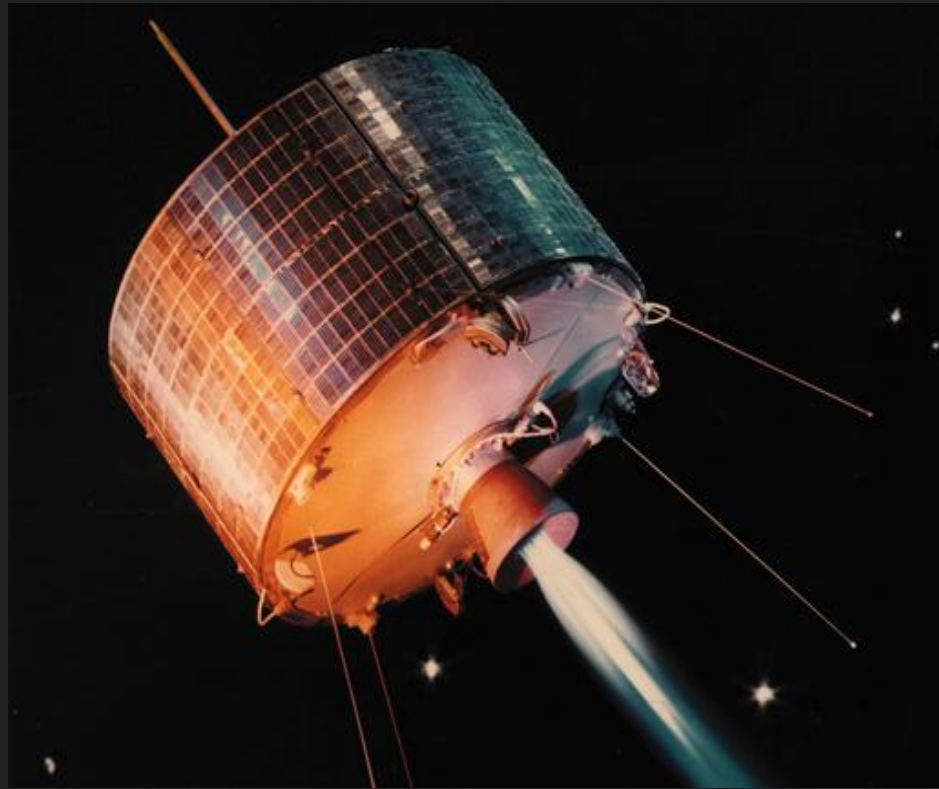


Системы спутниковой связи

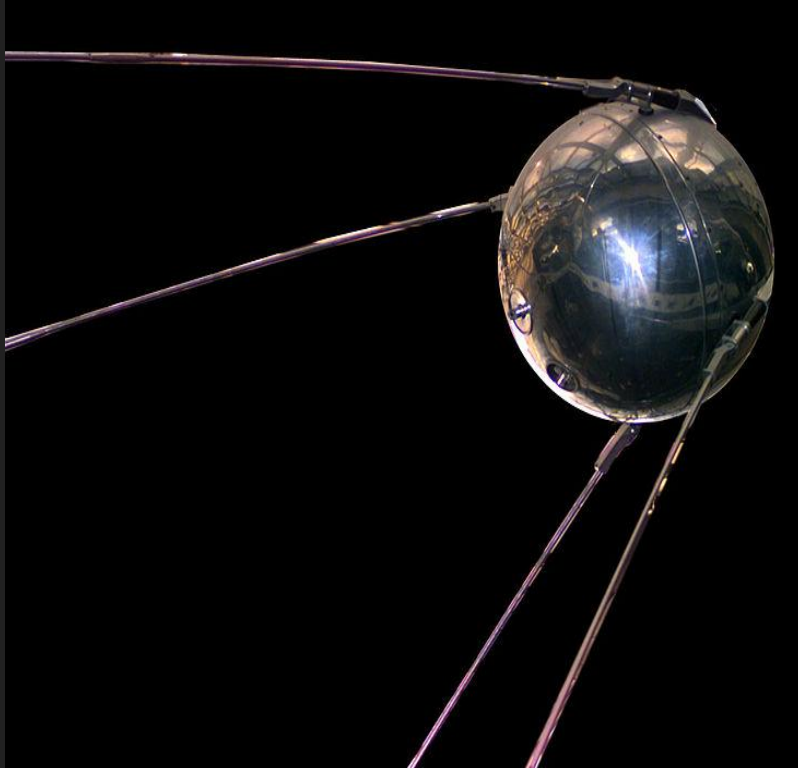




Спутниковая связь — один из видов радиосвязи, основанный на использовании искусственных спутников земли в качестве ретрансляторов. Спутниковая связь осуществляется между земными станциями, которые могут быть как стационарными, так и подвижными.

Спутниковая связь является развитием традиционной радиорелейной связи путем вынесения ретранслятора на очень большую высоту (от сотен до десятков тысяч км). Так как зона его видимости в этом случае — почти половина Земного шара, то необходимость в цепочке ретрансляторов отпадает — в большинстве случаев достаточно и одного.

