

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна»

Филиал «Протвино»
Кафедра информационных технологий

Радиорелейная связь

Старший преподаватель
Ковцова Ирина Олеговна

Радиорелейная связь

- Радиорелейная связь — один из видов наземной радиосвязи, основанный на многократной ретрансляции радиосигналов. Радиорелейная связь осуществляется как правило между стационарными объектами.
- Исторически радиорелейная связь между станциями осуществлялась с использованием цепочки ретрансляционных станций, которые могли быть как активными, так и пассивными.
- Отличительной особенностью радиорелейной связи от всех других видов наземной радиосвязи является использование узконаправленных антенн, а также дециметровых, сантиметровых или миллиметровых радиоволн.

Антенны радиорелейной связи на телекоммуникационной башне

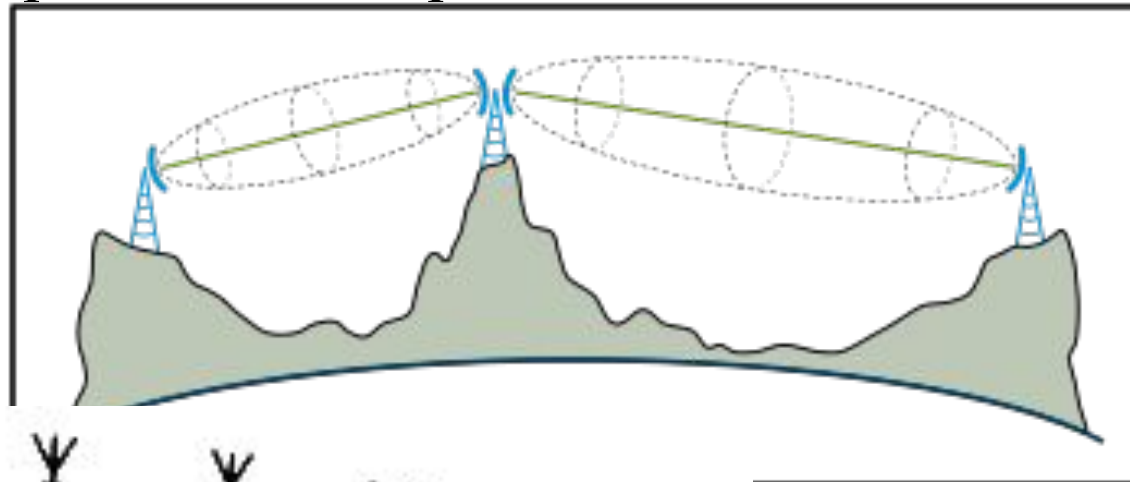


Радиорелейная связь прямой ВИДИМОСТИ

- При построении радиорелейных линий связи антенны соседних радиорелейных станций располагаются в пределах *прямой видимости*.
- Требование наличия прямой видимости обусловлено возникновением дифракционных замираний при полном или частичном закрытии трассы распространения радиоволн. Потери при дифракционных замираниях могут вызывать сильное ослабление сигнала, таким образом радиосвязь между соседними радиорелейными станциями станет невозможна.
- *Поэтому для устойчивой радиосвязи антенны соседних радиорелейных станций как правило располагают на естественных возвышенностях или специальных телекоммуникационных башнях или мачтах таким образом, чтобы трасса распространения радиоволн не имела препятствий.*

Радиорелейная связь прямой ВИДИМОСТИ

- С учетом ограничения на необходимость наличия прямой видимости между соседними станциями дальность радиорелейной связи ограничена как правило 40 - 50 км.



Радиорелейные ретрансляторы

- В отличие от радиорелейных станций ретрансляторы не добавляют в радиосигнал дополнительной информации. Ретрансляторы могут быть как пассивными, так и активными.
- **Пассивные ретрансляторы** представляют собой простой отражатель радиосигнала без какого-нибудь приёмопередающего оборудования и, в отличие от активных ретрансляторов, не могут усиливать полезный сигнал или переносить его на другую частоту. Пассивные радиорелейные ретрансляторы применяются в случае отсутствия прямой видимости между радиорелейными станциями; **активные** — для увеличения дальности связи.

Частотные диапазоны

- Для организации радиосвязи используются деци-, санти-и миллиметровые волны.
- Для обеспечения дуплексной связи каждый частотный диапазон условно разделяется на две части относительно центральной частоты диапазона.
- В каждой части диапазона выделяются частотные каналы заданной полосы.
- Частотным каналам «нижней» части диапазона соответствуют определённые каналы «верхней» части диапазона, причём таким образом, что разница между центральными частотами каналов из «нижней» и «верхней» частей диапазона была всегда одна и та же для любых частотных каналов одного частотного диапазона.
- **Диапазо́н частот** —полоса частот, которой присвоено условное наименование. Диапазон частот — одно из важнейших понятий радиотехники, а также физико-технических дисциплин в целом. Это понятие имеет общий характер, то есть можно говорить или о диапазоне рабочих частот какого-либо конкретного устройства, или о диапазоне, выделенном какой-то радиослужбе, или, например, об обобщённой разбивке всей полосы радиочастот.

