ .
- Частоты не повторяются в трех соседних сотах с формированием девяти групп частот.

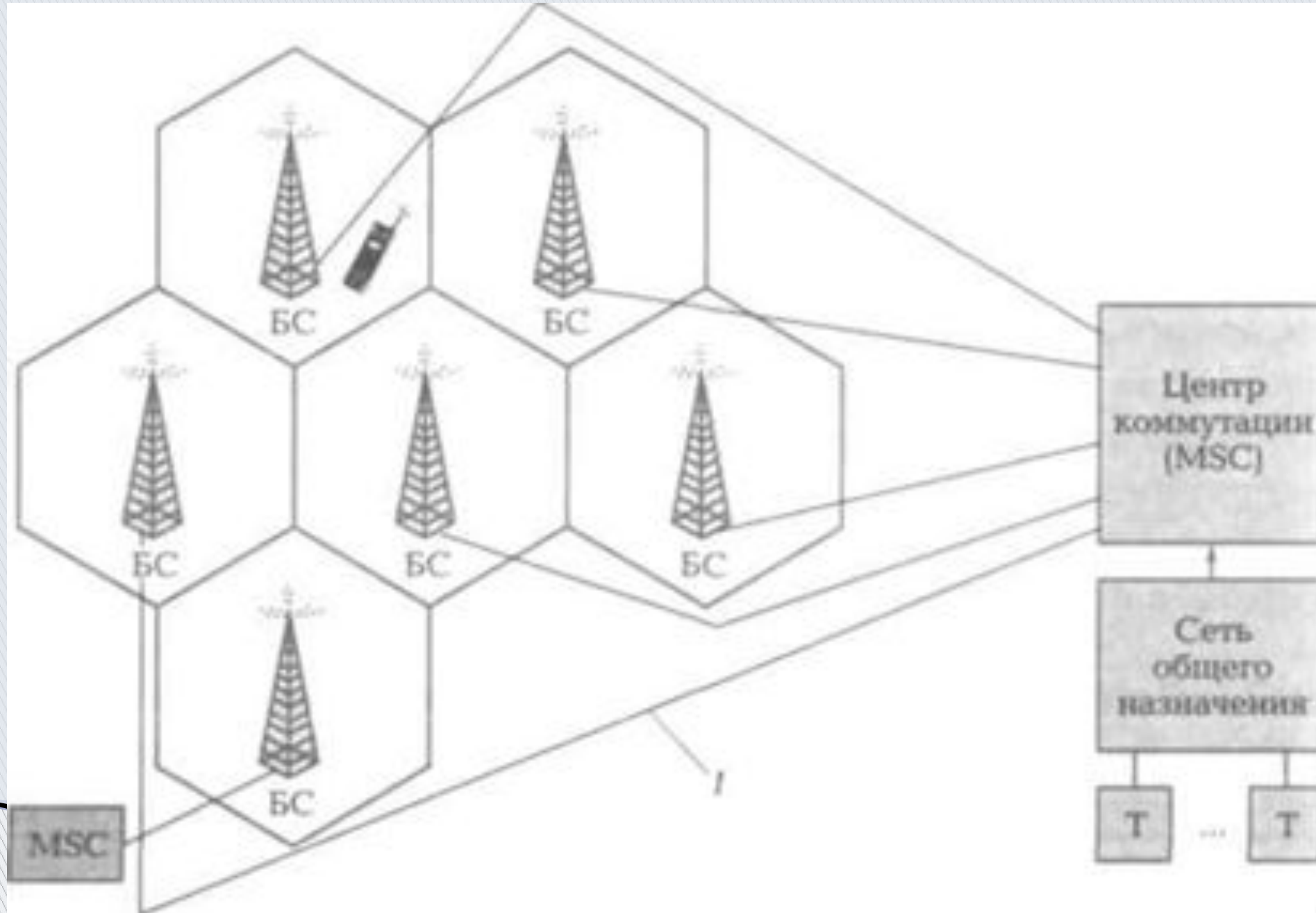
- Самую высокую эффективность использования полосы частот и, следовательно, наибольшее число абонентов сети, работающих в этой полосе частот, обеспечивает способ повторного использования частот, при котором задействуются две базовые станции.
- Каждая частота используется дважды в пределах кластера, состоящего из четырех ячеек.
- Базовая станция каждой ячейки может работать на 12 частотах, используя антенны с диаграммой направленности  $60^\circ$  (рис.1, в).

- Каждая из сот обслуживается, таким образом, многоканальным приемопередатчиком.
- Число каналов базовой станции обычно кратно восьми.
- Один из каналов является управляющим.
- На этом канале производится непосредственное установление соединения при вызове подвижного абонента сети, а сам разговор начинается только после того, как будет найден свободный в данный момент канал и произойдет переключение на него.
- Любой из каналов представляет собой пару частот для дуплексной связи.



- Все базовые станции (БС) сотовой системы связи (рис. 2) соединены с центром коммутации связи (MSC) по выделенным проводным или радиорелейным каналам связи.
- MSC — это автоматическая телефонная станция системы сотовой связи, обеспечивающая все функции управления сетью.
- Она осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, организует их эстафетную передачу, в процессе которой достигаются непрерывность связи при перемещении абонента из соты в соту и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностей, производит соединение абонента с обычной телефонной сетью
- Несмотря на разнообразие стандартов сотовой связи алгоритмы их функционирования в основном схожи

Рис. 7.2. Структура сотовой системы связи: / — проводные каналы связи



- Когда радиотелефон находится в режиме ожидания, он постоянно сканирует либо все каналы системы, либо только управляющие.
- Для вызова соответствующего абонента всеми базовыми станциями сотовой системы по управляющим каналам связи передается сигнал вызова.
- Сотовый телефон вызываемого абонента при получении этого сигнала отвечает по одному из свободных каналов управления.
- Базовая станция, принявшая ответный сигнал, передает информацию о его параметрах в центр коммутации, который, в свою очередь, переключает разговор на ту станцию, на которой зафиксирован максимальный уровень сигнала вызываемого абонента.

- Во время набора номера радиотелефон занимает один из свободных каналов, уровень сигнала базовой станции в котором в данный момент максимален.
- По мере удаления абонента от базовой станции или в связи с ухудшением условий распространения радиоволн уровень сигнала уменьшается.