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 приемопередающего оборудования. Такие спутники не получили распространения. Все современные спутники связи являются активными. Активные ретрансляторы оборудованы электронной аппаратурой для приема, обработки, усиления и ретрансляции сигнала.

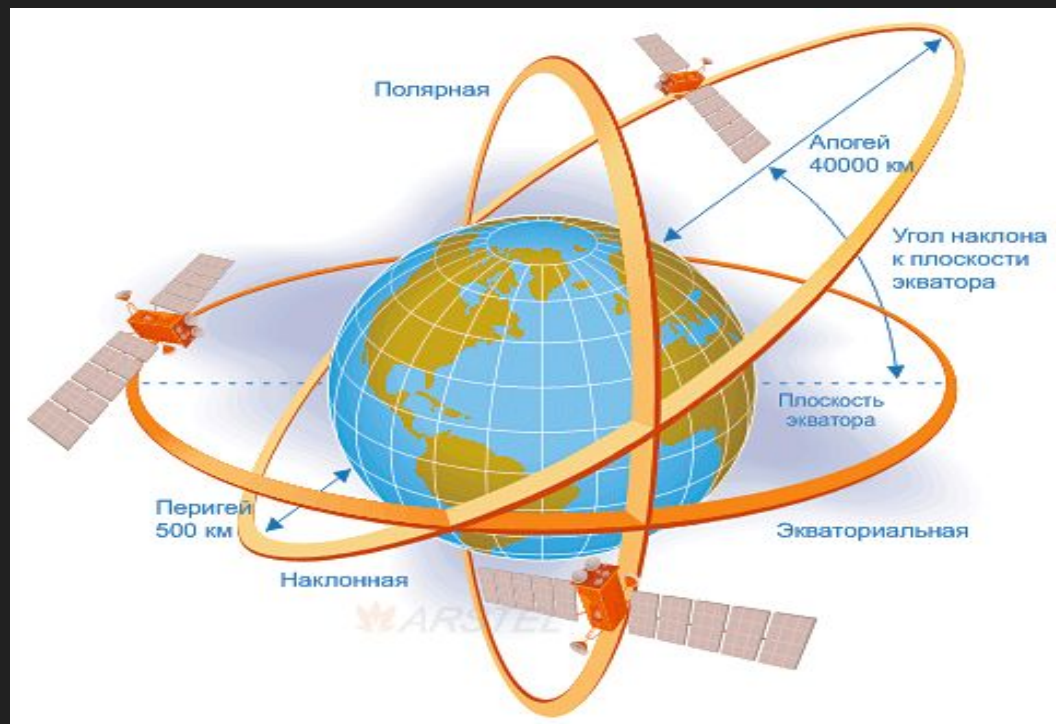


- Спутниковые ретрансляторы могут быть *нерегенеративными* и *регенеративными*. Нерегенеративный спутник, приняв сигнал от одной земной станции, переносит его на другую частоту, усиливает и передает другой земной станции.
- Спутник может использовать несколько независимых каналов, осуществляющих эти операции, каждый из которых работает с определенной 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

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 приемник в зоне обслуживания «видит» спутник постоянно.



Однако геостационарная орбита одна, и все спутники вывести на нее невозможно. Другим ее недостатком является большая высота, а значит, и большая цена вывода спутника на орбиту. Кроме того, спутник на геостационарной орбите неспособен обслуживать земные станции в приполярной области.

ПНаклонная орбита позволяет решить эти проблемы, однако, из-за перемещения спутника относительно наземного наблюдателя необходимо запускать не меньше трех спутников на одну орбиту, чтобы обеспечить круглосуточный доступ к связи.

ППолярная орбита — предельный случай наклонной (с наклоном 90°).

ППри 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 приема спутникового телевидения: их диаграмма направленности достаточно широкая, поэтому они не чувствуют колебаний спутника возле идеальной точки.

Многократное использование частот. Зоны покрытия

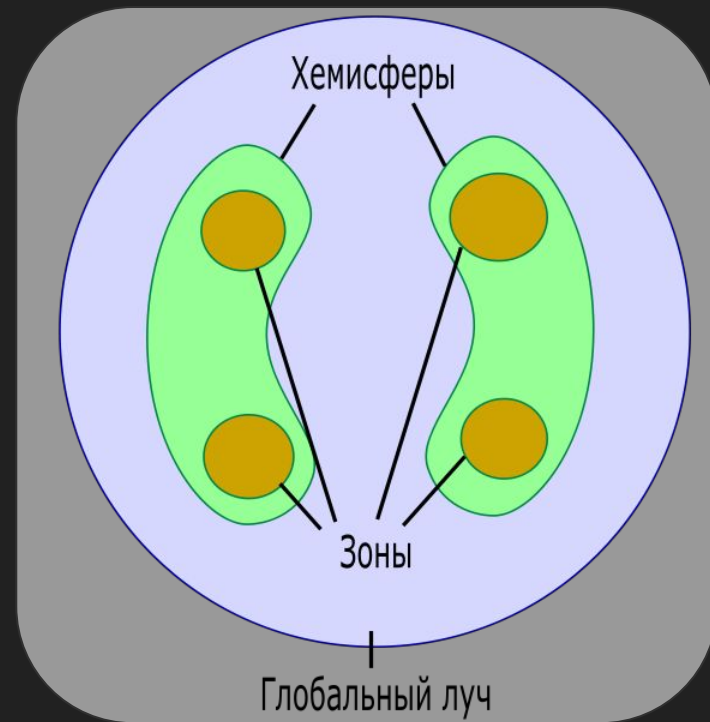
Поскольку радиочастоты являются ограниченным ресурсом, необходимо обеспечить возможность использования одних и тех же частот разными земными станциями. Сделать это можно двумя способами:

- ▣ **пространственное разделение** — каждая антенна спутника принимает сигнал только с определенного района, при этом разные районы могут использовать одни и те же частоты,
- ▣ **поляризационное разделение** — различные антенны принимают и передают сигнал во взаимно перпендикулярных плоскостях поляризации, при этом одни и те же частоты могут применяться два раза (для каждой из плоскостей).

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, причем 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.



Антенна для приема спутникового телевидения (Ku-диапазон)



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

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 приемной антенн.

Частоты, используемые в спутниковой связи, разделяют на диапазоны, обозначаемые буквами.

Частотные диапазоны

Применение

- L, ~1-2 ГГц, подвижная спутниковая связь
- S, ~2-4 ГГц, подвижная спутниковая связь
- C, ~3.4-7 ГГц, фиксированная спутниковая связь
- X, для спутниковой связи рекомендациями ИТУ-Р частоты не определены. Для приложений радиолокации указан диапазон ~8-12 ГГц. Фиксированная спутниковая связь (для военных целей)
- Ku, ~10.7-18 ГГц, Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
- K, ~18-26.5 ГГц, Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
- Ka, ~26.5-40 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 удаленностью приемника 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.

Для передачи цифровых данных по спутниковому каналу связи они должны быть сначала преобразованы в радиосигнал, занимающий определенный частотный диапазон. Для этого применяется модуляция (цифровая модуляция называется также манипуляцией). Наиболее распространенными видами цифровой модуляции для приложений спутниковой связи являются фазовая манипуляция и квадратурная амплитудная модуляция. Например, в системах стандарта DVB-S2 применяются QPSK, 8-PSK, 16-APSK и 32-APSK.

- Модуляция производится на земной станции. Модулированный сигнал усиливается, переносится на нужную частоту и поступает на передающую антенну. 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 определенной 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 сверточных кодов (иногда в сочетании с кодами Рида-Соломона).

Применение спутниковой связи



Антенна терминала 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.

Магистральная спутниковая связь

- 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 передачи данных.
- С развитием волоконно-оптических сетей последние начали вытеснять спутниковую связь с рынка магистральной 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 приемника, 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. Этот подход используется системой Inmarsat (основной задачей которой является предоставление услуг связи морским судам) и некоторыми региональными операторами персональной спутниковой связи (например, Thuraya).
- 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.
- С операторами персональной спутниковой связи конкурируют операторы сотовой связи. Характерно, что как Globalstar, так и Iridium испытывали серьезные финансовые затруднения, которые довели Iridium до реорганизационного банкротства в 1999 г.
- В декабре 2006 года был запущен экспериментальный геостационарный спутник Кику-8 с рекордно большой площадью антенны, который предполагается использовать для отработки технологии работы спутниковой связи с мобильными устройствами, не превышающими по размерам сотовые телефоны.

Спутниковый Интернет

- Спутниковая связь находит применение в организации «последняя миля» (канал 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 (по этой причине возможна «Рыбалка со спутника»).

- 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*. Для работы в такой схеме привлекается туннелирующее программное обеспечение, обычно входящее в поставку терминала. Несмотря на сложность (в том числе сложность в настройке), такая технология привлекательна большой скоростью по сравнению с dial-up за сравнительно небольшую цену.
 - Приемо-передающие терминалы. Исходящий канал организуется узким (по сравнению с входящим). Оба направления обеспечивают одно и то же устройство, и поэтому такая система значительно проще в настройке (особенно если терминал внешний и подключается к компьютеру через интерфейс Ethernet). 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 помехозащищенность

Огромные расстояния между земными станциями и спутником являются причиной того, что отношение сигнал/шум на приемнике 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

Поглощение 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 Ku-диапазона). Кроме поглощения, при распространении радиоволн в атмосфере присутствует эффект замирания, причиной которого является разница в **коэффициентах преломления** различных слоев 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 учетом 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

○ Влияние солнечной интерференции

При приближении Солнца к оси спутника наземной станции радиосигнал принимаемый со спутника наземной станцией, искажается в результате интерференции.