Частотные диапазоны

- Частотные диапазоны от 2 ГГц до 38 ГГц относятся к «классическим» радиорелейным частотным диапазонам.
- Для одного частотного канала «классического» радиорелейного частотного диапазон выделяется полоса частот не более 28 МГц или 56 МГц.
- Диапазоны от 38 ГГц до 92 ГГц для радиорелейной связи выделяются недавно и являются более новыми. Несмотря на это данные диапазоны считаются перспективными с точки зрения увеличения пропускной способности радиорелейных линий связи, так как в данных диапазонах возможно выделение более широких частотных каналов.

ЦРРС МИК-РЛ400Р

- **Цифровые РРС МИК-РЛ400Р** предназначены для организации местных и ведомственных (технологических) цифровых линий радиорелейной связи в диапазонах частот 394...410 - 434...452 МГц соответственно.
- Малоканальные ЦРРС МИК-РЛ400 Р отличаются повышенной пропускной способностью (до 8 Мбит/с), увеличенной энергетикой радиолинии, возможностью передачи комбинированного трафика TDM(*Time Division Multiplexing- Мультиплексирование с разделением по времени*)+Ethernet и широким набором функциональных возможностей для работы на протяженных и/или полузакрытых трассах.

ДОСТОИНСТВА РАДИОЛЕРЕЙНЫХ СТАНЦИЙ МИК-РЛ400Р

- изменяемая пропускная способность 2...8 Мбит/с;
- совместная передача TDM и Ethernet трафика с возможностью гибкого перераспределения пропускной способности;
- встроенный коммутатор с возможностью разветвления и переназначения трафика;
- автоматическое резервирование стволов по критериям достоверности (BER), уровня приёма и аппаратной аварии;
- дополнительные каналы с цифровыми и аналоговыми интерфейсами;
- цифровой канал служебной связи с селективным вызовом;
- входы/выходы внешних сигнальных датчиков и исполнительных устройств;
- система телеуправления и телесигнализации (ТУ-ТС) РРЛ;
- встроенные средства тестирования и контроля параметров оборудования;
- ПСО «Мастер» для дистанционного мониторинга и управления сетью РРЛ.

Состав МИК-РЛ400Р

- **Оборудование радиорелейных станций МИК-РЛ 400Р подразделяется на:**
- **выносное оборудование (ODU)** - антенны и приёмопередающее устройство (ППУ)
- **внутреннее оборудование (IDU)** - модуль доступа и источники питания

Состав МИК-РЛ400Р

- **ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА (ППУ)**
- Приёмопередающие устройства (ППУ) ЦРРС МИК-РЛ400Р устанавливаются в непосредственной близости от антенны. ППУ имеет универсальный цифровой модем с программно переключаемыми видами модуляции QPSK / 8QAM / 16QAM / 32 QAM / 64 QAM.

Соединение ППУ с модулем доступ осуществляется через оптический кабель, по которому передаются цифровые потоки и сигналы телеметрии.

Питание на ППУ - от стационарного источника питания по отдельному электрическому кабелю. Выход ППУ - коаксиальный разъем. Антенные устройства аналогичны применяемым в аппаратуре МИК-РЛ400М.



Состав МИК-РЛ400Р

- **МОДУЛЬ ДОСТУПА МД1-1РУ**
- В ЦРРС МИК-РЛ400Р применяется **модуль доступа МД1-1РУ2**, который выполняет функции мультиплексирования основного и дополнительного трафика, контроля и управления, резервирования стволов.
- МД1-1РУ обеспечивает передачу трафика Ethernet, до 4 потоков. Встроенный коммутатор обеспечивает ввод / вывод и транзит потоков E1 между радиоканалом и двумя транзитными портами. Также модуль доступа МД1-1РУ обеспечивает подачу питания ППУ.



Цена

- **Антенна от 16тыс.руб до 130 тыс.руб.**
- **ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА (ППУ) ~130тыс.руб.**
- **Модуль доступа от 12тыс.руб. до 60 тыс.руб.**
- **Принадлежности ~50тыс.руб.**

Тропосферная радиорелейная связь

- При построении тропосферных радиорелейных линий связи используется эффект отражения дециметровых и сантиметровых радиоволн от турбулентных и слоистых неоднородностей в нижних слоях атмосферы — тропосфере.
- Использование эффекта дальнего тропосферного распространения радиоволн УКВ диапазона (Ультракороткие волны) позволяет организовать связь на расстояние до 300 км при отсутствии прямой видимости между радиорелейными станциями. Дальность связи может быть увеличена до 450 км при расположении радиорелейных станций на естественных возвышенностях.