- Улучшение качества разговора достигается при этом путем переключения абонента на другой канал связи.
- Специальная процедура, называемая передачей управления вызовом, или эстафетной передачей, позволяет переключить разговор на свободный канал другой базовой станции, в зоне действия которой оказался в это время абонент

- Аналогичные действия предпринимаются при снижении качества связи из-за влияния помех или при неисправности в коммутационном оборудовании.
- Для контроля таких ситуаций базовая станция снабжена специальным приемником, периодически измеряющим уровень сигнала телефона разговаривающего абонента и сравнивающим его с допустимым пределом.
- Если уровень сигнала меньше этого предела, то информация об этом передается в центр коммутации по служебному каналу.

- Центр коммутации выдает команду об измерении уровня сигнала радиотелефона на ближайшие к нему базовые станции. После получения информации от базовых станций центр коммутации переключает радиотелефон на ту из них, на которой уровень сигнала оказался наибольшим. Эти переключения происходят быстро, и абонент их не замечает.

- В средствах массовой информации часто поднимается вопрос о вредном воздействии на человека систем сотовой связи.
- В данном случае речь может идти не об абсолютном исключении вредного фактора, а лишь о допустимой степени его присутствия.
- До 60 % энергии излучения передатчика сотового телефона может поглощаться тканью мозга человека.



- Единицей измерения влияния микроволнового излучения на организм человека является специфическая норма поглощения (SAR), численно равная энергии поглощенного излучения, приходящейся на 1 г биоткани.
- При поглощении единицы излучения в течение 20 мин ткани нагреваются на 1 °С. Этот нагрев может быть компенсирован обменными процессами организма.
- Европейские организации рекомендуют предельную норму SAR 2 мВт/г. Уровень SAR у самой безопасной Модели сотового телефона составляет 0,28 мВт/г, у самой опасной — 1,33 мВт/г.

# СТАНДАРТЫ GSM И CDM

- Цифровые системы сотовой подвижной связи представляют собой системы второго поколения.
- По сравнению с аналоговыми системами они предоставляют абонентам больший спектр услуг и обеспечивают повышенное качество связи, а также взаимодействие с цифровыми сетями передачи данных с пакетной коммутацией.
- Основные характеристики наиболее известных стандартов цифровых сотовых систем приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Основные характеристики стандартов цифровых сотовых систем

Характеристика	GSM (DCS 1800)	D-AMPS (ADC)	JCD	CDMA
Метод доступа	TDMA	TDMA	TDMA	CDMA
Количество речевых каналов на несущую	8(16)	3	3	32
Рабочий диапазон частот, МГц	935...960 890...915 (1 710...1 785) (1 805...1 880)	824...840 869...894	810...826 940...956 1 429...1 441 1 447...1 489	824...840 869...894
Разнос каналов, КГц	200	30	25	1250
Полоса частот на один разговорный канал, КГц	25(12,5)	10	8,3	—
Скорость передачи информации, Кбит/с	270	48	42	—
Размер соты, км	0,5...35,0	0,5...20,0	0,5...20,0	0,5...25,0

Система связи стандарта GSM рассчитана на использование ее в коммерческих целях. Стандарт предоставляет ряд услуг, которые не реализованы или реализованы не полностью в других стандартах. К ним относятся:

- использование интеллектуальных SIM-карт для доступа к услугам связи;
- шифрование передаваемых сообщений;
- аутентификация и идентификация абонентского оборудования по криптографическим алгоритмам;
- автоматический роуминг различных сетей GSM в национальном и международном масштабах;
- межсетевой роуминг с абонентами других стандартов, а также со спутниковыми сетями персональной связи.

- Полоса частот 890... 915 МГц используется для передачи сообщений с подвижной станции на базовую; полоса 935...960 МГц — для передачи с базовой станции на подвижную.
- Разность между частотами этих каналов постоянна и равна 45 МГц.
- Разнос частот между соседними каналами составляет 200 КГц.
- Таким образом, в отведенном диапазоне 25 МГц размещается 124 канала связи. При этом используется принцип временного разделения каналов (TDMA), что позволяет на одной несущей частоте разместить восемь речевых каналов одновременно.
- Скорость преобразования речи — 13 Кбит/с.

- Обработка речи осуществляется в рамках принятой системы прерывистой передачи речи DTX (Discontinuous Transmission), которая обеспечивает включение передатчика только тогда, когда пользователь начинает разговор, и отключает его в паузах и в конце разговора.
- Система DTX управляется детектором активной речи VAD (Voice Activity Detector), который обеспечивает обнаружение и выделение интервалов речи с шумом и шума без речи.
- Для защиты от ошибок, возникающих в радиоканалах, применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением.

- Каждый подвижный абонент на время пользования системой сотовой связи получает стандартный модуль подлинности абонента (SIM-карту), который содержит:
  - • международный идентификационный номер IMSI;
  - • свой индивидуальный ключ аутентификации  $K_i$ ;
  - • алгоритм аутентификации АЗ.

- С помощью этой информации происходит полный цикл аутентификации и разрешается доступ абонента к сети.
- Процедура реализуется следующим образом. Сеть передает на подвижную станцию некоторое случайное число RAND.
- В аппаратуре сотового радиотелефона с помощью индивидуального ключа  $K$ , и алгоритма АЗ осуществляются преобразование полученного числа и вычисление результата SRES.
- Это число подвижная станция посылает обратно в сеть, которая сравнивает значение этого отклика со значением, вычисленным непосредственно сетью.
- Если оба значения совпадают, то подвижная станция получает доступ к сети.



- Каждый отсчет уровня исходного аналогового сигнала в стандарте GSM представляется в виде зашифрованного сообщения, состоящего из 114 бит: двух самостоятельных блоков по 57 бит, разделенных между собой эталонной (обучающей) последовательностью — 26 бит.
- При приеме этой последовательности определяется характер искажений в тракте распространения сигнала, и характеристики приемника формируются уже применительно к конкретным условиям работы в данный момент.
- Структура кадра для восьми речевых каналов, использующих принцип ВРК (TDMA), показана на рис. 3.

1 TDMA-Кадр = 8 временным позициям (окнам)



Рис. 3. Структура кадра стандарта GSM

Для передачи по каналам управления и связи используются пять видов временных окон, основными из которых являются:

- • NB — нормальный временной интервал;
- • FB — временной интервал подстройки частоты;
- • SB — интервал временной синхронизации;
- • AB — интервал доступа.

