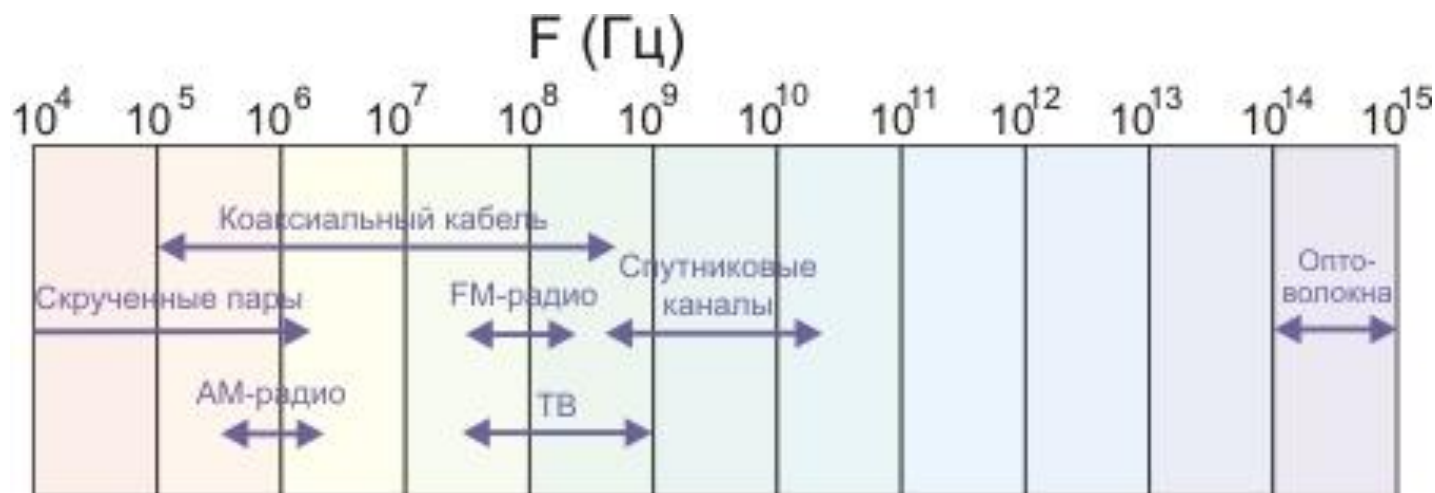


Беспроводные сети

Диапазоны рабочих частот каналов связи



Диапазоны электромагнитных ВОЛН

Номер	Название диапазона	Частота	Длина волны
1	High frequency	3-30 МГц	100-10 м
2	Very High frequency	50-100 МГц	6-3м
3	Ultra High frequency	400-1000 МГц	75-30 см
4	Микроволновый	$3 \cdot 10^9$ - 10^{11} Гц	10 см- 3 мм
5	Миллиметровый	10^{11} - 10^{13} Гц	3 мм – 0,3 мм
6	Инфракрасный	10^{12} - $6 \cdot 10^{14}$ Гц	0,3 мм – 0,5 мкм

Распространение сигнала

Если не используется направленная антенна и на пути нет препятствий, радиоволны распространяются по всем направлениям равномерно.

Ослабление сигнала пропорционально квадрату расстояния между передатчиком и приемником (удвоение расстояния приводит к потерям 6дБ).

Радио каналы для передачи информации используют диапазоны:

902-928 МГц (расстояния до 10 км, пропускная способность до 64кбит/с)

