

# Лекция по технологиям HTS

На основе материала компании Intelsat.

Источник: [http://www.youtube.com/watch?v=lv8\\_e8uT624](http://www.youtube.com/watch?v=lv8_e8uT624)

Высокопроизводительный спутник (High Throughput Satellite) – это спутник, производительность которого во много раз превышает производительность традиционных спутников, при одинаковом объеме выделенных спутнику частот. Для сравнения, обычный спутник способен передавать порядка 2 Гбит/с. Спутники Intelsat IX-серии являются более производительными и имеют большую емкость, порядка 4 Гбит/с. HTS-спутники намного производительнее за счет:

- Повторного использования частот (frequency reuse);
- Использования большого набора высокоэнергетичных точечных лучей;
- Снижения стоимости передачи бита информации, независимо от спектральной емкости.



Рисунок 1. Спутник Intelsat IX-серии.

На рисунке 1 представлен спутник Intelsat IX-серии, имеющий емкость 4 Гбит/с, он использует четыре луча, в которых повторно используются частоты. Но этот спутник не имеет точечных лучей (spot-beams), поэтому он не является HTS-спутником по определению.

Рассматривая структуру Intelsat Epic, необходимо рассмотреть пять атрибутов HTS-системы:

1. Производительность – количество информации передаваемой за единицу времени;
2. Спектральная эффективность, напрямую зависит от производительности;
3. Покрытие – географическая зона, в которой предоставляются спутниковые сервисы;
4. Сетевая архитектура, предполагает использование не только топологии “Звезда”, применяемой большинством HTS-систем;
5. Частотный диапазон и характеристики спектра.

Все пять компонентов оказывают влияние на процесс проектирования и создания спутника.

1. **Производительность** – скорость передачи информации, измеряемая в бит/с. Как можно увеличить количество бит передаваемых за секунду? Производительность является функцией двух составляющих:
  - ширины полосы пропускания (Гц);

- спектральной эффективности (бит/сек/Гц).

Одним из способов увеличения производительности является увеличение полосы пропускания, т.е. какую часть спектра можно использовать в данной орбитальной точке. Рассматривая вопрос об увеличении размеров трубы, которую представляет собой спутниковый канал, передающий пользовательские данные. Размер “трубы” определяет доступную полосу пропускания.

Ресурс в 500 МГц можно представить в виде “трубы” соответствующего размера – HTS-технология призвана преодолеть ограничение по количеству передаваемой информации, накладываемое данным частотным ресурсом. Одним из способов преодоления ограничения полосы пропускания является повторное использование частот. 500 МГц в любом из диапазонов Ka, Ku или C могут быть повторно использованы на нескольких не пересекающихся зонах покрытия различных лучей. При повторном использовании суммарная полоса пропускания увеличивается. Но нельзя постоянно увеличивать производительность при отсутствии механизмов эффективного использования спектра. Спектральная эффективность определяет, сколько информации за единицу времени может быть передано через канал с определенной полосой пропускания. Необходимо оценивать насколько эффективно используется “труба” представляющая собой фиксированную пропускную способность канала связи. Необходимо стремиться к теоретическому пределу.

Повторное использование частот не обеспечит высокую эффективность. Увеличение повторного использования частот снизит возможность достижения максимальной эффективности. Для большей эффективности необходимо задействовать больше мощности. Рассматривая производительность необходимо говорить о компромиссе между эффективностью и полосой пропускания.

Современные пользовательские приложения предъявляют все большие и большие требования к производительности каналов связи - телевидение высокой четкости, приложения реального времени и т.д.

**2. Спектральная эффективность.** Мы говорили ранее о спектральной эффективности как о двигателе производительности, но она также является атрибутом HTS-технологии, основанной на повторном использовании частот в узконаправленных лучах. Использование таких лучей увеличивает эффективность в любом диапазоне частот. Уменьшение размеров луча обеспечивает достижение следующих целей:

- мощность спутника сконцентрирована в небольшой зоне, следовательно, можно достичь большей эффективности. Как правило, эта дополнительная мощность направлена на расширение размеров транспондеров спутника-ретранслятора;
- температура шума снижается вместе с уменьшением размера луча, позволяя обеспечить более эффективную передачу со стороны удаленной станции.