- При передаче по разговорному каналу используется интервал NB, длительностью 0,577 мс.
- Он состоит из 114 бит зашифрованного сообщения; двух концевых комбинаций по 3 бит каждая; двух контрольных бит, разделяющих зашифрованные биты от эталонной последовательности; защитного интервала, равного времени передачи 8,25 бит.
- Повторяющиеся временные интервалы подстройки частоты FB образуют канал установки частоты.

- Интервал SV используется для синхронизации работы аппаратуры подвижной станции.
- Он содержит синхропоследовательность 64 бит и два зашифрованных блока по 39 бит в каждом, в которых записана информация о номере TDMA-кадра и идентификационный код базовой станции.
- Установочный интервал DV обеспечивает установление и тестирование канала связи.
- Интервал доступа AV обеспечивает разрешение доступа подвижной станции к новой базовой станции.

- Каждый временной интервал обозначается номером от 0 до 7, т. е. в одном кадре одновременно могут передаваться восемь речевых каналов.
- Из TDMA-кадров составляются мультикадры, состоящие из 26 или 51 кадра. Из 26 или 51 мультикадра составляется суперкадр длительностью 6,12 с. 2 048 суперкадров составляют гиперкадр длительностью 3 ч 28 мин 53 с 760 мс.
- Необходимость такой большой длительности гиперкадра обусловлена требованиями применяемого процесса криптографической защиты, в котором номер кадра используется как входной параметр шифрования.

Защита и безопасность информации осуществляется для исключения несанкционированного использования системы и обеспечения секретности переговоров.

Для этого используются механизмы:

- аутентификации;
- секретности передачи данных;
- секретности абонента;
- секретности направления вызова

## Система сотовой связи CDMA

- CDMA — это технология связи цифровыми шумоподобными сигналами с методом многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (Code Division Multiple Access).
- В ближайшие годы такие системы составят серьезную конкуренцию цифровым технологиям типа GSM.
- Идея связи принадлежит нашему соотечественнику Л.Е. Варакину.
- Основным свойством цифровой связи с шумоподобными сигналами является защищенность канала связи от перехвата, помех и подслушивания.



- Основные направления использования CDMA: наземные фиксированные беспроводные телефонные сети (стандарт cdma one WLL), сотовые мобильные системы связи и спутниковые системы связи.
- Использование принципов CDMA в сотовых системах сопряжено с определенными техническими трудностями.
- При быстром перемещении подвижного абонента со скоростью более 100 км/ч происходит потеря сигнала из-за появления ошибок вследствие недостаточного быстродействия процессора, обрабатывающего сигнал.

- В 1995 г. Министерства связи Российской Федерации приняло решение об использовании систем связи стандарта CDMA диапазона 600 МГц для построения сетей фиксированного доступа.
- В отличие от других цифровых систем, которые делят отведенный частотный диапазон на узкие каналы по частоте (FDMA) или временному (TDMA) принципу, в стандарте CDMA передаваемую информацию кодируют и код превращают в шумоподобный широкополосный сигнал, так что его можно выделить, только располагая кодом на приемной стороне.
- При этом одновременно в этой широкой полосе частот можно передавать и принимать множество сигналов, которые не мешают друг другу

- Центральными понятиями метода многостанционного доступа с кодовым разделением каналов являются:
- расширение спектра методом прямой последовательности;
- кодирование по Уолшу;
- управление мощностью передачи сигнала.

- Основной характеристикой широкополосного сигнала является его база  $B$ , определяемая как произведение ширины спектра сигнала  $F$  на его период  $T$ .
- Широкополосный сигнал может быть получен путем перемножения сигнала источника информации с сигналом источника псевдослучайного шума.
- Энергия информационного сигнала при этом распределяется в широкой полосе частот, т. е. его спектр расширяется

- Наиболее известный способ введения информации в широкополосный сигнал, заключается в наложении информации на широкополосную модулирующую кодовую последовательность перед модуляцией несущей частоты для получения широкополосного шумоподобного сигнала (ШПС).
- Узкополосный сигнал умножается для этого на псевдослучайную последовательность (ПСП) с периодом  $T$  (рис. 5), состоящую из  $N$  бит длительностью  $T_0$ .
- В этом случае база ШПС численно равна количеству элементов ПСП.

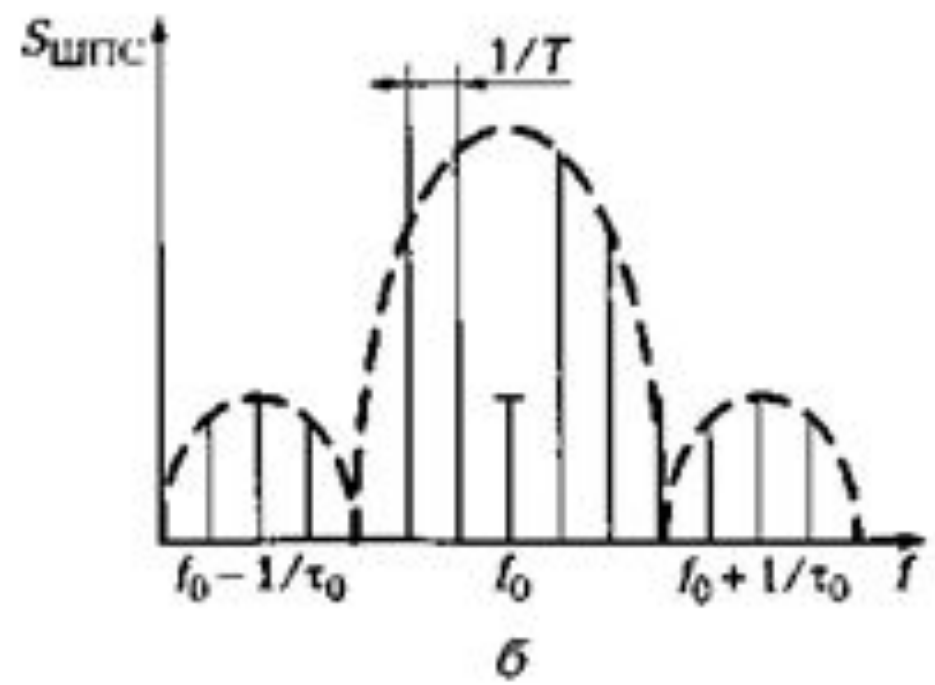
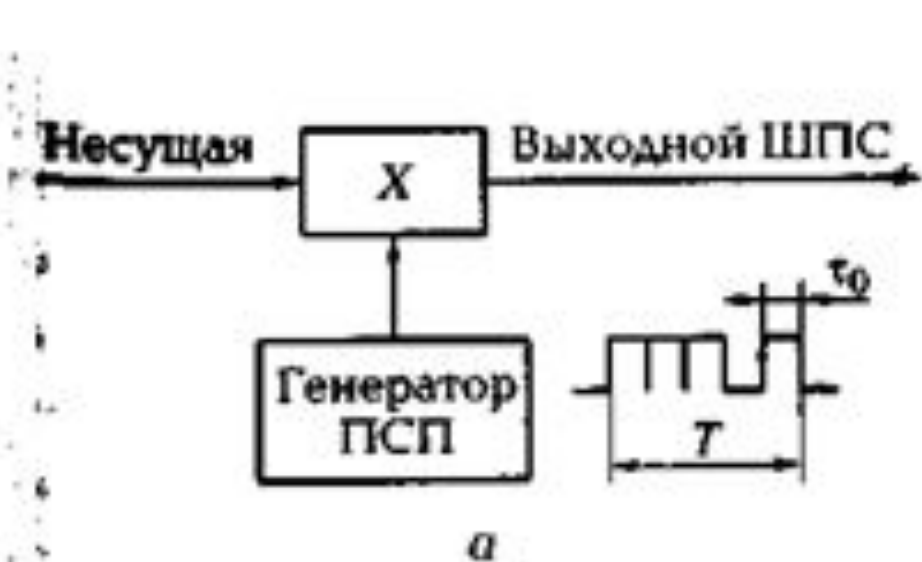