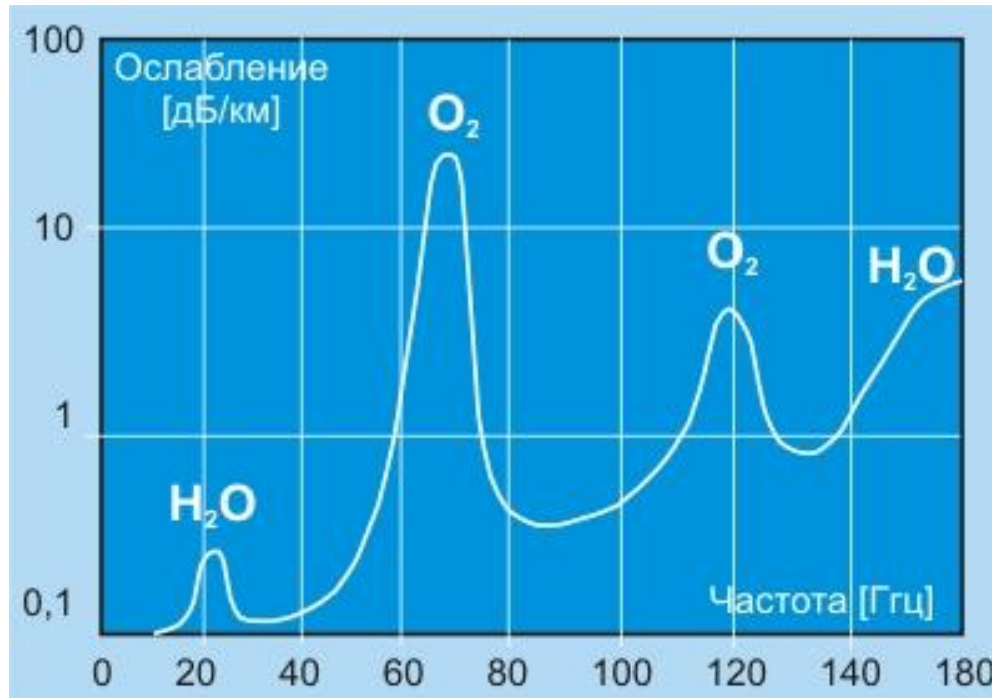
2,4 ГГц и 12 ГГц (до 50 км, до 8 Мбит/с).

Более низкие частоты (например, 300 МГц) мало привлекательны из-за ограничений пропускной способности,

>30 ГГц - расстояния не более или порядка 5км из-за поглощения радиоволн в атмосфере.

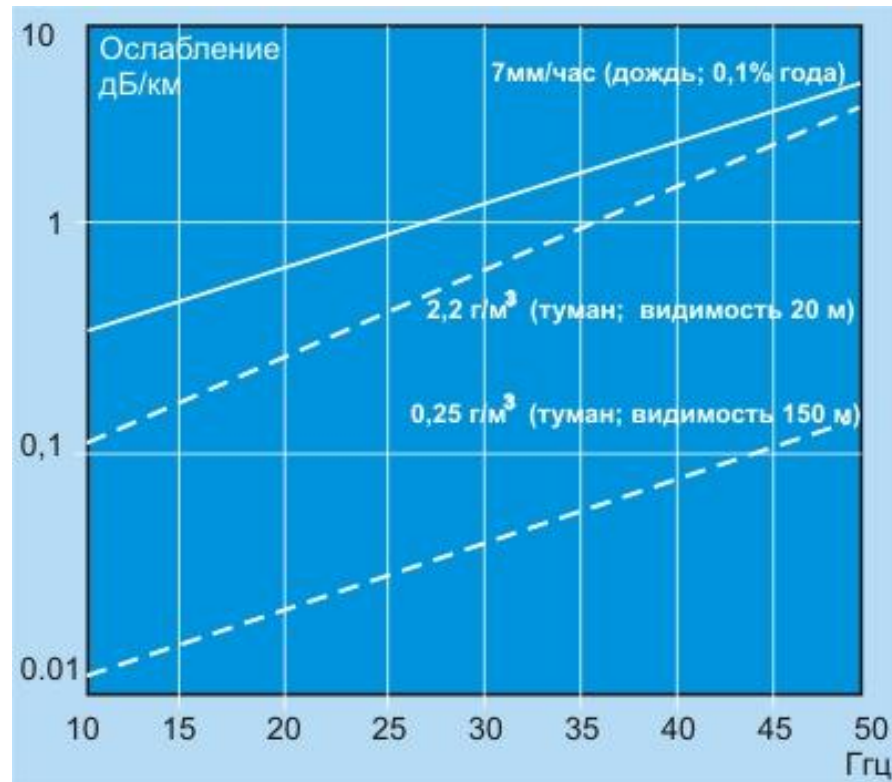
При использовании диапазонов 4, 5 и 6 следует иметь в виду, что любые препятствия на пути волн приведут к их практически полному поглощению.