Второе, как правило, является значимым фактором.

Если лучи с одинаковой частотой находятся слишком близко друг к другу, то они начинают интерферировать (мешать друг другу) снижая тем самым общую спектральную эффективность. Интерференция может быть большей или меньшей в зависимости от близости лучей и количества лучей с одинаковой частотой. Поэтому необходимо обеспечить компромисс между повторным использованием частот и спектральной эффективностью.

Разработчики HTS-спутников разделяют доступный спектр частот на сегменты, которые изображают в виде контуров различного цвета, чем больше цветов, тем меньше повторного использования частот. Использование четырех цветов говорит о том, что частоты использовались повторно столько раз, сколько кругов, например красного цвета, показано на рисунке 2.

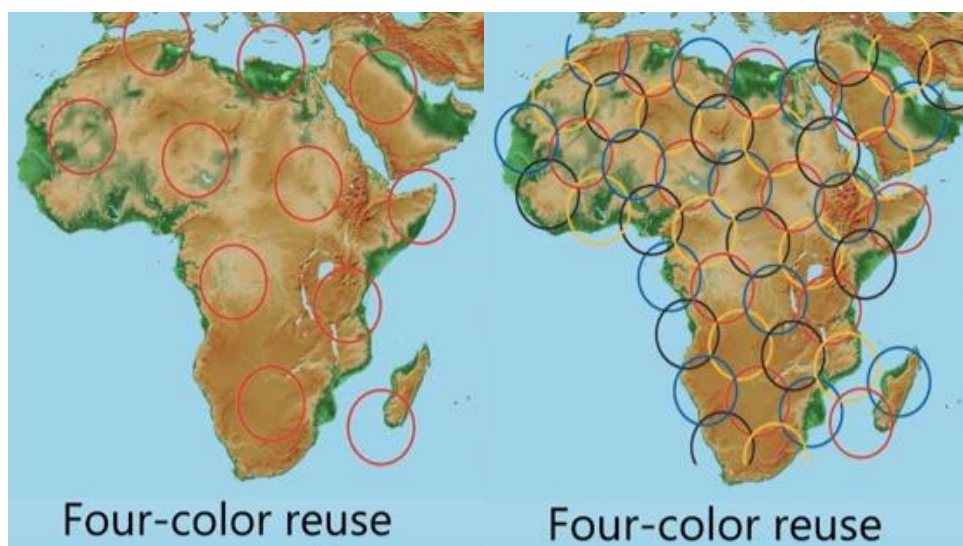


Рисунок 2. Повторное использование частот. Четыре сегмента.

В рассматриваемом примере каждый цвет представляет собой часть доступного спектра размером 250 МГц из доступных спутнику 500 МГц, в двух поляризациях. Таким образом, обеспечивается полоса пропускания в 1 ГГц.