рис. 5. Принцип формирования [а] и спектр (б) ШПС

- На приемной стороне из широкополосного сигнала выделяется полезный сигнал путем преобразования спектра принятого сигнала в первоначальный спектр информационного сигнала.
- Перемножение принятого сигнала и сигнала такого же источника псевдослучайного шума ПСП, который использовался в передатчике, сжимает спектр полезного сигнала и одновременно расширяет спектр фонового шума и других источников интерференционных помех.
- Результирующий выигрыш в отношении сигнал/шум на выходе приемника есть функция отношения ширины полосы широкополосного и базового сигнала: чем больше расширение спектра, тем больше выигрыш.

- Для кодowego разделения каналов используются ортогональные коды Уолша, которые формируются из строк ортогональной матрицы. В стандарте CDMA используется матрица 64-го порядка.
- Для выделения сигнала на выходе приемника применяется цифровой фильтр.
- При ортогональных сигналах фильтр можно настроить таким образом, что на выходе его будет всегда логический 0, за исключением случаев, когда принимается сигнал, на который он настроен.



- Структурные схемы передатчика и приемника системы CDMA приведены на рис. 6.
- В сотовых системах CDMA, изменяя синхронизацию источника псевдослучайного шума, можно использовать один и тот же участок спектра частот для работы во всех ячейках сети.
- Такое 100%-ное использование доступного частотного ресурса — один из основных факторов, определяющих высокую абонентскую емкость сети и упрощающих ее организацию.
- Использование свойств систем передачи на шумоподобных сигналах для повышения абонентской емкости систем связи является одним из перспективных направлений развития сотовых систем. В ближайшем будущем они составят конкуренцию системам GSM.