Поглощающая способность земной атмосферы для разных длин волн



Заметную роль в поглощении радиоволн играет вода. Поглощение в атмосфере ограничивает использование частот более 30 ГГц. Атмосферные шумы, связанные в основном с грозовыми разрядами, влияют до частот до 2 МГц. Галактический шум, приходящий из-за пределов солнечной системы до 200 ГГц.

Поглощение радиоволн в тумане и дожде

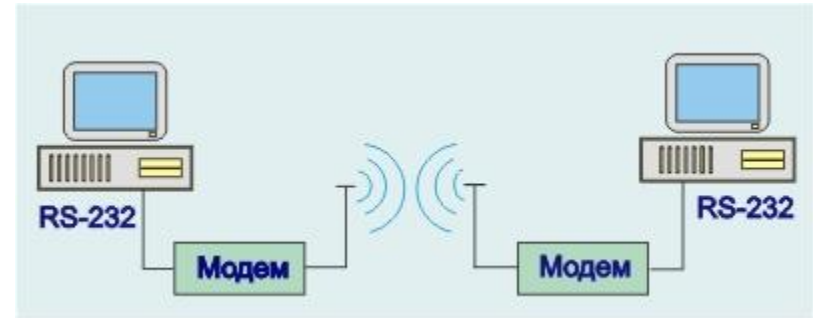
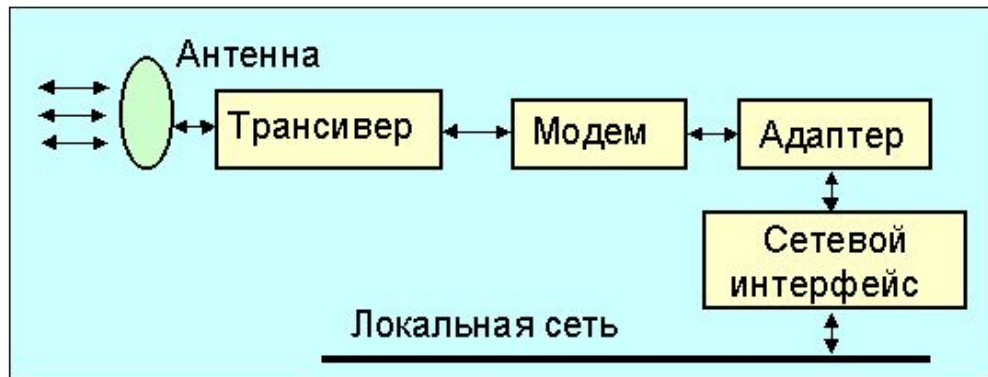


Сильный дождь, град или снег могут привести к прерыванию связи.

Средства передачи

- Мощность передатчика обычно лежит в диапазоне 50 мВт - 2 Вт.
- Модемы, как правило, используют шумоподобный метод передачи SST (spread spectrum transmission).
- Для устройств на частоты 2.4 ГГц и выше, как правило, используются направленные антенны и необходима прямая видимость между приемником и передатчиком.
- Такие каналы чаще работают по схеме точка-точка, но возможна реализация и многоточечного соединения. На аппаратном уровне здесь могут использоваться радиорелейное оборудование радиомодемы или радио-мосты.