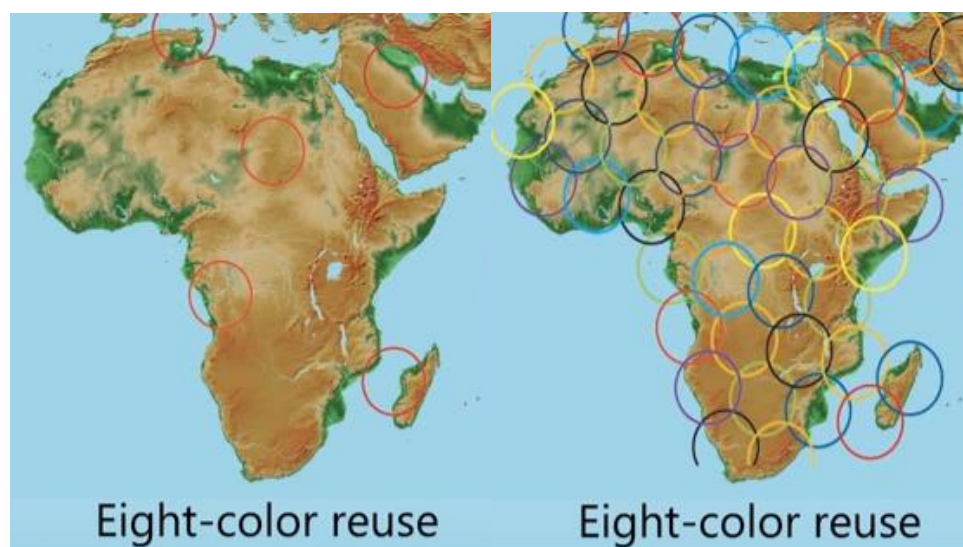


Рисунок 3. Повторное использование частот. Восемь сегментов.

На рисунке 3 представлен пример, в котором лучи с одинаковыми частотами расположены гораздо дальше друг от друга - это уменьшает взаимную интерференцию между лучами, что в свою очередь позволяет говорить о большей эффективности. Обеспечивается меньшая суммарная производительность спутника за счет разделения доступного спектра на большее количество частей, поскольку частоты реже получают повторное использование. Выбор количества частей (цветов), на которые требуется разделить доступный спектр, зависит от задач, для которых будет использоваться данный спутник.

Для предоставления услуг пользовательского класса (Широкополосный доступ - ШПД), в случае когда спутник обслуживается одним провайдером (Inmarsat GX, Tooway и другие закрытые платформы) меньшее количество цветов обеспечивает максимальное повторное использование частот (обеспечивается меньшая эффективность).

Однако если услуги предоставляются несколькими сервис-провайдерами, использующими обратные каналы с различными характеристиками, различные размеры антенн на стороне терминалов, то схема с большим количеством цветов окажется более подходящей. В этом случае ресурсом спутника будет пользоваться меньшее количество пользователей, но они будут

обеспечены большей производительностью и доступностью линии связи. Это является важной задачей для обеспечения SLA, в том числе гарантированной скорости - CIR (Committed Information Rate).

На рисунке 4 представлена диаграмма, на которой изображены традиционные спутники, спутники для предоставления услуг пользовательского класса и спутники для предоставления услуг операторского класса, а также положение рассматриваемых спутников относительно производительности и эффективности использования спектра.

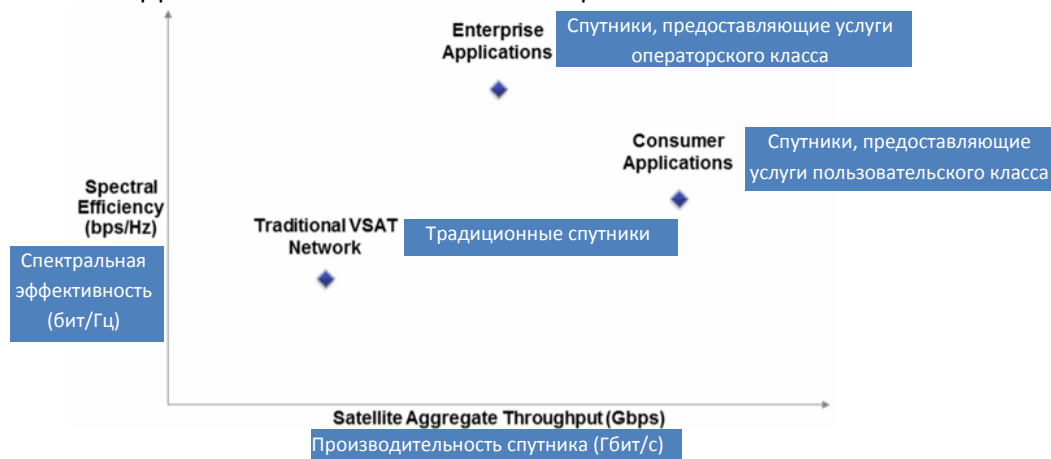


Рисунок 4. Возможности спутников различного типа.