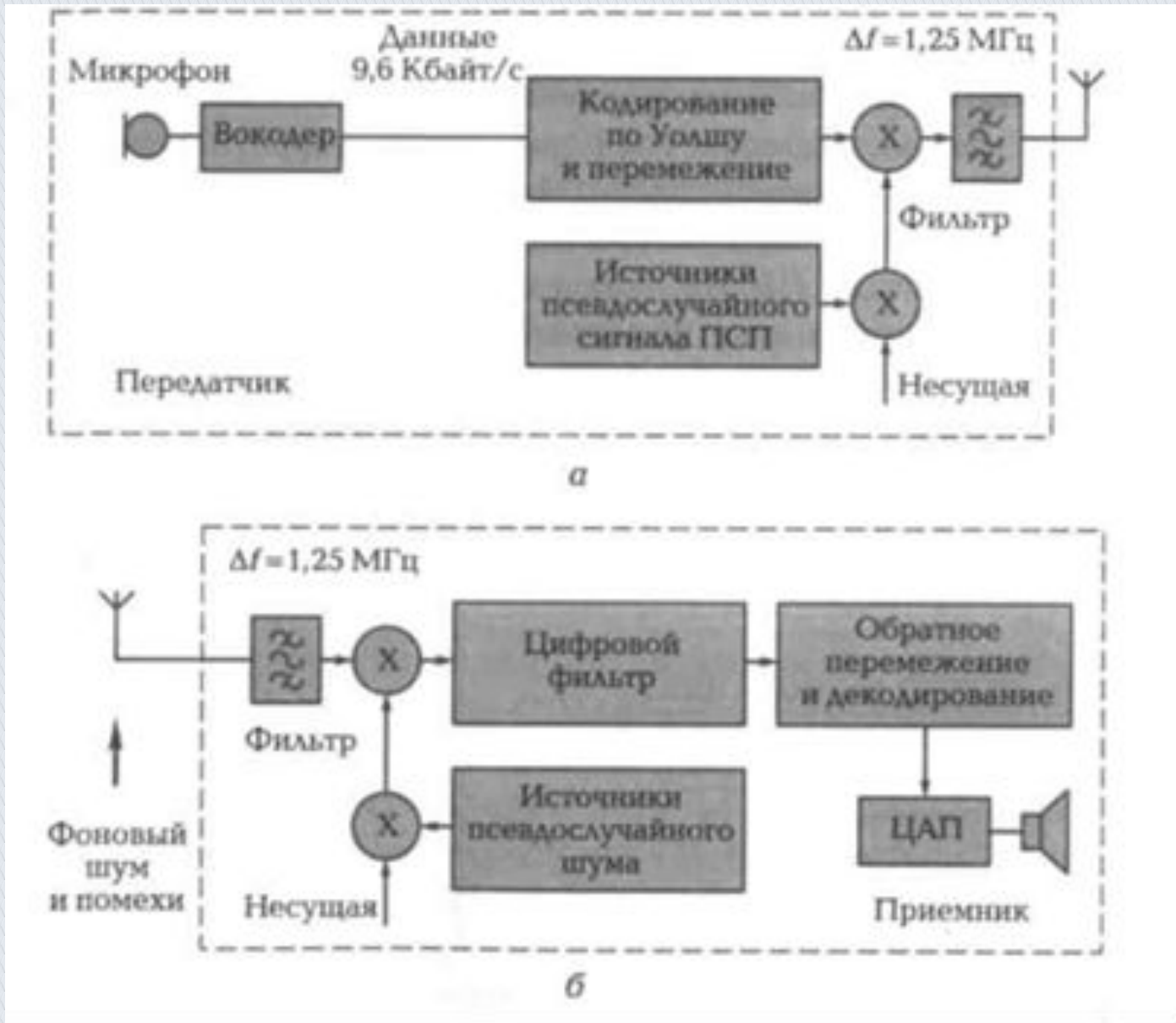


Рис. 6. Структурные схемы передатчика (а) и приемника (б) системы CDMA .

# СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАнных

Общие сведения о системах спутниковой связи

## Общие сведения о системах спутниковой связи

- Появление спутниковых сетей связи вызвало такую же революцию в передаче информации, как и изобретение телефона.
- Первый спутник связи был запущен в 1958 г., а в 1965 г. был запущен первый коммерческий спутник связи (оба — в США).
- Эти спутники были пассивными; позже на спутниках стали устанавливать усилители и приемопередающую аппаратуру.

- В настоящее время спутники связи запускаются на высоту 22 300 миль и находятся на геосинхронной (геостационарной) орбите, плоскость которой параллельна плоскости экватора.
- Линейная скорость вращения спутника вокруг Земли равна 6 879 миль/ч, что обеспечивает уравнивание гравитационного притяжения Земли и стационарность вращения спутника по отношению к вращению Земли.
- Спутник как бы зависает над неподвижной точкой поверхности Земли

- При таком положении спутника антенна наземной станции слежения может находиться в неподвижном состоянии.
- Геосинхронные спутники часто запускаются группами по три спутника. Разнесенные друг от друга на  $120^\circ$ , они обеспечивают охват почти всей поверхности Земли.
- Темпы распространения спутниковой связи очень высокие. К 2010 г. планируется создать общемировую интерактивную сеть передачи мультимедиа информации

- В спутниковых системах связи используются антенны СВЧ-диапазона частот для приема радиосигналов от передающих наземных станций и ретрансляции этих сигналов обратно на наземные станции.
- Большинство спутников используют гигагерцовый диапазон 6/4 ГГц; некоторые работают в диапазоне 14/12 ГГц (первая цифра — частота работы по звену Земля—спутник, а вторая — частота работы по звену спутник—Земля).

- Способность спутника принимать и передавать сигналы обеспечивается специальным устройством — транспондером.
- Взаимодействие между абонентами осуществляется по цепи: абонентская станция (отправитель информации)—передающая наземная радиотелеметрическая станция (РТС)—спутник—приемная наземная радиотелеметрическая станция—абонентская станция (получатель информации).
- Одна наземная РТС обслуживает группу близлежащих автоматических станций (АС).



**Для управления передачей данных между спутником и наземными РТС используются следующие способы.**

1 Обычное мультиплексирование — с частотным разделением и временным разделением.

- В первом случае весь частотный спектр радиоканала разделяется на подканалы, которые распределяются между пользователями для передачи любого трафика.

**Для управления передачей данных между спутником и наземными РТС используются следующие способы.**

Издержки такого способа: при нерегулярном ведении передач подканалы используются нерационально; значительная часть исходной полосы пропускания канала используется в качестве разделительной полосы для предотвращения нежелательного влияния подканалов друг на друга.

- Во втором случае весь временной спектр делится между пользователями, которые по своему усмотрению распоряжаются предоставленными временными квантами (слотами). Здесь также возможно простаивание канала из-за нерегулярного его использования.

2 Обычная дисциплина «первичный-вторичный» с использованием методов и средств опроса-выбора.

- В качестве первичного органа, реализующего такую дисциплину управления спутниковой связью, чаще выступает одна из наземных РТС, реже — спутник.
- Цикл опроса и выбора занимает значительное время, особенно при наличии в сети большого количества АС, поэтому время реакции на запрос пользователя может оказаться для него неприемлемым.

3 Дисциплина управления типа «первичный-вторичный» без опроса с реализацией метода множественного доступа с квантованием времени. Здесь слоты назначаются первичной РТС, называемой эталонной.

- Принимая запросы от других РТС, эталонная станция в зависимости от характера трафика и занятости канала удовлетворяет эти запросы путем назначения станциям конкретных слотов для передачи кадров.
- Такой метод широко используется в коммерческих спутниковых сетях.

## 4 Равноранговые дисциплины управления.

- Для них характерно то, что все пользователи имеют равное право доступа к каналу и между ними происходит соперничество за канал.
- В начале 1970X гг. Н. Абрамсон из Гавайского университета предложил метод эффективного соперничества за канал между некоординируемыми пользователями, названный системой ALOHA.
- Существует несколько вариантов этой системы:
  - система, реализующая метод случайного доступа (случайная ALOHA);
  - равноранговая приоритетная слотовая система (слотовая ALOHA) и др.

## Основные преимущества спутниковых сетей связи:

- 1) большая пропускная способность, обусловленная работой спутников в широком диапазоне гигагерцовых частот. Спутник может поддерживать несколько тысяч речевых каналов связи. Например, один из используемых в настоящее время коммерческих спутников имеет 10 транспондеров, каждый из которых может передавать 48 Мбит/с;

## Основные преимущества спутниковых сетей связи:

- 2) обеспечение связи между станциями, расположенными на очень больших расстояниях, и возможность обслуживания абонентов в самых труднодоступных точках;
- 3) независимость стоимости передачи информации от расстояния между взаимодействующими абонентами (стоимость зависит от продолжительности передачи или объема передаваемого трафика);



## Основные преимущества спутниковых сетей связи:

- 4) возможность построения сети без физически реализованных коммутационных устройств, обусловленная ширококвотательностью работы спутниковой связи.