Тропосферная радиорелейная связь

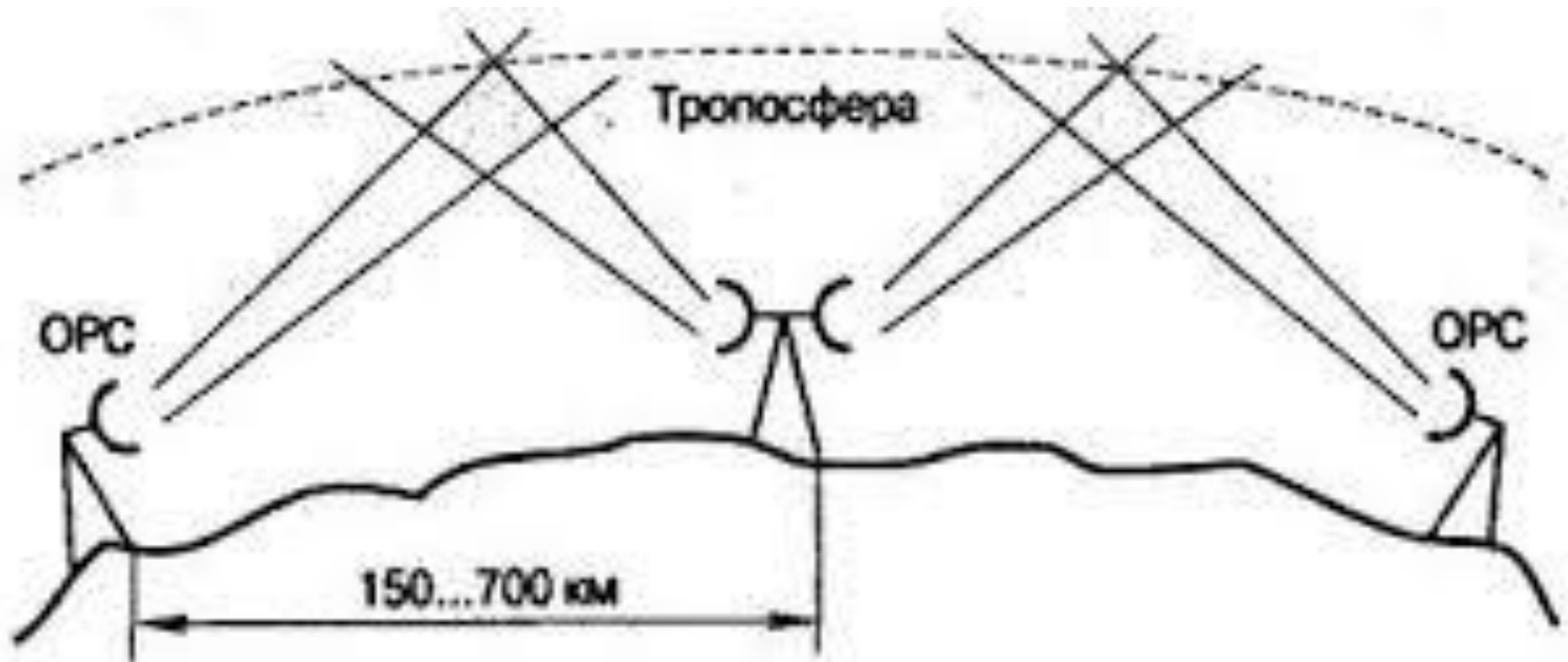


Рис. 2. Тропосферная радиорелейная линия передачи

Тропосферная радиорелейная связь

- Для тропосферной радиорелейной связи характерно сильное ослабление сигнала. Ослабление возникает как при распространении сигнала через атмосферу, так и вследствие рассеяния части сигнала при отражении от тропосферы. Поэтому для устойчивой радиосвязи как правило используют передатчики мощностью до 10 кВт, антенны с большой апертурой (до 30 x 30 м²), а значит, и большим коэффициентом усиления, а также высокочувствительные приёмники с малошумящими элементами.
- Так же для тропосферных радиорелейных линий связи характерно постоянное наличие быстрых, медленных и селективных замираний радиосигнала. Уменьшение влияния быстрых замираний на принимаемый сигнал достигается использованием разнесенного частотного и пространственного приема. Поэтому на большинстве тропосферных радиорелейных станций расположено несколько приёмных антенн:

Тропосферная радиорелейная связь

- Обычно тропосферные радиорелейные линии используют там, где невозможно либо очень дорого построить радиорелейные линии прямой видимости: в малонаселенной и труднодоступной местности, горных районах и т. п.

«Широка страна моя родная,
много в ней лесов полей и рек ...»