Говоря об эффективности HTS-спутников необходимо соблюсти компромисс с теми бизнес-приложениями, которые будет обслуживать спутник. Так при меньшей эффективности сеть сможет обслуживать большее количество пользователей, при этом стоимость доступа к ресурсам сети для каждого пользователя будет наименьшей. С другой стороны, обеспечение высокой эффективности позволит реализовать сервис операторского класса, обеспечивая максимальную производительность при работе с каждым отдельным пользователем и точное соблюдение SLA.

Независимо от того какая используется стратегия работы спутника - высокая производительность или высокая эффективность HTS-спутник является более эффективным чем традиционные спутники. Большая эффективность позволяет снизить стоимость терминального оборудования.

**3. Покрытие.** Географическая зона покрытия луча зависит от частоты. Рассмотрим стандартный спутник-ретранслятор, с антенной 2,5 м. Такой размер антенны определяется размером отсека полезной нагрузки ракеты-носителя, выводящей спутник на орбиту. Антенна диаметром 2.5 м., формирует луч в Ka-диапазоне с диаметром покрытия земной поверхности порядка 320 км, в Ku-диапазоне диаметр покрытия составит порядка 960 км, в C-диапазоне диаметр покрытия составит порядка 1600 км. На рисунке 5 представлены зоны покрытия спутников в различных диапазонах частот, при использовании для ретрансляции антенны диаметром 2,5м.

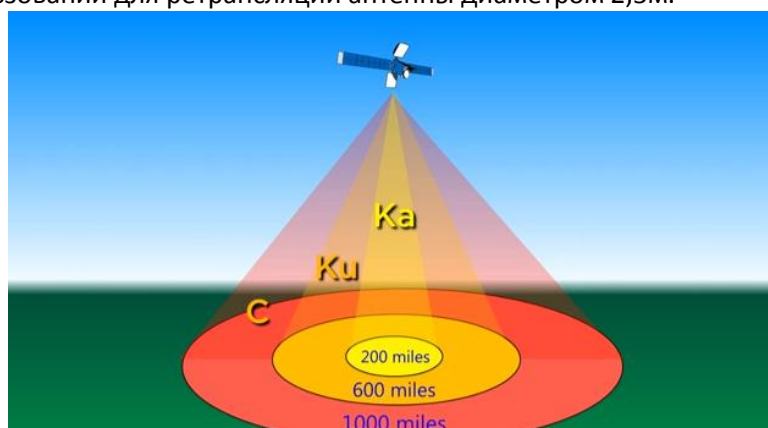


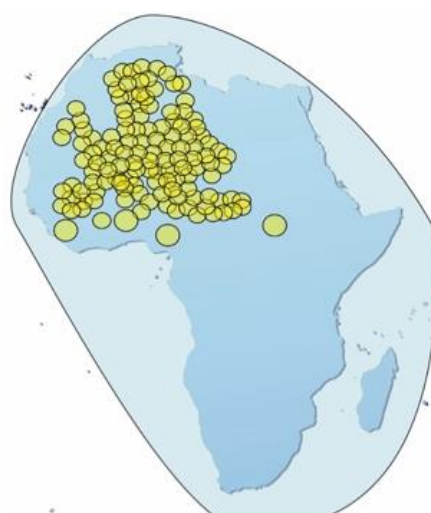
Рисунок 5. Зоны покрытия спутника в Ka-, Ku- и C-диапазонах, при использовании антенны спутника диаметром 2.5м.

Ка-диапазон обеспечивает большую концентрацию мощности сигнала, чем Ku- и C-диапазоны. Предположим, что необходимо обеспечить покрытие очень большой территории, например Африки. Такую территорию один из традиционных спутников Intelsat закрывает одним зонным лучом (hemisphere beam) - рисунок 6а. Если будут использоваться лучи в Ка-диапазоне, с диаметром зоны покрытия 320 км, то понадобится очень большое количество лучей (рисунок 6б), для работы которых понадобится весь спутниковый ресурс самой мощной существующей сегодня спутниковой платформы. Поэтому более выгодным видится использование более широких лучей в Ка-диапазоне (рисунок 6в), или лучей в Ku-диапазоне (рисунок 6г)