Структурная схема оборудования

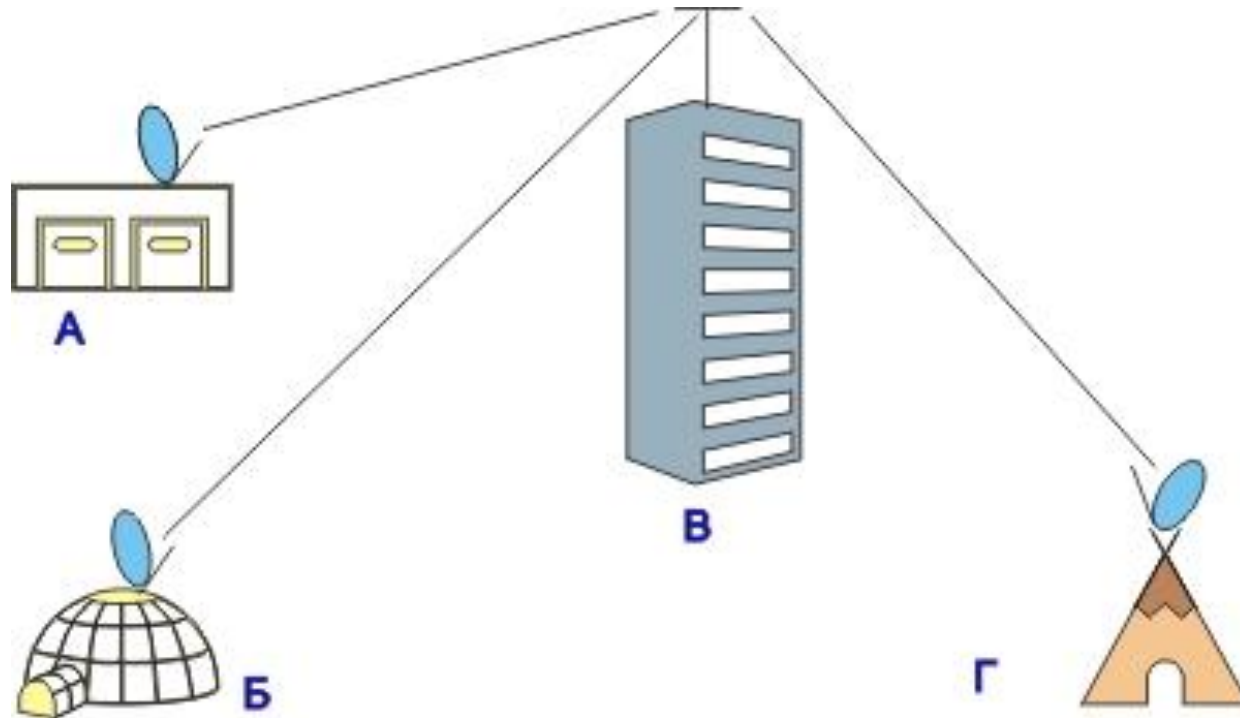


- Трансивер (приемопередатчик) может соединяться с антенной через специальные усилители.
- Между трансивером и модемом может включаться преобразователь частот.
- Модемы подключаются к локальной сети через последовательные интерфейсы типа RS-232 или v.35 (RS-249)
- Радио-мосты имеют встроенный Ethernet-интерфейс.
- Длина кабеля от модема до трансивера лежит в пределах 30-70м, а соединительный кабель между модемом и ЭВМ может иметь длину 100-150м. Трансивер располагается обычно рядом с антенной.