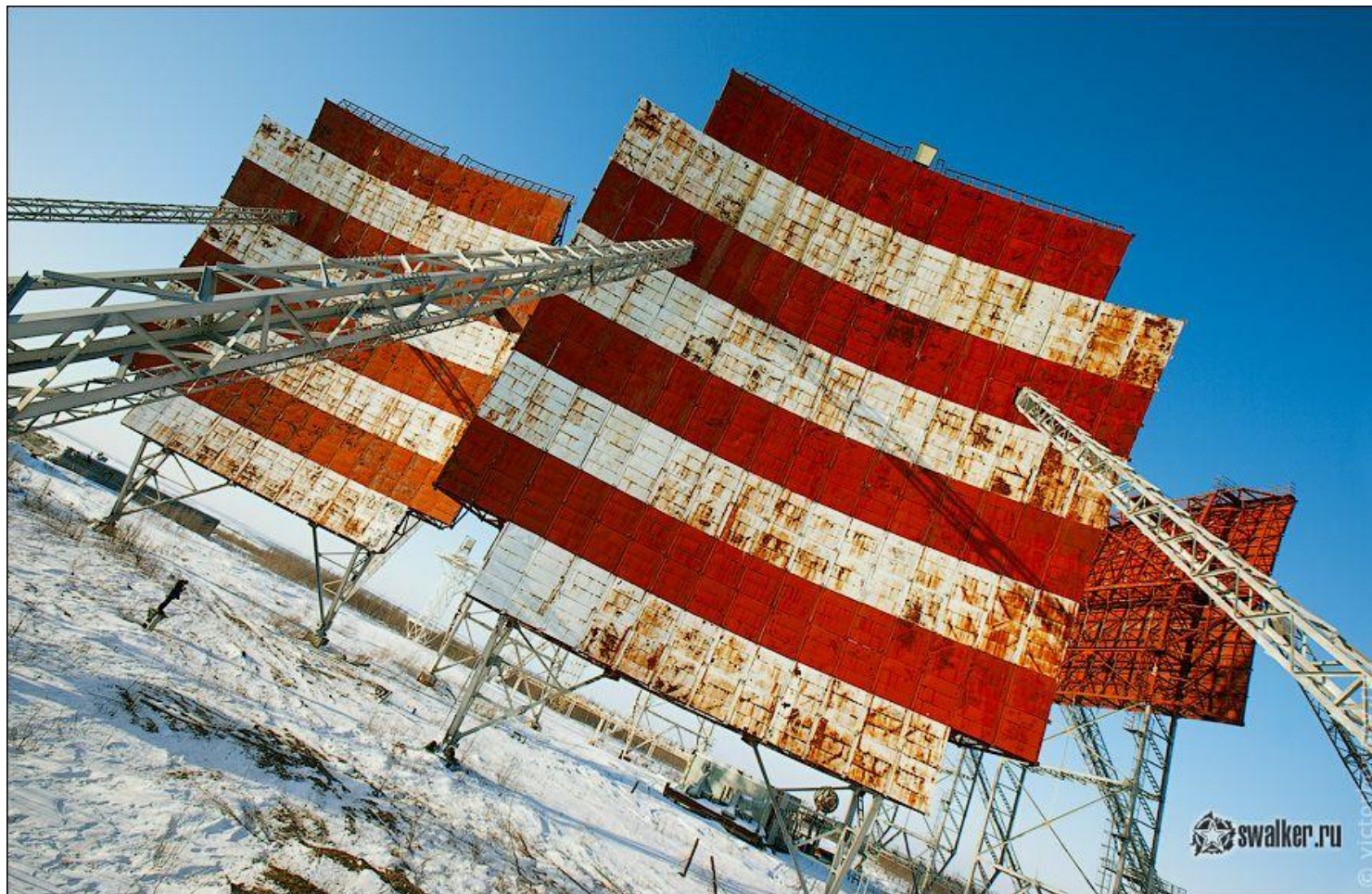


... а также малонаселенных мест
и труднодоступных районов
с неразвитой инфраструктурой связи

Тропосферная радиорелейная связь

- Первая отечественная тропосферная радиорелейная аппаратура «Горизонт-М», разработанная в 1963 г., позволила создать сеть «Север» общей протяженностью 14 тыс. км.
- Расстояние между ретрансляторами от 100 до 420 км, мощность передатчиков 2,5 кВт.
- Для борьбы с замираниями сигнала применен четырехкратный разнесенный по частоте и в пространстве прием.
- Пропускная способность системы 60 телефонных каналов.
- Эксплуатация сети «Север» показала ее высокую эффективность для малонаселенных районов СССР.
- В результате эксплуатации сети был получен огромный экспериментальный материал об условиях дальнего тропосферного распространения радиоволн в разных зонах Сибири и Крайнего Севера.

Тропосферная радиорелейная линия связи СЕВЕР (Горизонт)



Спутниковая связь

- **Спúтниковая свúязь** — один из видов космической радиосвязи, основанный на использовании искусственных спутников земли в качестве ретрансляторов. Спутниковая связь осуществляется между земными станциями, которые могут быть как стационарными, так и подвижными.
- Спутниковая связь является развитием традиционной радиорелейной связи путём вынесения ретранслятора на очень большую высоту (от десятков до сотен тысяч км).



