

# СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ

Спúтниковая 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. Для передачи через спутник сигнал должен быть модулирован. Модуляция производится на земной станции. Модулированный сигнал усиливается, переносится на нужную частоту и поступает на передающую антенну

Инженеры работают над первым в мире коммерческим спутником связи Early Bird  
В 1945 году в статье «Внеземные ретрансляторы» («Extra-terrestrial Relays»), опубликованной в октябрьском номере журнала «Wireless World», английский ученый, писатель и изобретатель Артур Кларк предложил идею создания системы спутников связи на геостационарных орбитах, которые позволили бы организовать глобальную систему связи. Впоследствии Кларк на вопрос, почему он не запатентовал изобретение (что было вполне возможно), отвечал, что не верил в возможность реализации подобной системы при своей жизни, а также считал, что подобная идея должна приносить пользу всему человечеству.

Первые исследования в области гражданской спутниковой связи в западных странах начали появляться во второй половине 50-х годов XX века. Толчком к ним послужили возросшие потребности в трансатлантической телефонной связи. 20 августа 1964 г. 11 стран подписали соглашение о создании международной организации спутниковой связи Intelsat (International Telecommunications Satellite organization)[1], но СССР в их число естественно не входил по вполне понятным политическим причинам. 6 апреля 1965 г. в рамках этой программы был запущен первый коммерческий спутник связи Early Bird («ранняя пташка»)[2], произведенный корпорацией COMSAT.

По сегодняшним меркам спутник Early Bird (INTELSAT I) обладал более чем скромными возможностями: обладая полосой пропускания 50 МГц, он мог обеспечивать до 240 телефонных каналов связи[3]. В каждый конкретный момент времени связь могла осуществляться между земной станцией в США и только одной из трёх земных станций в Европе (в Великобритании, Франции или Германии), которые были соединены между собой кабельными линиями связи. В дальнейшем технология шагнула вперед, и спутник INTELSAT IX уже обладал полосой пропускания 3456 МГц



Первый искусственный спутник Земли был запущен в СССР в 1957 г., однако в силу большей закрытости космической программы развитие спутниковой связи в социалистических странах шло иначе чем в западных странах. Долгое время спутниковая связь развивались только в интересах Министерства Обороны СССР. Развитие гражданской спутниковой связи началось соглашением между 9 странами социалистического блока о создании системы связи «Интерспутник» которое было подписано только в 1971 г. Спутниковые ретрансляторы

Пассивный спутник связи Echo-1, 1960. Металлизированная надувная сфера диаметром 30 м 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 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 Орбиты: 1 — экваториальная, 2 — наклонная, 3 — полярная



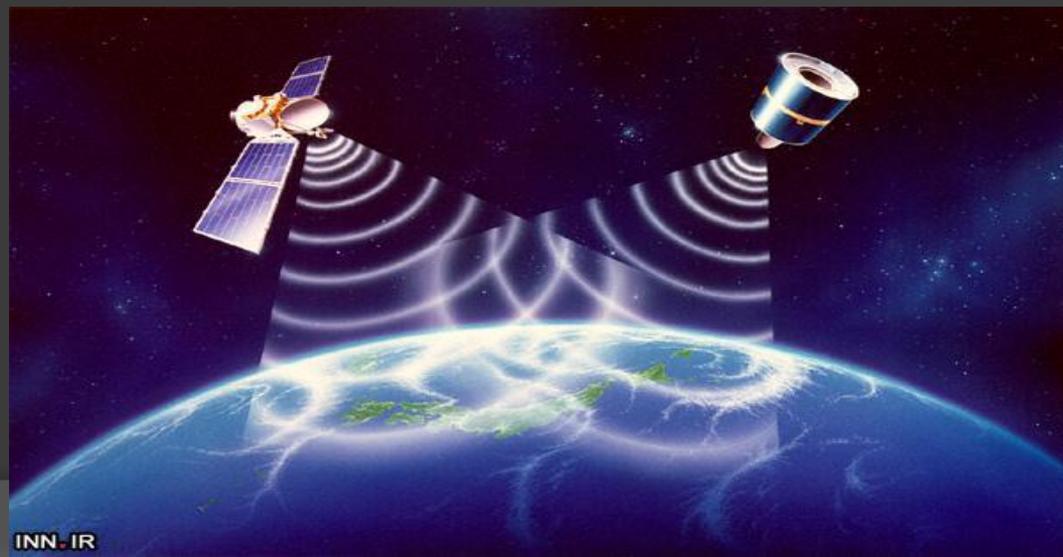
Орбиты, на которых размещаются спутниковые ретрансляторы, подразделяют на три класса:

- 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 приемник в зоне обслуживания «видит» спутник постоянно. Однако геостационарная орбита одна, и все спутники вывести на неё невозможно. Другим её 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. Наклонная 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. Полярная орбита — предельный случай наклонной (с наклоном  $90^\circ$ ). 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 приема спутникового телевидения: их диаграмма направленности достаточно широкая, поэтому они не чувствуют колебаний спутника возле идеальной точки



- ⦿ Поскольку радиочастоты являются ограниченным ресурсом, необходимо обеспечить возможность использования одних и тех же частот разными земными станциями. Сделать это можно двумя способами[10]:
- ⦿ □ 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[11]:
- ⦿ □ 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



- 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, 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. К сожалению, в различной литературе точные границы диапазонов могут не совпадать. Ориентировочные значения даны в рекомендации ITU-R V.431-6 [12]:
- Название
- диапазона
- Частоты (согласно ITU-R V.431-6) Применение
- L 1,5 ГГц Подвижная спутниковая связь
- S 2,5 ГГц Подвижная спутниковая связь
- C 4 ГГц, 6 ГГц Фиксированная спутниковая связь
- X
- Для спутниковой связи рекомендациями ITU-R частоты не определены. Для приложений радиолокации указан диапазон 8-12 ГГц.
- Фиксированная спутниковая связь (для военных целей)
- Ku 11 ГГц, 12 ГГц, 14 ГГц Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
- K 20 ГГц Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
- Ka 30 ГГц Фиксированная спутниковая связь, межспутниковая связь
- Используются и более высокие частоты, но повышение их затруднено высоким поглощением радиоволн этих частот атмосферой. Ku-диапазон позволяет производить прием сравнительно небольшими антеннами, и поэтому используется в спутниковом телевидении (DVB), несмотря на то, что в этом диапазоне погодные условия оказывают существенное влияние на качество передачи.
- Для передачи данных крупными пользователями (организациями) часто применяется S-диапазон. Это обеспечивает более высокое качество приема, но требует довольно больших размеров антенны



Изначально возникновение спутниковой связи было продиктовано потребностями передачи больших объемов 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 объеме магистрального трафика постоянно снижалась, уступая место передаче данных. С развитием волоконно-оптических сетей последние начали вытеснять спутниковую связь с рынка магистральной 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



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[21], 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.

Спутниковый Интернет

Основная статья: Спутниковый интернет

Спутниковая связь находит применение в организации «последней мили» (канала связи между интернет-провайдером и клиентом), особенно в местах со слабо развитой инфраструктурой.

Особенностями 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



emarket.ua

board.com.ua

сложность в настройке), такая технология привлекательна большой скоростью по сравнению с dial-up за сравнительно небольшую цену. Приемно-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 (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, малозумящие 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. 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 которому 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.

Поглощение в ионосфере (на полюсе) 5 дБ 1,1 дБ 0,05 дБ 0,006 дБ 0,0005 дБ

Поглощение в ионосфере (в средних широтах) <1 дБ 0,1 дБ <0,01 дБ

<0,001 дБ

<0,0001 дБ

Сигналы с относительно низкой частотой (L-диапазон и частично С-диапазон) страдают от ионосферного мерцания, возникающего из-за неоднородностей в ионосфере.

Результатом этого мерцания является постоянно меняющаяся мощность сигнала.

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. 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.