Возможности применения радиомодемов

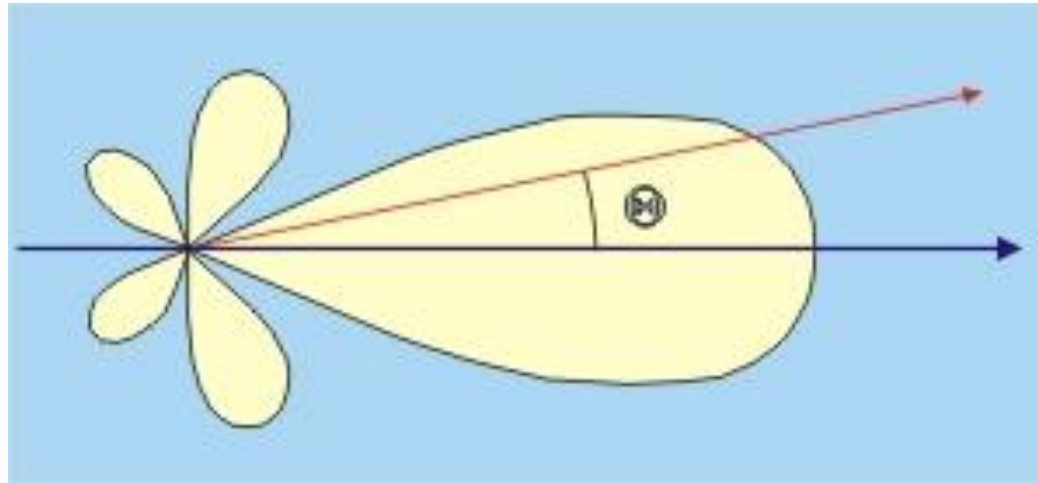
- Подвижные рабочие станции (медицинская диагностика на выезде, оперативная диагностика сложного электронного оборудования, когда необходима связь с базовым отделением фирмы, геологические или геофизические исследования и т.д.)
- Радиомодемы позволяют сформировать сеть быстрее. В этом случае могут стать доступными точки, лишенные телефонной связи (что весьма привлекательно для условий России).
- Подключение объектов к центральному узлу осуществляется по звездообразной схеме.
- влияние на конфигурацию сети оказывает ожидаемое распределение потоков информации. Если все объекты, подключенные к узлу, примерно эквивалентны, а ожидаемые информационные потоки не велики, можно в центральном узле обойтись простым маршрутизатором, имеющим достаточное число последовательных интерфейсов.

Радио-мосты



- Используются при соединении зданий, отстоящих друг от друга на несколько километров.
- Используются для подключения к сервис-провайдеру, когда нужны информационные потоки до 2 Мбит/с (например, для проведения видео конференций). Если расстояния не велики ($< 5\text{ км}$), можно воспользоваться всенаправленной антенной.
-

Направленные антенны



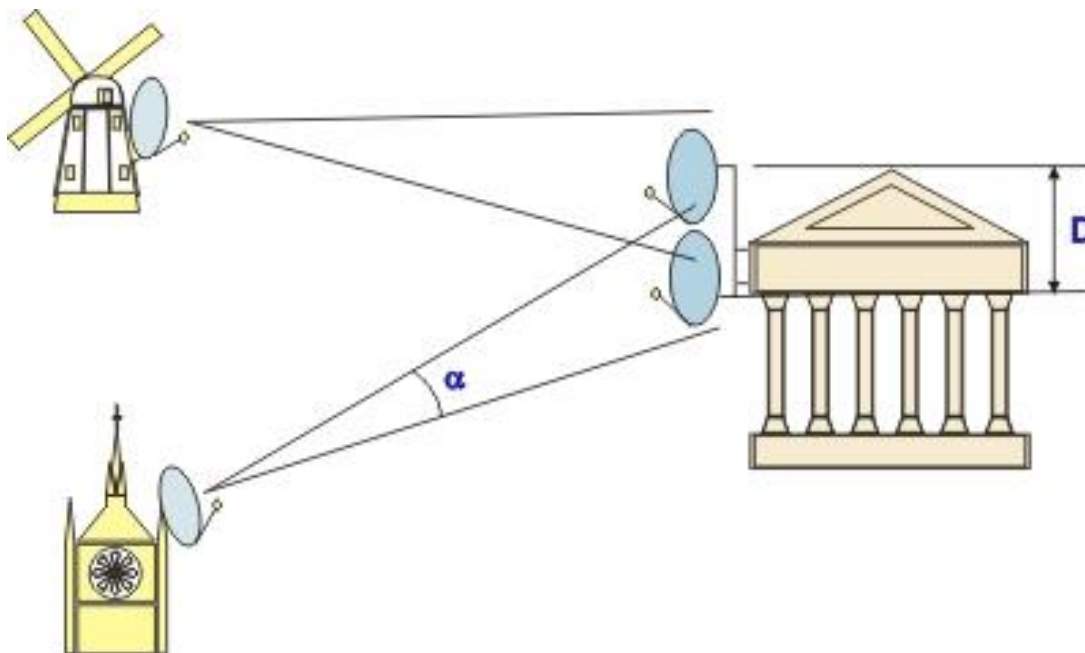
Эту диаграмму следует учитывать при выборе места установки антенны, особенно при использовании большой мощности излучения.

