

# Факты и заблуждения: Использование диапазонов Ku и Ka для работы с HTS-спутниками

На основе материала: <http://www.microwavejournal.com/articles/20350-separating-fact-from-fiction-hts-ka--and-ku-band-for-mission-critical-satcom>

Технология построения спутников с высокой пропускной способностью - HTS (High throughput satellite) обеспечивающая беспрецедентно высокие пропускную способность и мощность ретранслируемого сигнала, на сегодняшний день, рассматривается как “новое веяние” в спутниковой связи. Несмотря на высокий потенциал HTS в целом, существуют значительные заблуждения и непонимания со стороны пользователей и промышленности относительно преимуществ и недостатков присущих данной технологии. Имея различные варианты реализации сети спутниковой связи, на каком из них остановиться для решения поставленных задач?

В то время как предоставление услуг связи в Ka-диапазоне набирает обороты, наряду с растущим интересом пользователей к данному виду услуг, традиционные услуги спутниковой связи в Ku-диапазоне рассматриваются как основа для бизнес-приложений и не будоражат умы пользователей услуг VSAT. Такое восприятие, отчасти, было создано промышленностью с целью повышения интереса к Ka-диапазону, но эта популярность является значительно завышенной, Ka-диапазон не является оптимальным для всех сервисов, предоставляемых через спутник. Подобное положение дел существовало в 80-х годах прошлого века, на заре внедрения систем связи работающих в Ku-диапазоне. Многие эксперты полагали, что S-диапазон практически будет вытеснен новым Ku-диапазоном. Но все оказалось совершенно наоборот, т.к. использование S-диапазона продолжало увеличиваться, поскольку он обеспечивал надежную связь при значительном ослаблении сигнала в атмосфере. В целом, все частотные диапазоны имеют свое место в спутниковой связи.

Для того чтобы лучше понять потенциал и практические возможности спутников нового поколения, компания Harris CapRock провела детальный инженерный анализ нескольких HTS-систем. Для решения поставленной задачи использовалась отраслевая информация, наряду с опытом, которым обладают специалисты этой компании. Проведенный анализ позволяет дать четкое представление о возможностях HTS, включая зону покрытия луча, потребляемую мощность, диапазон частот, доступность линии и фактическую стоимость бита переданной информации.

## Более пристальный взгляд на спутники с высокой пропускной способностью

HTS-системами называются спутниковые системы, в которых используется большое количество узконаправленных лучей, каждый из которых охватывает определенную зону обслуживания, рисунок 1.



Рисунок 1. Зоны обслуживания HTS-спутника.

Узконаправленные лучи обеспечивают высокую энергетику сигнала и его усиление (EIRP и G/T), это позволяет земным станциям с небольшим диаметром антенны принимать высокоскоростные информационные потоки даже в условиях наличия атмосферных осадков, обеспечивая высокую доступность канала связи. Как правило, HTS-спутники оборудованы большим количеством очень широкополосных транспондеров распределенных между узконаправленными лучами, емкость транспондеров может превышать 100 МГц.

Решения на основе технологии HTS могут содержать как Ku- так и Ka-платформы. Чтобы лучше понять разницу между HTS-Ka и HTS-Ku необходимо учитывать следующую информацию об HTS:

- Зона покрытия разделена на участки, каждый из которых закрывается собственным лучом;
- Каждый луч закрывает примерно 1%-2% от зоны покрытия обычного спутника;
- Узконаправленные лучи обеспечивают повторное использование частот, что позволяет повысить производительность спутника;
- Небольшие, более узконаправленные лучи обеспечивают большую производительность, чем один обычный луч;
- HTS-спутник может работать как в Ku-, так и в Ka-диапазоне.

HTS-системы комбинируют исключительную эффективность использования спектра, и производительность антенн формирующих узконаправленные лучи от широкополосных транспондеров, все это обеспечивает высокую пропускную способность и производительность спутника. В каждом узконаправленном луче повторно используется частоты несущих сигналов, за счет этого, HTS-спутник позволяет увеличить ёмкость от 5 до 10 раз, по сравнению с обычным спутником. С точки зрения пользователя, это позволяет существенно увеличить скорость доступа к информации и соответственно увеличить производительность, по сравнению со связью через обычный спутник.

Как правило, HTS-лучи имеют “ширину” в 3дБ, при диаграмме направленности от 0,5 до 1,5 градусов. Количество лучей доступных на спутнике может варьироваться от нескольких десятков до более чем ста лучей. Емкость транспондера HTS-спутника составляет порядка 5-10 ГГц, при этом задействованные частоты могут быть повторно задействованы несколько раз в лучах, накрывающих географически изолированные зоны. Лучи могут быть перенацеливаемыми либо фиксированными. Поскольку луч закрывает географически ограниченную область, то HTS-спутники оборудованы лучами (фидерная линия) и транспондерами, которые выступают в качестве шлюзов для связи спутника с центральным телепортом.

Узконаправленные лучи формируются за счет использования относительно больших антенных структур, фокусирующих энергию передаваемого сигнала и при этом имеющих большую поверхность для сбора энергии принимаемого сигнала. Следовательно, значительно увеличивают производительность спутникового канала связи, обеспечивая высокую пропускную способность при большей доступности, чем при использовании традиционных региональных или глобальных лучей. Однако, улучшения доступности канала связи, получаемые за счет использования рассматриваемых антенных структур фокусирующих радиосигналы в узконаправленные лучи, приводят к тому, что обеспечивается очень ограниченная географическая зона покрытия луча.