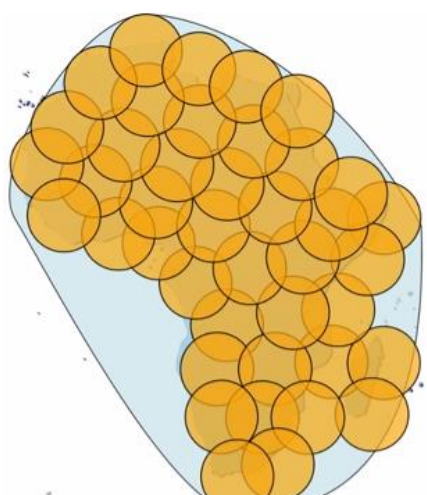
Однако, поскольку для работы в Ка-диапазоне требуется большой запас по мощности для снижения влияния атмосферных осадков, то для больших размеров луча, использование Ku-диапазона является более оправданным. Таким образом, если необходимо обеспечить спутниковую связь в Африке, это не получится сделать используя узконаправленные Ка-лучи, следует использовать более широкие лучи с диаметром зоны покрытия 960 км., но при этом теряются преимущества Ка-диапазона, т.к. лучи имеют такой же размер как и лучи в Ku-диапазоне, при этом необходимо держать запас мощности для снижения влияния атмосферных осадков.



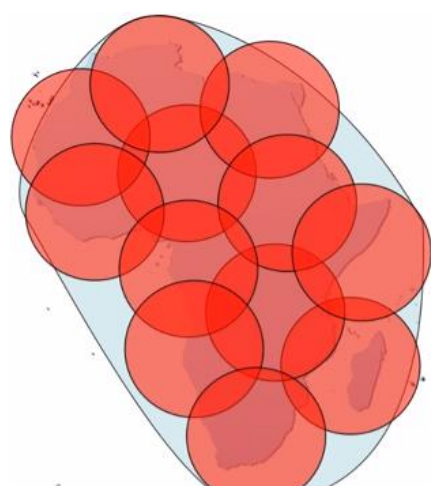
а) Зоновый луч (hemisphere beam)



б) Ка-лучи с зоной покрытия 360 км.



в) широкие лучи в Ка-диапазоне



г) Ku-лучи

Рисунок 6. Зоны покрытия лучей в различных диапазонах.

С точки зрения обслуживания пользователей зона покрытия спутника зависит от используемой бизнес модели и рынка, для которого предназначены услуги связи. Например,

большое количество пользователей сконцентрировано в одной географической зоне и все пользователи используют определенный тип приложений, им не требуется широкая зона покрытия. Таким образом, имеется возможность так спроектировать ресурс и покрытие спутника, чтобы удовлетворить данную группу пользователей и соответствующий им рынок услуг.

С другой стороны, необходимо предоставить услуги группе корпоративных клиентов и клиентам, работающим по всему миру - глобальные медиа-компании, сервис провайдеры обеспечивающие связь посольствам по всему миру, военные. Таким пользователям, как правило, требуется надежный сервис во всей зоне обслуживания, с использованием надежного оборудования. Таким образом, многие операторы рассматривают возможность использования HTS-спутников.

Важным аспектом обеспечения гибкости предоставления услуг пользователям - это обеспечение переброски спутниковой ёмкости в другую географическую зону. Еще одним аспектом работы спутника является обеспечение мобильности. На рисунке 7 представлено распределение авиамаршрутов по всему миру, поэтому необходимо обеспечить глобальное покрытие, для мобильности передвижения пользователей.



Рисунок 7. Основные глобальные авиамаршруты.

Тоже самое можно сказать относительно распределения морских путей по всему миру, представленного на рисунке 8. VSAT сервис-провайдерам, как правило, требуется глобальное покрытие для предоставления надежного сервиса судам по всему миру.



Рисунок 8. Основные глобальные морские маршруты.

**4. Архитектура сети.** В сети используется открытая архитектура, основанная на следующих положениях:

- архитектура поддерживает множество топологий построения сети, которые определяют взаимодействие пользователей с центральной станцией;

- архитектура поддерживает использование множества видов сетевых технологий для наземных подключений.