Направленная антенна с площадью **A** обеспечивает усиление сигнала:

$$G = 4\pi A / \lambda^2$$

Угол излучения φ такой антенны с радиусом R равен $0,61 \lambda / R$. Чем больше радиус, тем больше усиления и уже угол излучения и чувствительности.

Применение направленных антенн



При звездообразной схеме каналов нужно выполнить требования на минимальное расстояние между принимающими антеннами d . Это расстояние определяется расходимостью (α) радиолуча и используемой длиной волны.

Спутниковые каналы связи

Диапазон	Канал снижения (downlink)[ГГц]	Канал подъема (uplink)[ГГц]	Источники помех
C	3,7-4,2	5,925-6,425	Наземные помехи
ku	11,7-12,2	14,0-14,5	Дождь
ka	17,7-21,7	27,5-30,5	Дождь

Передача ведется на более высокой частоте, чем прием сигнала со спутника.

Спутник имеет 12-20 транспондеров, каждый из которых имеет полосу 36-50МГц, что позволяет сформировать поток данных 50 Мбит/с.

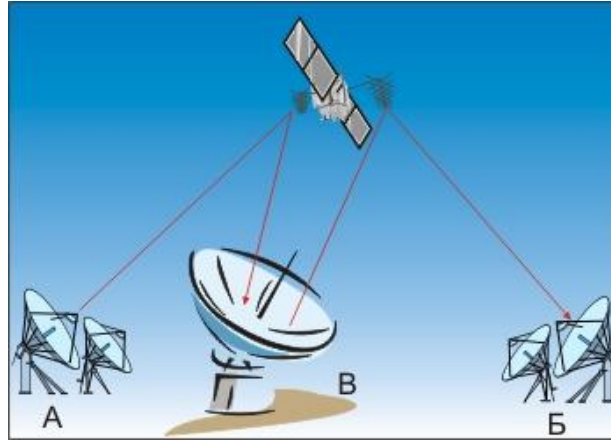
Это дает 1600 телефонных каналов (32кбит/с).

Современные спутники используют узкоапертурную технологию передачи vsat (very small aperure terminals).

Терминалы используют антенны диаметром 1 метр и выходную мощность около 1 Вт.

Канал к спутнику имеет пропускную способность 19,2 кбит/с, а со спутника более 512 кбит/с.