Спутниковые ретрансляторы

- В первые годы исследований использовались пассивные спутниковые ретрансляторы (примеры — спутники «Эхо» и «Эхо-2»), которые представляли собой простой отражатель радиосигнала (часто — металлическая или полимерная сфера с металлическим напылением), не несущий на борту какого-либо приёмопередающего оборудования. Такие спутники не получили распространения.
- Все современные спутники связи являются активными. *Активные ретрансляторы оборудованы электронной аппаратурой для приема, обработки, усиления и ретрансляции сигнала.*



Спутниковые ретрансляторы

- Спутниковые ретрансляторы могут быть *нерегенеративными* и *регенеративными*.
- **Нерегенеративный спутник**, приняв сигнал от одной земной станции, переносит его на другую частоту, усиливает и передает другой земной станции. Спутник может использовать несколько независимых каналов, осуществляющих эти операции, каждый из которых работает с определённой частью спектра (эти каналы обработки называются транспондерами).
- **Регенеративный спутник** производит демодуляцию принятого сигнала и заново модулирует его. *Благодаря этому исправление ошибок производится дважды: на спутнике и на принимающей земной станции.* Недостаток этого метода — **сложность** (а значит, гораздо более высокая цена спутника), а также **увеличенная задержка передачи сигнала.**



Орбиты спутниковых ретрансляторов

- Орбиты, на которых размещаются спутниковые ретрансляторы, подразделяют на три класса:
- **экваториальные,**
- **наклонные,**
- **полярные.**
- Важной разновидностью *экваториальной орбиты* является *геостационарная орбита*, на которой спутник вращается с угловой скоростью, равной угловой скорости Земли, в направлении, совпадающем с направлением вращения Земли. Очевидным преимуществом геостационарной орбиты является то, что приёмник в зоне обслуживания «видит» спутник постоянно.

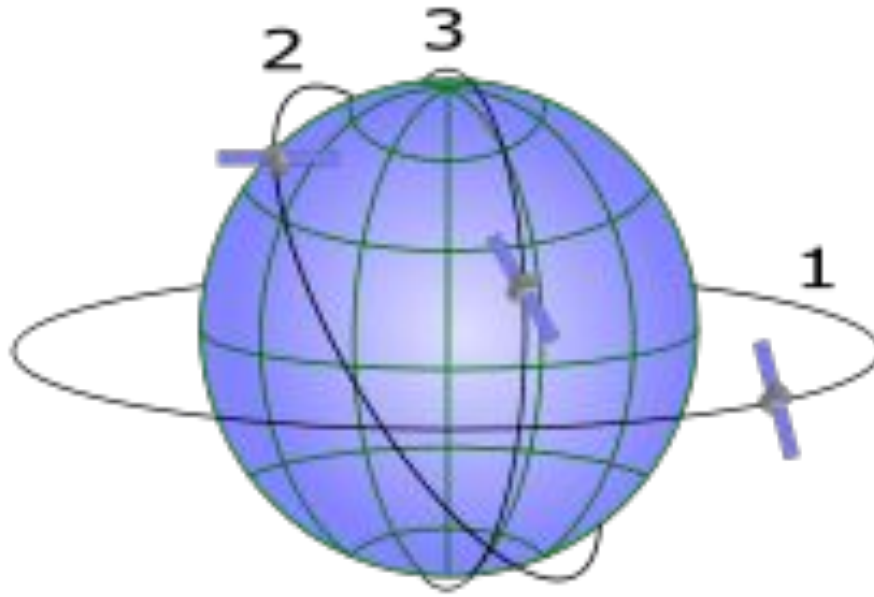
Орбиты спутниковых ретрансляторов

- Однако геостационарная орбита одна, емкость её, определяемая длиной окружности орбиты, поделённой на размеры спутников с учётом «интервалов безопасности» между ними, конечна.
- Поэтому все спутники, которые хотелось бы, вывести на неё невозможно.
- Другим её недостатком является большая высота (35 786 км), а значит, и большая цена вывода спутника на орбиту.
- Спутник на геостационарной орбите практически не способен обслуживать земные станции в приполярных областях.

Орбиты спутниковых ретрансляторов

- *Наклонная орбита* позволяет решить эти проблемы, однако, из-за перемещения спутника относительно наземного наблюдателя необходимо запускать не меньше трёх спутников на одну орбиту, чтобы обеспечить круглосуточный доступ к связи.
- *Полярная орбита* — предельный случай наклонной (с наклоном 90°).
- При использовании наклонных орбит земные станции оборудуются системами слежения, осуществляющими наведение антенны на спутник.
- Станции, работающие со спутниками, находящимися на геостационарной орбите, как правило, также оборудуются такими системами, чтобы компенсировать отклонение от идеальной геостационарной орбиты. Исключение составляют небольшие антенны, используемые для приёма спутникового телевидения: их диаграмма направленности достаточно широкая, поэтому они не чувствуют колебаний спутника возле идеальной точки.