Существует три типа топологий сети:

- Звезда (рисунок 9). Пользователи обслуживаются набором лучей – пользовательскими лучами (user beams). Связь между пользовательскими лучами осуществляется через центральную станцию (Satellite Hub - Хаб), которая обслуживается фидерным лучом (gateway beam). Центральная станция может быть подключена к наземным сетям передачи данных, например к сети Интернет. При использовании топологии типа “звезда”, каждый пользователь для передачи данных должен пройти через общую точку сети - хаб, связь между пользовательскими лучами не предусмотрена. Большинство закрытых HTS-систем пользовательского класса работают с использованием данного типа сетевой топологии;

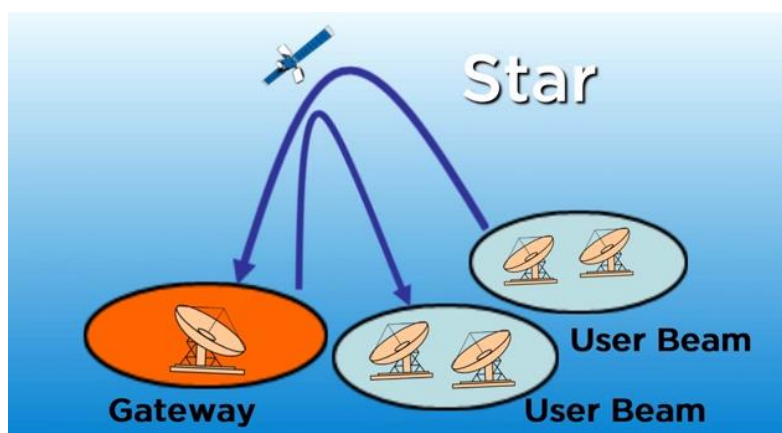


Рисунок 9. Архитектура сети - топология “звезда”.

- Полносвязная топология – mesh (рисунок 10). Если сетевая архитектура является открытой, то возможна реализация прямой связи между лучами, минуя центральную станцию.

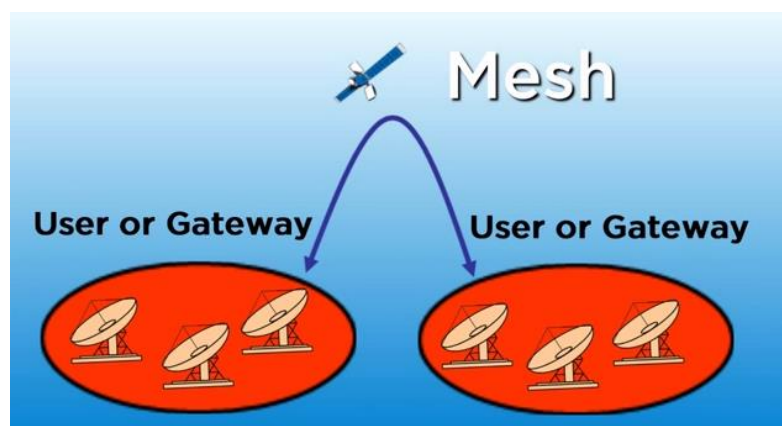


Рисунок 10. Архитектура сети – полносвязная топология (Mesh).

- Замкнутая топология - loopback (рисунок 11). В топологии данного типа центральная станция и абонентские станции находятся в зоне действия одного и того же луча. В большинстве случаев данную топологию не удастся получить при использовании HTS-систем, доступной она становится только при использовании открытых платформ.

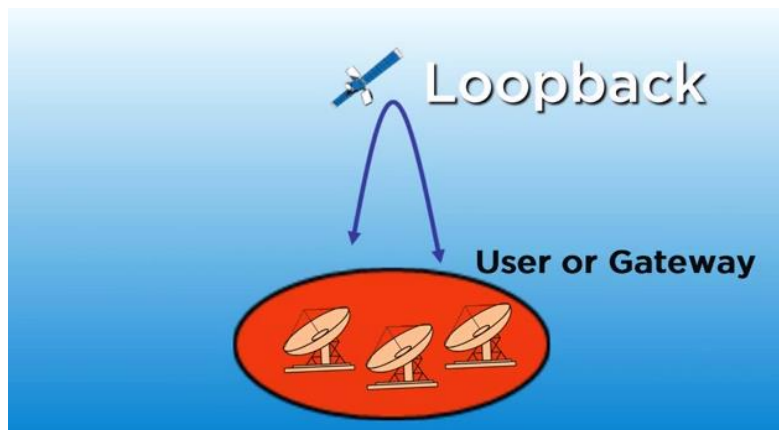


Рисунок 11. Архитектура сети - замкнутая топология (Loopback).