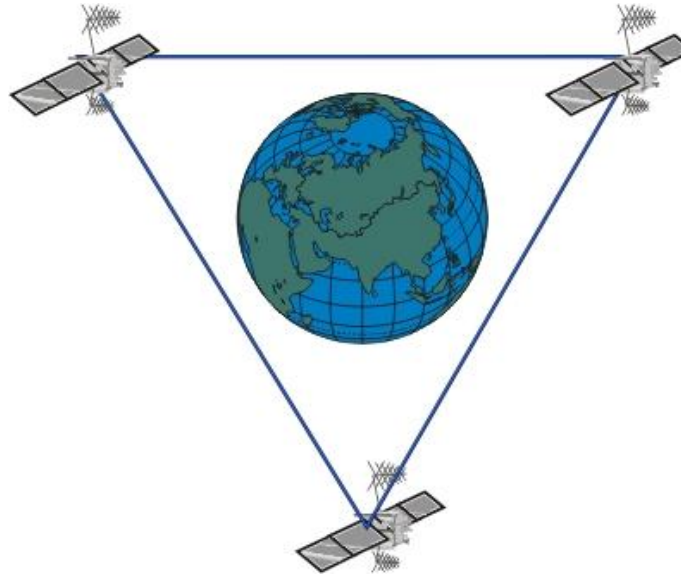
Схема спутниковой связи



Терминалы не могут работать друг с другом.
Для решения этой проблемы используются промежуточные наземные антенны с большим усилением, что, правда увеличивает задержку.

Терминальные антенны vsat имеют диаметр 1-1,5 м и излучаемую мощность 1-4 Вт, обеспечивая широкополосность до 64 кбит/с.

Геостационарная орбита



- Для создания постоянных каналов телекоммуникаций служат геостационарные спутники, висящие над экватором на высоте около 36000 км. (Три таких спутника могут обеспечить связью всю обитаемую поверхность земли)
- Спутники, работающие на одной и той же частоте должны быть разнесены по углу на 2° . Это означает что число таких спутников не может быть больше 180. В противном случае они должны работать в разных частотных диапазонах. При работе в ки-диапазоне угловое расстояние между спутниками можно сократить до 10. Влияние дождя можно минимизировать, используя далеко отстоящие наземные станции (размеры урагана конечны!).

Размещение спутников на геостационарной орбите

- Спутники помечаются географической долготой мест, над которым они висят.
- На практике геостационарный спутник не стоит на месте, а выполняет движение по траектории, имеющей вид цифры 8. Угловой размер этой восьмерки должен укладываться в рабочую апертуру антенны, в противном случае антенна должна иметь сервопривод, обеспечивающий автоматическое слежение за спутником.
- Спутник не может обеспечить высокого уровня сигнала. По этой причине наземная антенна должна иметь большой диаметр, а приемное оборудование низкий уровень шума. Это особенно важно для северных областей, для которых угловое положение спутника над горизонтом невысоко (это особенно существенно для широт более 70^0), а сигнал проходит довольно толстый слой атмосферы и заметно ослабляется.
- Спутниковые каналы могут быть рентабельны для областей, отстоящих друг от друга более чем на 400-500 км (при условии что других средств не существует). Правильный выбор спутника (его долготы) может заметно снизить стоимость канала.
- Число позиций для размещения геостационарных спутников ограничено.

Низколетящие спутники

- В последнее время для телекоммуникаций планируется применение низколетящих спутников (<1000 км; период обращения ~ 1 час).
- Движение происходит по эллиптическим орбитам.
- Отдельный спутник обеспечивает стационарный канал (каждый из спутников работает в режиме “запомнить и передать”).
- Из-за малой высоты полета наземные станции в этом случае могут иметь небольшие антенны и малую стоимость. .
- спутник имеет 12-20 транспондеров, каждый из которых имеет полосу 36-50 МГц. Один транспондер может обеспечить информационный поток в 50 Мбит/с или 800 64-килобитных каналов цифровой телефонии.
- Два транспондера могут использовать разную поляризацию сигнала и по этой причине работать на одной и той же частоте. Каждый телекоммуникационный спутник снабжен несколькими антеннами.
- Низходящий луч может быть сфокусирован на достаточно ограниченную область на земле (с диаметром несколько сот км). Что также упрощает осуществление двунаправленного обмена.

Работа спутника с терминалами

- мультиплексирование по частоте (FDM)
- мультиплексирование по времени (TDM)
- CDMA (Code Division Multiple Access)
- ALOHA или метод запросов.