Орбиты спутниковых ретрансляторов



Орбиты: 1 — экваториальная, 2 — наклонная, 3 — полярная

Многократное использование частот. Зоны покрытия

- Поскольку радиочастотный диапазон является ограниченным ресурсом, необходимо обеспечить возможность использования одних и тех же частот разными земными станциями. Сделать это можно двумя способами:
- *пространственное разделение* — каждая антенна спутника принимает сигнал только с определённого района земной поверхности, при этом разные районы могут использовать одни и те же частоты,
- *поляризационное разделение* — различные антенны принимают и передают сигнал с ортогональными поляризациями (для линейной поляризации во взаимно перпендикулярных плоскостях, для круговой соответственно с правосторонним и левосторонним вращением), при этом одни и те же частоты могут применяться два раза (для каждой из поляризаций).

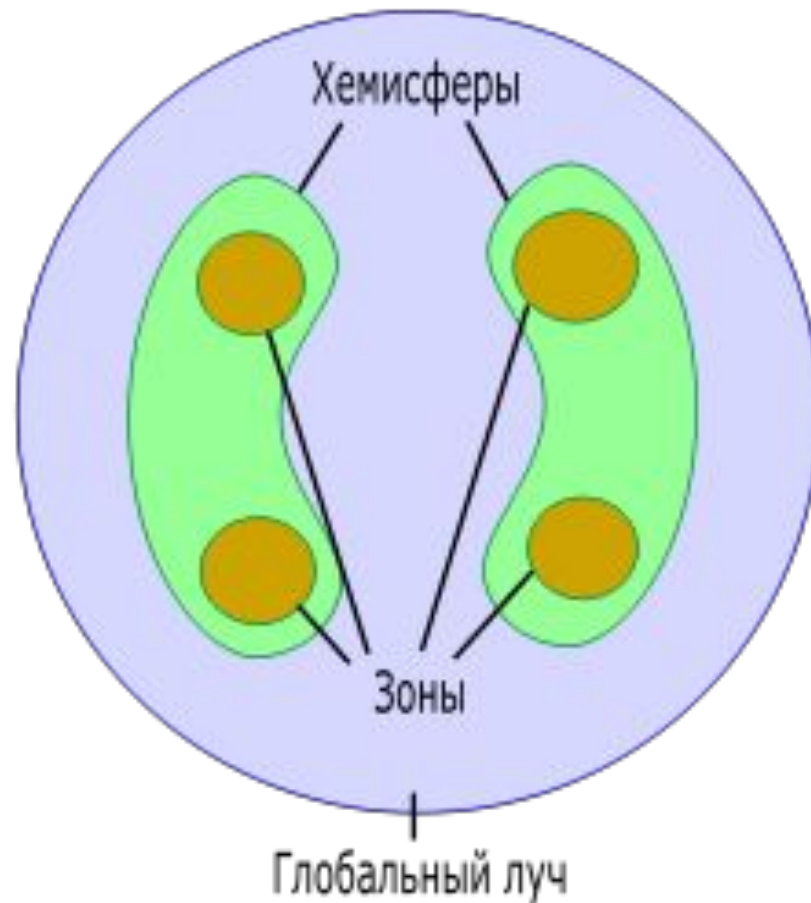
Многократное использование частот. Зоны покрытия

- Типичная карта покрытия для спутника, находящегося на геостационарной орбите, включает следующие компоненты:
- *глобальный луч* — производит связь с земными станциями по всей зоне покрытия, ему выделены частоты, не пересекающиеся с другими лучами этого спутника.
- *лучи западной и восточной полусфер* — эти лучи поляризованы в плоскости А, причём в западной и восточной полусферах используется один и тот же диапазон частот.
- *зонные лучи* — поляризованы в плоскости В (перпендикулярной А) и используют те же частоты, что и лучи полусфер. Таким образом, земная станция, расположенная в одной из зон, может использовать также лучи полусфер и глобальный луч.
- При этом все частоты (за исключением зарезервированных за глобальным лучом) используются многократно: в западной и восточной полусферах и в каждой из зон.

Многократное использование частот. Зоны покрытия

- Типичная карта покрытия для спутника, находящегося на геостационарной орбите, включает следующие компоненты:
- *глобальный луч* — производит связь с земными станциями по всей зоне покрытия, ему выделены частоты, не пересекающиеся с другими лучами этого спутника.
- *лучи западной и восточной полусфер* — эти лучи поляризованы в плоскости А, причём в западной и восточной полусферах используется один и тот же диапазон частот.
- *зонные лучи* — поляризованы в плоскости В (перпендикулярной А) и используют те же частоты, что и лучи полусфер. Таким образом, земная станция, расположенная в одной из зон, может использовать также лучи полусфер и глобальный луч.
- При этом все частоты (за исключением зарезервированных за глобальным лучом) используются многократно: в западной и восточной полусферах и в каждой из зон.

Многократное использование частот. Зоны покрытия



Типичная карта покрытия спутника, находящегося на геостационарной орбите

Многократное использование частот. Зоны покрытия

- Выбор частоты для передачи данных от земной станции к спутнику и от спутника к земной станции не является произвольным.
- От частоты зависит, например, поглощение радиоволн в атмосфере, а также необходимые размеры передающей и приёмной антенн.
- Частоты, на которых происходит передача от земной станции к спутнику, отличаются от частот, используемых для передачи от спутника к земной станции (как правило, первые выше).
- Частоты, используемые в спутниковой связи, разделяют на диапазоны, обозначаемые буквами.