Эта возможность связана со значительным экономическим эффектом, который может быть получен по сравнению с использованием обычной неспутниковой сети, основанной на многочисленных физических линиях связи и коммуникационных устройствах.

## Недостатки спутниковых сетей связи:

- 1) необходимость затрат средств и времени на обеспечение конфиденциальности передачи данных, предотвращение возможности перехвата данных чужими станциями;
- 2) наличие задержки приема радиосигнала наземной станцией Из-за больших расстояний между спутником и РТС. Это может вызвать проблемы, связанные с реализацией канальных протоколов, а также временем ответа;

## Недостатки спутниковых сетей связи:

- ▣ 3) возможность взаимного искажения радиосигналов от наземных станций, работающих на соседних частотах;
- ▣ 4) подверженность сигналов на участках Земля—спутник и спутник—Земля влиянию различных атмосферных явлений. Для разрешения проблем с распределением частот в диапазонах 6/4 и 14/12 ГГц и размещением спутников на орбите необходимо активное сотрудничество многих стран, использующих технику спутниковой связи.

- В зависимости от вида предоставляемых услуг спутниковые системы связи подразделяются на три основных класса:
- 1) системы пакетной передачи данных;
- 2) системы речевой (радиотелефонной) связи;
- 3) системы для определения местоположения абонентов.

- Системы пакетной передачи данных предназначены для передачи в цифровом виде любых данных (телексных, факсимильных сообщений, компьютерных данных и т.п.).
- Скорость пакетной передачи может достигать сотен килобит в секунду.
- При радиотелефонной связи используют цифровую передачу сообщений. Задержки в таких системах не должны превышать 0,3 с; обслуживание должно быть непрерывным и происходить в реальном масштабе времени.
- Во многих случаях абоненту необходимо знать свое местоположение (координаты) на Земле. Для этой цели применяются специальные навигационные системы (например, ГЛОНАС/НАВСТАР).

- Орбиты космических аппаратов (КА) классифицируются по форме, периодичности прохождения КА над точками земной поверхности и по наклонению.
- По форме для систем связи наиболее часто используются:
  - орбиты, близкие к круговым.
- На этих орбитах высоты апогея (Ya) и перигея (Hп) различаются на несколько десятков километров;
  - эллиптические орбиты.
- Высоты апогея и перигея могут значительно различаться ( $H_a = 38\,000 \dots 40\,000$  км;  $H_p = 400 \dots 500$  км);

- • геостационарные орбиты — круговые экваториальные орбиты с периодом обращения спутника, равным периоду обращения Земли (23 ч 56 мин).
- На такой орбите КА располагается на высоте  $H = 36\,000$  км и находится постоянно над определенной точкой экватора Земли.
- Космический аппарат при этом имеет большую площадь обзора Земли, что позволяет с успехом использовать их в системах спутниковой связи.

- По периодичности прохождения КА над точками земной поверхности различают синхронные и несинхронные орбиты.
- Синхронные орбиты, в свою очередь, подразделяются на синхронные изомаршрутные и синхронные квазимаршрутные.
- В изомаршрутных орбитах проекции орбиты КА на земную поверхность совпадают ежедневно.
- В квазимаршрутных орбитах проекции орбиты КА на земную поверхность совпадают один раз в несколько суток.



- Несинхронные орбиты характеризуются тем, что трассы, соответствующие любым двум оборотам КА вокруг Земли, не совпадают.
- Под наклоном орбиты понимается угол между плоскостями экватора Земли и орбиты КА.
- Наклонение отсчитывается от плоскости экватора до плоскости орбиты против часовой стрелки.

- По наклонению различают следующие типы орбит: ·
  - прямые (наклонение орбиты менее  $90^\circ$ );
  - обратные (наклонение орбиты более  $90^\circ$ );
  - полярные (наклонение орбиты  $90^\circ$ );
  - экваториальные (угол наклона, равный 0, соответствует геостационарной орбите).

- Действующие системы спутниковой связи обеспечивают связь, телевизионное и звуковое вещание, передачу газет, данных во многих регионах России. Системы базируются на связных КА типа «Горизонт» и «Экспресс».

- Космические аппараты серии «Экспресс» выполняют те же функции, что и КА «Горизонт».
- «Экспресс» — геостационарные спутники с высокоточной системой ориентации в двух плоскостях, что обеспечивает устойчивую работу наземных станций без устройств наведения антенн.
- Космические аппараты этой серии модернизируются в направлении увеличения числа стволов передачи и используемых диапазонов частот.
- Наземные станции дополняются малыми станциями с диаметрами антенн около 2 м.