ALOHA

- Простая система *ALOHA* (разработана группой Нормана Абрамсона из Гавайского университета в 70-х годах) позволяет каждой станции начинать передачу тогда, когда она этого захочет.
- Такая схема с неизбежностью приводит к столкновениям. Связано это с тем, что передающая сторона узнает о столкновении лишь спустя ~ 270 мсек.
- После столкновения станция ожидает некоторое псевдослучайное время и совершает повторную попытку передачи еще раз.
- Такой алгоритм доступа обеспечивает эффективность использования канала на уровне около 18%, что совершенно недопустимо для таких дорогостоящих каналов, как спутниковые.
- Чаще используется доменная версия системы *ALOHA*. Одна наземная станция (эталонная) периодически посылает специальный сигнал, который используется всеми участниками для синхронизации. Если длина временного домена равна DT , тогда домен с номером k начинается в момент времени kDT по отношению к упомянутому выше сигналу. Так как часы разных станций работают немного по-разному, необходима периодическая ресинхронизация. Другой проблемой является разброс времени распространения сигнала для разных станций.

FDM

- транспондер с полосой 36 Мбит/с может использован для получения 500 64кбит/с каналов, каждый из которых работает со своей уникальной частотой, чтобы исключить интерференцию с другими.
- Соседние каналы должны отстоять на достаточном расстоянии друг от друга.
- Должен контролироваться уровень передаваемого сигнала, так как при слишком большой выходной мощности могут возникнуть интерференционные помехи в соседнем канале.
- Если число станций невелико и постоянно, частотные каналы могут быть распределены стационарно.
- При переменном числе терминалов используется динамическое распределение ресурсов. Одним из механизмов такого распределение имеет название **SPADE**, он использовался в первых версиях систем связи на базе INTELSAT. Каждый транспондер системы SPADE содержит 794 симплексных канала по 64-кбит/с и один сигнальный канал с полосой 128 кбит/с. Каналы используются попарно для обеспечения полнодуплексной связи. При этом восходящий и нисходящий каналы имеют полосу по 50 Мбит/с. Сигнальный канал делится на 50 доменов по 1 мсек (128 бит). Каждый домен принадлежит одной из наземной станции, число которых не превышает 50. Когда станция готова к передаче, она произвольным образом выбирает неиспользуемый канал и записывает номер этого канала в очередной свой 128 битный домен. Если один и тот же канал попытаются занять две или более станции происходит столкновение и они вынуждены будут повторить попытку позднее.

CDMA

- *Метод CDMA* (Code Division Multiple Access) не требует синхронизации и является полностью децентрализованным.
- Недостатки
Емкость канала CDMA в присутствии шума и отсутствии координации между станциями обычно ниже, чем в случае TDM.
Система требует быстродействующего и более дорогого оборудования.

TDM

- необходима синхронизация для доменов.
- Присвоение доменов наземным станциям может выполняться централизованно или децентрализованно.
- ACTS (Advanced Communication Technology Satellite). Система имеет 4 независимых канала (TDM) по 110 Мбит/с (два восходящих и два нисходящих). Каждый из каналов структурированы в виде 1-миллисекундных кадров, каждый из которых имеет по 1728 временных доменов. Каждый из временных доменов имеет 64-битовое поле данных, что позволяет реализовать голосовой канал с полосой в 64 кбит/с. Управление временными доменами с целью минимизации времени на перемещения вектора излучения спутника предполагает знание географического положения наземных станций. Управление временными доменами осуществляется одной из наземных станций (**MCS** - Master Control Station). Работа системы ACTS представляет собой трехшаговый процесс. Каждый из шагов занимает 1 мсек. На первом шаге спутник получает кадр и запоминает его в 1728-ячеечном буфере. На втором - бортовая ЭВМ копирует каждую входную запись в выходной буфер (возможно для другой антенны). И, наконец, выходная запись передается наземной станции.
- В исходный момент каждой наземной станции ставится в соответствие один временной домен. Для получения дополнительного домена, например для организации еще одного телефонного канала, станция посылает запрос MCS. Для этих целей выделяется специальный управляющий канал емкостью 13 запросов в сек.