Частотные диапазоны

Название диапазона	Частоты (согласно ITU-R V.431-6)	Применение
<u>L</u>	1,5 ГГц	Подвижная спутниковая связь
<u>S</u>	2,5 ГГц	Подвижная спутниковая связь
<u>C</u>	4 ГГц, 6 ГГц	Фиксированная спутниковая связь
<u>X</u>	Для спутниковой связи рекомендациями ITU-R частоты не определены. Для приложений радиолокации указан диапазон 8-12 ГГц.	Фиксированная спутниковая связь
<u>Ku</u>	11 ГГц, 12 ГГц, 14 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
<u>K</u>	20 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
<u>Ka</u>	30 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, межспутниковая связь

Модуляция и помехоустойчивое кодирование

- Особенностью спутниковых систем связи является необходимость работать в условиях сравнительно низкого отношения сигнал/шум, вызванного несколькими факторами:
- значительной удалённостью приёмника от передатчика,
- ограниченной мощностью спутника (невозможностью вести передачу на большой мощности).
- В связи с этим спутниковая связь плохо подходит для передачи аналоговых сигналов.
- Поэтому для передачи речи её предварительно оцифровывают, используя, например, импульсно-кодovou модуляцию (ИКМ).

Модуляция и помехоустойчивое кодирование

- Для передачи цифровых данных по спутниковому каналу связи они должны быть сначала преобразованы в радиосигнал, занимающий определённый частотный диапазон.
- Для этого применяется модуляция (цифровая модуляция называется также *манипуляцией*).
- Наиболее распространёнными видами цифровой модуляции для приложений спутниковой связи являются фазовая манипуляция и квадратурная амплитудная модуляция.
- Например, QPSK, 8-PSK, 16-APSK и 32-APSK.

Модуляция и помехоустойчивое кодирование

- Модуляция производится на земной станции.
- Модулированный сигнал усиливается, переносится на нужную частоту и поступает на передающую антенну.
- Спутник принимает сигнал, усиливает, иногда регенерирует, переносит на другую частоту и с помощью определённой передающей антенны транслирует на землю.
- Из-за низкой мощности сигнала возникает необходимость в системах исправления ошибок. Для этого применяются различные схемы помехоустойчивого кодирования, чаще всего различные варианты свёрточных кодов (иногда в сочетании с кодами Рида-Соломона), а также турбо-коды и LDPC-коды.

Множественный доступ

- Для обеспечения возможности одновременного использования спутникового ретранслятора несколькими пользователями применяют системы множественного доступа:
- *множественный доступ с частотным разделением* — при этом каждому пользователю предоставляется отдельный диапазон частот.
- *множественный доступ с временным разделением* — каждому пользователю предоставляется определённый временной интервал (таймслот), в течение которого он производит передачу и прием данных.
- *множественный доступ с кодовым разделением* — при этом каждому пользователю выдаётся кодовая последовательность, ортогональная кодовым последовательностям других пользователей. Данные пользователя накладываются на кодовую последовательность таким образом, что передаваемые сигналы различных пользователей не мешают друг другу, хотя и передаются на одних и тех же частотах.

Множественный доступ

- Кроме того, многим пользователям не требуется постоянный доступ к спутниковой связи.
- Этим пользователям канал связи (таймслот) выделяется по требованию с помощью технологии DAMA (Demand Assigned Multiple Access — множественный доступ с предоставлением каналов по требованию).

Применение спутниковой связи

- **Магистральная спутниковая**
- Изначально возникновение спутниковой связи было продиктовано потребностями передачи больших объёмов информации.
- Первой системой спутниковой связи стала система Intelsat, затем были созданы аналогичные региональные организации (Eutelsat, Arabsat и другие). С течением времени доля передачи речи в общем объёме магистрального трафика постоянно снижалась, уступая место передаче данных.
- С развитием волоконно-оптических сетей последние начали вытеснять спутниковую связь с рынка магистральной связи.

Применение спутниковой связи

- **Системы VSAT**
- Системы VSAT (Very Small Aperture Terminal — терминал с очень маленькой апертурой) предоставляют услуги спутниковой связи клиентам (как правило, небольшим организациям), которым не требуется высокая пропускная способность канала. Скорость передачи данных для VSAT-терминала обычно не превышает 2048 кбит/с.
- Слова «очень маленькая апертура» относятся к размерам антенн терминалов по сравнению с размерами более старых антенн магистральных систем связи. VSAT-терминалы, работающие в С-диапазоне, обычно используют антенны диаметром 1,8-2,4 м, в Ku-диапазоне — 0,75-1,8 м.
- В системах VSAT применяется технология предоставления каналов по требованию.