# Структура спутниковых систем связи

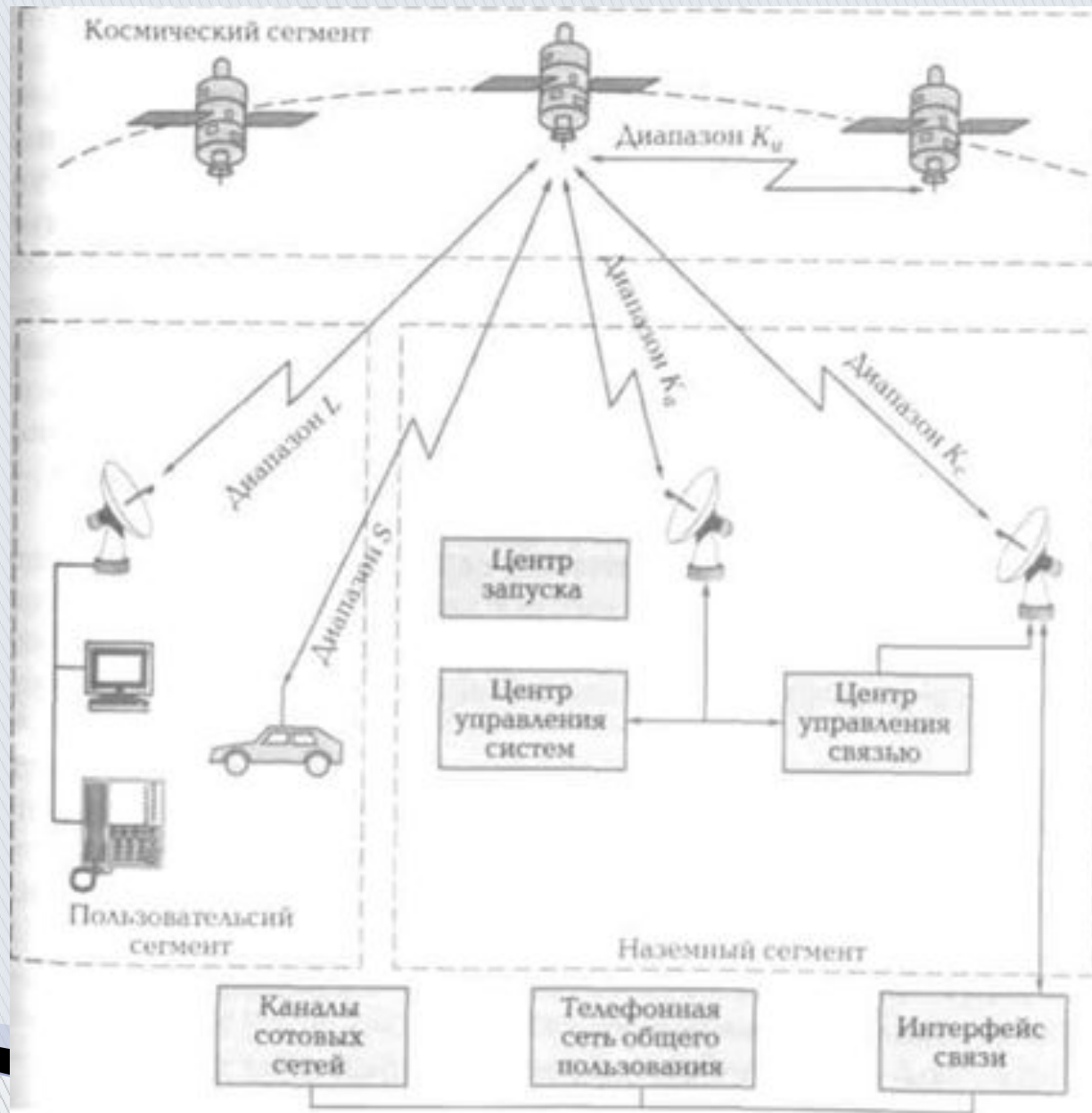
- В состав любой спутниковой системы связи входят следующие составляющие:
  - космический сегмент, состоящий из нескольких спутников-ретрансляторов;
  - наземный сегмент, состоящий из центра управления системой, центра запуска КА, командно-измерительных станций, центра управления связью и шлюзовых станций;
  - пользовательский (абонентский) сегмент, осуществляющий связь при помощи персональных спутниковых терминалов;
  - наземные сети связи, с которыми через интерфейс связи сопрягаются шлюзовые станции космической связи.

# Структура спутниковых систем связи

## Полосы частот спутниковых систем

Диапазон	Полоса частот, ГГц
L	1,452-1,500; 1,61-1,71
S	1,93-2,7
C	3,40-5,25; 5,725-7,075
Kи	<b>10,70-12,75; 12,75-14,80</b>
K,,	<b>14,40-26,50; 27,00-50,20</b>
K <sub>c</sub>	<b>84,00-86,00</b>

# Состав системы спутниковой связи



▣ **Космический сегмент** включает в себя несколько спутников-ретрансляторов, которые образуют космическую группировку.

▣ В состав любого связного КА входят следующие элементы:

- центральный процессор;
- радиоэлектронное оборудование бортового радиотехнического комплекса (БРТК);
- системы ориентации и стабилизации;
- двигательная установка;
- система электропитания (аккумуляторы и солнечные батареи).



- ▣ **Наземный сегмент** представляет собой комплекс оборудования и сооружений, предназначенных для эксплуатации системы связи.
- ▣ Центр управления системой осуществляет слежение за КА, расчет их координат, сверку и коррекцию времени, диагностику работоспособности бортовой аппаратуры, передачу служебной (командной) информации и т. д.
- ▣ Указанные функции управления выполняются на основе телеметрической (ТАМ) информации, поступающей от каждого КА орбитальной группировки.

- Центр управления позволяет обеспечить решение следующих задач:
  - контроль запуска и точность вывода КА на заданную орбиту;
  - контроль состояния каждого КА;
  - контроль и управление орбитой отдельных КА;
  - контроль и управление КА в нештатных режимах работы;
  - вывод КА из состава орбитальной группировки.

- Передачу служебной информации на КА осуществляют через территориально разнесенные основные и резервные станции командно-измерительной системы. Центр управления связью планирует использование ресурса спутника, координируя эту операцию с центром управления системой. Он осуществляет через шлюзовые станции анализ и контроль связи.
- Шлюзовая станция состоит из нескольких приемопередающих комплексов, на каждом из которых имеется следящая параболическая антенна. Применение нескольких приемопередающих комплексов позволяет практически без нарушения связи переходить последовательно от одного КА к другому.

- Для управления большим потоком информации в состав шлюзовой станции включены быстродействующие ЭВМ, в которых имеется банк данных персональных терминалов.
- В своем составе шлюзовые станции имеют коммутационное оборудование для соединения с различными наземными системами связи.
- Основными задачами любой шлюзовой станции являются организация дуплексной телефонной связи, передача факсимильных сообщений, а также данных большого объема.

- Персональный пользовательский терминал предназначен для предоставления услуг связи, в перечень которых могут входить:
  - связь абонентов, имеющих персональные спутниковые терминалы между собой;
  - связь абонентов, имеющих персональные спутниковые терминалы, с абонентами телефонной сети общего назначения, пейджинговых и сотовых сетей;
  - определение местоположения абонентов. Существуют следующие типы спутниковых терминалов:
    - портативные терминалы (спутниковые телефоны);
    - переносные терминалы;
    - мобильные терминалы для автотранспортных, авиационных и морских судов;
    - малогабаритные пейджинговые терминалы;
    - терминалы для коллективного пользования

## Низкоорбитальные системы спутниковой связи

- Низкоорбитальные системы спутниковой связи — это системы связи, построенные на базе низкоорбитальных КА.
- К низкоорбитальным спутникам LEO (Low Earth Orbit) относятся КА, высота орбит которых находится в диапазоне 700... 1 500 км.
- Низкоорбитальная группировка может содержать до нескольких десятков малых спутников массой до 500 кг. Низкоорбитальные системы позволяют обеспечить бесперебойную связь при использовании дешевых малогабаритных терминалов, размещенных в любой точке Земли, и практически не имеют альтернативы в регионах со слаборазвитой инфраструктурой связи и низкой плотности населения.