Степень открытости той или иной архитектуры HTS-систем определяется наземным сегментом сети. Если пользователь имеет возможность самостоятельно выбирать тип оборудования для подключения к спутниковой сети, представленного на рисунке 12, то архитектура сети является открытой. Если для работы в сети пользователь должен использовать определенный тип хаба и терминалов, то такая архитектура является закрытой.



Рисунок 12. Оборудование для использования в HTS-системах с открытой архитектурой.

Также необходимо рассмотреть ситуацию с пользователями уже имеющими собственные хабы и использующими существующие на сегодня технологии. Предположим, что существует изолированная сеть, обслуживаемая gateway-лучом (рисунок 13). Для работы в такой сети пользователи должны указать, что их шлюз находится в данном gateway-луче. Если пользователей необходимо переключить в другую сеть, то они должны использовать, соответственно, другой gateway-луч.

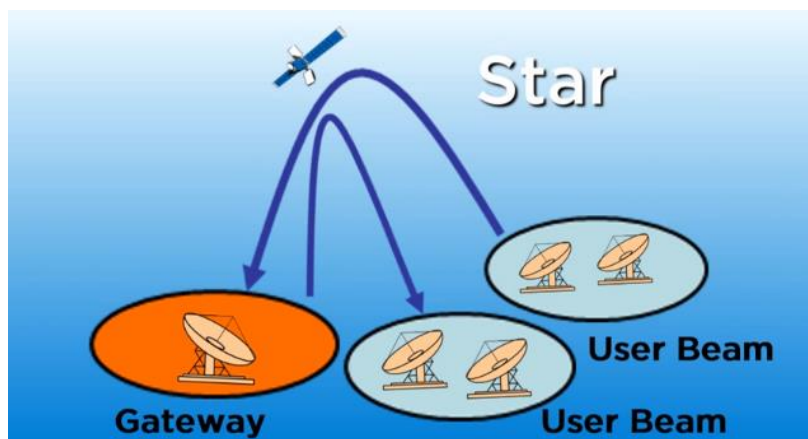


Рисунок 13. Пример работы закрытой сети.



С точки зрения клиентов, существует множество видов применения различных архитектур HTS-систем. Применение той или иной архитектуры зависит от конкретных задач, которые необходимо решить. В таблице 1 представлены особенности работы HTS-систем с использованием закрытых и открытых архитектур.

Таблица 1.

	Закрытая архитектура	Открытая архитектура
Топология сети	Топология типа “Звезда”, с фиксированным размещением телепортов.	Топологии “Звезда” или полносвязная с гибкими требованиями к размещению шлюзов (gateways/хабов).
Наземная технология	Выбирается оператором спутниковой сети. Подходит если требуется обслужить максимальное количество пользователей.	Клиенты имеют возможность выбора того или иного производителя оборудования.
Доступность сервиса	Как правило, услуги предоставляются по модели best effort (не гарантированная доставка) очень большой группе пользователей.	Имеется возможность гарантировать пользователям определенный уровень обслуживания – SLA (Service Level Agreement), предоставить гарантированную скорость в канале – CIR (Committed Information Rate) и обеспечить нужную доступность сервиса.
Производительность	Производительность спутника равномерно распределяется между большим количеством пользователей.	Высокая производительность спутника распределяется между значительно меньшими группами пользователей, что обеспечивает надежность предоставляемых сервисов.
Типы используемых приложений	Широкополосный доступ к сети Интернет, мобильность пользователей и магистральные каналы связи.	Корпоративные и транспортные сети, государственные и военные применения, мобильные абоненты, магистральные сети для сотовых сетей связи и др.