Применение спутниковой связи

- **Системы подвижной спутниковой связи**
- Особенностью большинства систем подвижной спутниковой связи является маленький размер антенны терминала, что затрудняет прием сигнала. Для того, чтобы мощность сигнала, достигающего приёмника, была достаточной, применяют одно из двух решений:
- Спутники располагаются на *геостационарной* орбите. Поскольку эта орбита удалена от Земли на расстояние 35786 км, на спутник требуется установить мощный передатчик.
- Множество спутников располагается на *наклонных* или *полярных* орбитах. При этом требуемая мощность передатчика не так высока, и стоимость вывода спутника на орбиту ниже. Однако такой подход требует не только большого числа спутников, но и разветвленной сети наземных коммутаторов. Подобный метод используется операторами Iridium и Globalstar.

Применение спутниковой связи

- **Спутниковый Интернет**
- Спутниковая связь находит применение в организации «последней мили» (канала связи между интернет-провайдером и клиентом), особенно в местах со слабо развитой инфраструктурой.
- Особенности такого вида доступа являются:
- Разделение входящего и исходящего трафика и привлечение дополнительных технологий для их совмещения. Поэтому такие соединения называют *асимметричными*.
- Одновременное использование входящего спутникового канала несколькими (например 200-ми) пользователями: через спутник одновременно передаются данные для всех клиентов «вперемешку», фильтрацией ненужных данных занимается клиентский терминал.

Применение спутниковой связи

- **Спутниковый Интернет**
- **По типу исходящего канала различают:**
- **Терминалы, работающие только на прием сигнала** (наиболее дешевый вариант подключения). В этом случае для исходящего трафика необходимо иметь другое подключение к Интернету, поставщика которого называют *наземным провайдером*.
- **Приемо-передающие терминалы.** Исходящий канал организуется узким (по сравнению со входящим). Оба направления обеспечивает одно и то же устройство, и поэтому такая система значительно проще в настройке. Такая схема требует установки на антенну более сложного (приемо-передающего) конвертера.
- И в том, и в другом случае данные от провайдера к клиенту передаются, как правило, в соответствии со стандартом цифрового вещания DVB, что позволяет использовать одно и то же оборудование как для доступа в сеть, так и для приема спутникового телевидения.

Недостатки спутниковой связи

● Слабая помехозащищённость

Огромные расстояния между земными станциями и спутником являются причиной того, что отношение сигнал/шум на приёмнике не очень невелико (гораздо меньше, чем для большинства радиорелейных линий связи).

Для того, чтобы в этих условиях обеспечить приемлемую вероятность ошибки, приходится использовать большие антенны, малошумящие элементы и сложные помехоустойчивые коды. Особенно остро эта проблема стоит в системах подвижной связи, так как в них есть ограничение на размер антенны и, как правило, на мощность передатчика.

● Влияние атмосферы

На качество спутниковой связи оказывают сильное влияние эффекты в тропосфере и ионосфере.

Недостатки спутниковой связи

● Поглощение в тропосфере

Степень поглощения сигнала атмосферой находится в зависимости от его частоты.

Максимумы поглощения приходятся на 22,3 ГГц (резонанс водяных паров) и 60 ГГц (резонанс кислорода). В целом, поглощение существенно сказывается на распространении сигналов с частотой выше 10 ГГц (то есть, начиная с Кв-диапазона). Кроме поглощения, при распространении радиоволн в атмосфере присутствует эффект замирания, причиной которому является разница в коэффициентах преломления различных слоёв атмосферы.

● Ионосферные эффекты

Эффекты в ионосфере обусловлены флуктуациями распределения свободных электронов. К ионосферным эффектам, влияющим на распространение радиоволн, относят *мерцание, поглощение, задержку распространения, дисперсию, изменение частоты, вращение плоскости поляризации*. Все эти эффекты ослабляются с увеличением частоты. Для сигналов с частотами, большими 10 ГГц, их влияние невелико.

Недостатки спутниковой связи

- **Задержка распространения сигнала**
- Проблема задержки распространения сигнала так или иначе затрагивает все спутниковые системы связи.
- Наибольшей задержкой обладают системы, использующие спутниковый ретранслятор на геостационарной орбите.
- В этом случае задержка, обусловленная конечностью скорости распространения радиоволн, составляет примерно 250 мс, а с учётом мультиплексирования, коммутации и задержек обработки сигнала общая задержка может составлять до 400 мс.
- Задержка распространения наиболее нежелательна в приложениях реального времени, например, в телефонной связи. При этом, если время распространения сигнала по спутниковому каналу связи составляет 250 мс, разница во времени между репликами абонентов не может быть меньше 500 мс.

Недостатки спутниковой связи

- **Задержка распространения сигнала**
- В некоторых системах (например, в системах VSAT, использующих топологию «звезда») сигнал дважды передается через спутниковый канал связи (от терминала к центральному узлу, и от центрального узла к другому терминалу). В этом случае общая задержка удваивается.
- **Влияние солнечной интерференции**
- При приближении Солнца к оси спутника-наземная станция радиосигнал, принимаемый со спутника наземной станцией, искажается в результате интерференции.