## Низкоорбитальные системы спутниковой связи

- Преимуществом таких систем является биологический фактор.
- Рекомендуемый уровень непрерывного излучения радиотелефона должен составлять не более 50 мВт.
- Прием сигнала такой мощности высокоорбитальными КА сопряжен со значительным усложнением спутника.
- Для низкоорбитальных систем длина радиолинии во много раз меньше и проблема создания систем надежной связи менее остра.
- Поэтому идея глобальной персональной связи, основанной на современной технологии, поддерживает интерес к низкоорбитальным спутниковым системам.

## Низкоорбитальные системы спутниковой связи

- Для осуществления непрерывной связи на всей территории земного шара, поскольку каждый спутник-ретранслятор находится в зоне видимости абонента всего несколько минут, требуется большое количество КА.
- Благодаря следованию спутников один за другим и расположения их орбит в разных плоскостях обеспечиваются полное покрытие земной поверхности зонами обзора и непрерывная видимость спутников с наземных станций.
- Увеличение числа спутников компенсируется снижением затрат на их выведение (несколько спутников за один раз) на заданную орбиту



# Низкоорбитальные системы спутниковой связи

- Основные параметры орбитальной группировки системы следующие:
  - орбиты — квазиполярные с наклоном  $86,4^\circ$ ;
  - число плоскостей — 6;
  - угловое расстояние между КА, находящимися в одной плоскости, —  $32,7^\circ$ ;
  - высота орбит — 780 км;
  - период обращения КА вокруг Земли — 100 мин.

## Низкоорбитальные системы спутниковой связи

- Система предназначена для глобальной подвижной связи по Принципу «каждый с каждым» на основе межспутниковой связи.
- Система Iridium обеспечивает следующие виды связи:
  - дуплексная радиотелефонная связь между абонентами, имеющими переносные терминалы;
  - факсимильная связь;
  - передача данных;
  - связь абонентов общей телефонной сети с пользователями персональных спутниковых терминалов;
  - передача сигналов оповещения на пейджер;
  - определение местоположения абонентов

## Среднеорбитальные системы спутниковой связи

- К среднеорбитальным спутникам связи МЕО (Mean Earth Orbit) относятся КА с высотой орбиты 5 000... 15 000 км. В среднеорбитальных группировках может находиться до 12 спутников, масса которых составляет до 1 000 кг.
- При таких орбитах время видимости одного спутника достигает нескольких часов, что позволяет уменьшить количество спутников до 10... 12 и увеличить углы, под которыми их наблюдают абонентские терминалы.
- Из проектов МЕО-систем наиболее известны Inmarsat, ICO, Odyssey, созданные различными международными организациями

## Среднеорбитальные системы спутниковой связи

- В состав МЕО-систем входят комплексы коммутационного оборудования шлюзовых станций, предназначенных для подключения абонентов к телефонной сети общего пользования и другим наземным системам связи, в том числе к сотовым системам радиосвязи.
- Международная организация Inmarsat предоставляет на коммерческой основе услуги глобальной радиотелефонной, телексной, факсимильной связи, обмена данными и персонального радиовызова.

## Среднеорбитальные системы спутниковой связи

- В серии проектов, реализованных в рамках международной организации Inmarsat, наиболее перспективным считается проект Inmarsat-P. Орбитальная группировка его должна состоять из 10 спутников, размещенных на двух средневысотных орбитах (10 300 км) с наклоном  $45^\circ$ . Этот проект имеет следующие отличительные особенности:
- глобальная рабочая зона системы;
- большое число спутников, одновременно находящихся в поле зрения наблюдателя;
- продолжительный срок службы спутников (не менее 10 лет);
- разумная стоимость проекта (не более 24 млрд долл. США)

# Среднеорбитальные системы спутниковой связи

- Система Inmarsat-P опирается на концепцию использования спутниковых телефонов, способных интегрироваться в национальные системы сотовой цифровой связи, в том числе стандарта GSM

# Системы связи с использованием геостационарных спутников

- Спутниковые ретрансляторы, находящиеся на геостационарной орбите GEO (Geostacionary Earth Orbit), «зависают» над заранее выбранными точками Земли.
- Это обеспечивается высотой орбиты 35 875 км, на которой скорость перемещения КА совпадает со скоростью вращения Земли.

- ▣ **Системы на основе геостационарных спутников обладают рядом преимуществ при организации систем связи, к которым относятся:**
- ▣ отсутствие перерывов связи из-за взаимного перемещения КА и пользовательского терминала во время сеанса связи;
- ▣ охват связью 95 % земной поверхности системой, состоящей всего из трех геостационарных спутников;
- ▣ отсутствие необходимости в организации межспутниковой связи.



- Системы персональной связи на основе геостационарных спутников потенциально могут предоставлять услуги, сравнимые с услугами низкоорбитальных систем, однако это сопряжено с определенными техническими трудностями по разворачиванию в космосе антенн с узкой диаграммой направленности для формирования на Земле сот примерно одинаковых размеров.

- Типичным представителем геостационарных спутниковых систем является система связи «Банкир», предназначенная для оперативного обмена информацией в российских банковских и финансовых системах с выходом на банковские системы ближнего и дальнего зарубежья.

- Космический сегмент системы представляет собой группировку из трех геостационарных спутников связи «Купон», обеспечивающих ретрансляцию информационных потоков между пользователями.
- Бортовой радиотехнический комплекс КА представляет собой 24-ствольный ретранслятор, работающий в диапазоне 11/14 ГГц (Ки).
- Каждый ствол имеет полосу пропускания 36 МГц, что с использованием линейной поляризации сигналов позволяет сформировать в полосе 480 МГц 24 ствола.

## **Сеть спутниковой связи «Банкир» обеспечивает:**

- организацию каналов связи между двумя и более пользователями;
- возможность одновременного предоставления различных услуг (телефонной связи, передачи данных и т.п.);
- организацию от одного до восьми каналов сопряжения с локальными вычислительными сетями;
- организацию передачи речевого сигнала с использованием стандарта GSM.