**5. Спектр.** HTS-системы могут работать с различными диапазонами частот. Каким образом осуществляется выбор в пользу применения того или иного частотного диапазона? При выборе учитываются следующие критерии:

- *Доступность частот.* Большинство сервис-провайдеров работающих с HTS-системами используют Ka-диапазон, поскольку на сегодняшний день он является максимально доступным;
- *Атмосферные явления,* влияющие на распространение сигналов, в рассматриваемом регионе. В примере, рассмотренном на рисунке 14, показано, что в случае дождя наименьшее влияние претерпит спутниковый сигнал, передаваемый в S-диапазоне, большее ослабляющее действие испытает сигнал, передаваемый в Ku-диапазоне, наибольшее ослабляющее действие испытает сигнал в Ka-диапазоне. В таких регионах как средний восток и большая территория США, влияние атмосферных осадков не является

ограничивающим фактором для использования Ka-диапазона. В то же время, в Азии это является определяющим фактором, поскольку этот регион характеризуется обильными осадками;

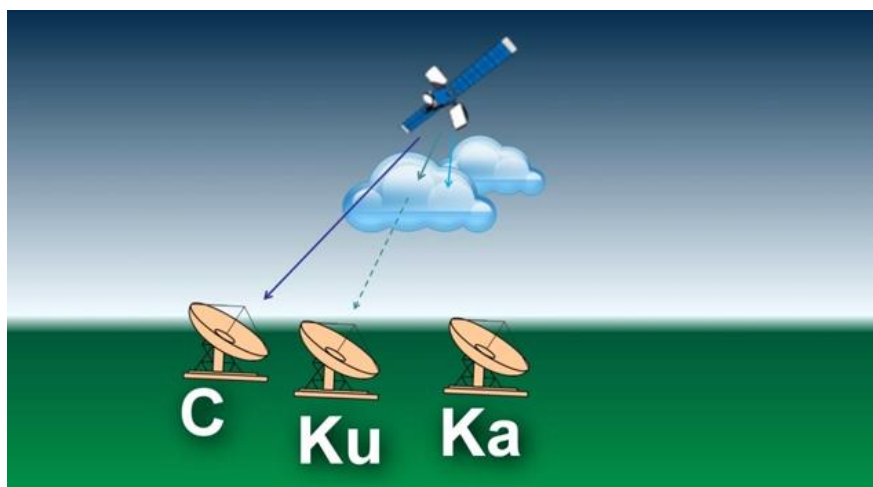


Рисунок 14. Влияние атмосферных осадков на распространение сигналов в различных диапазонах частот.

- *Доступность существующей инфраструктуры.* В случае если у оператора уже имеется сеть, состоящая из нескольких сотен терминалов, то нет необходимости переводить всех абонентов в другой диапазон частот. Переход на использование HTS-системы возможен с минимальными капитальными затратами, без необходимости замены терминального оборудования.

С точки зрения применения в бизнесе, существует множество вариантов выбора частотного диапазона используемого в HTS-системе. Ka-диапазон обеспечивает огромное преимущество при организации ШПД и для обеспечения максимальной производительности. Но Ku- и C-диапазоны являются более подходящими для приложений, где требуется обеспечить надежность связи. Выбор частотного диапазона зависит от:

- географической зоны, в которой предоставляются услуги – весь мир или определенная территория;
- требуемой производительности сети, стоимости канала связи;
- доступности резервирования – в случае возникновения проблем с используемым спутником, должна быть обеспечена возможность работы на другом спутнике, без необходимости замены наземного оборудования;
- доступность частотного ресурса - возможность оперативного выделения нужного частотного ресурса в требуемом частотном диапазоне.

**Intelsat Epic** является высокопроизводительной спутниковой платформой, основанной на открытой архитектуре, в которой применяются различные диапазоны частот. Платформа ориентирована на предоставление сервисов операторского класса. Использование Intelsat Epic позволит снизить стоимость передачи информации по спутниковым каналам связи и снизить стоимость владения.