Поиск компромисса между производительностью и зоной покрытия - является важнейшей задачей при разработке HTS-систем в Ka-диапазоне, когда каналы связи особенно сильно подвержены влиянию дождя и других атмосферных явлений, соответственно разработчики HTS-системы должны найти баланс между требуемой географической зоной покрытия спутника и производительностью канала связи, которую обеспечивают узконаправленные лучи спутника (рисунок 2). Размер антенны обратно пропорционален квадрату частоты. Поэтому, использование очень узконаправленных лучей для минимизации влияния атмосферных явлений на распространение сигнала, является особенно интересным в Ka-диапазоне. С другой стороны,

такие характеристики спутника как количество транспондеров, загрузка, требования к энергетике спутника пропорциональны количеству лучей спутника, т.о. очень малые лучи ограничивают зону обслуживания HTS-спутника.

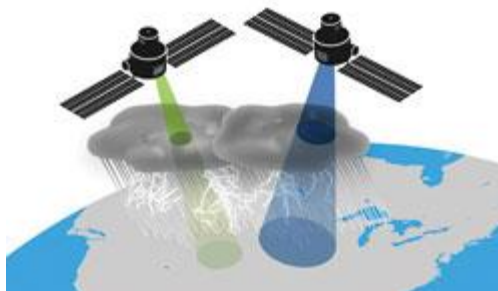


Рисунок 2. Компромисс между зоной покрытия и производительностью HTS-спутника.

Необходимость выбора между зоной покрытия и производительностью канала связи, как правило, делит HTS-системы на два класса: системы ориентированные в большей степени на высокую доступность канала связи и системы ориентированные на максимальные зоны покрытия. В системах первого класса применяются очень узконаправленные антенны, в то время как второй класс HTS-систем жертвует производительностью канала связи в пользу большей зоны покрытия.

#### **Ku- против Ka-диапазона: анализ производительности**

При изучении преимуществ и недостатков Ka-диапазона с технической точки зрения, очень важно оценивать плюсы и минусы относительно целевых рынков, на которых предоставляются услуги. В удаленной и труднодоступной местности пользователи, как правило, отдают предпочтение надежности связи, пропускной способности и производительности приложений. С одной стороны, есть те, кто хочет обеспечить удаленное рабочее место VPN-подключением с гарантированной скоростью и надежным сервисом, способным обеспечить работу сложных приложений в тяжелых промышленных условиях. С другой стороны, есть обычные пользователи, которым не требуется доступ к выделенным сетям, а требуется доступ к сети Интернет и голосовым сервисам. Техническое и коммерческое сравнение HTS-систем на базе Ku- или Ka-диапазона, помогает понять преимущества и недостатки решений на основе данных систем.

#### **Стоимость**

Использование узконаправленных лучей позволяет достичь высокой спектральной эффективности как для систем на базе Ku-, так и на базе Ka-диапазона. HTS-системы в обоих диапазонах используют сверхширокополосные транспондеры и повторное использование частот. Эти особенности создают эффект масштабирования, который позволяет спутниковым операторам предоставлять ресурс по конкурентным и сопоставимым друг с другом ценам. Однако, это преимущество пропадает когда производительность Ka-системы снижается в пользу увеличения зоны покрытия, за счет использования более широких лучей. Эти факторы не отличаются в тех случаях, когда речь идет об очень узконаправленных лучах в Ku- и Ka-системах, но в случае, когда речь идет о широких лучах в Ka-диапазоне - их показатели снижаются. В результате, HTS-система на базе Ku-диапазона демонстрирует более выгодное соотношение “стоимость/скорость передачи” по сравнению с HTS-системой на базе Ka-диапазона, если сравнивать системы при их одинаковой доступности и размеру лучей.

#### **Покрытие**

Покрытие систем, в которых используются узконаправленные лучи, является ограниченным по определению. Каждый луч, как правило, покрывает всего несколько тысяч квадратных

километров. Некоторые HTS-системы охватывают большие области земной поверхности за счет использования большого набора узконаправленных лучей. Большие Ku- и Ka-лучи как правило имеют примерно одинаковую ширину луча и соответственно имеют схожее покрытие земной поверхности. Однако, узконаправленные Ka-лучи, покрывают примерно 10-15% от зоны покрытия большого луча. Такие спутники, как правило, обеспечивают меньшую суммарную зону покрытия.

### Гибкость и мобильность ресурса

Обязательства на разработку HTS-системы предполагают значительные долгосрочные инвестиции, причем, не только для владельца спутника, но также для провайдера услуг и пользователей. Расчетный срок службы таких систем превышает 10 лет, причем следует отметить, что рынок, на который ориентированы HTS-системы развивается очень динамично. В долгосрочной перспективе, морской и государственный секторы услуг спутниковой связи претерпевают постоянные изменения, под воздействием таких факторов как новые геологические разведки, нововведения в судоходстве, международные кризисы и т.д. Таким образом, является выгодной возможность изменения географии предоставления услуг в ответ на глобальные изменения на рынке. Многие спутниковые системы связи, обеспечивающие покрытие близкое к глобальному, работающие с использованием широких Ku- и Ka-лучей могут отреагировать на изменения рынка быстрее, чем системы, использующие узконаправленные Ka-лучи (Рисунок 3).

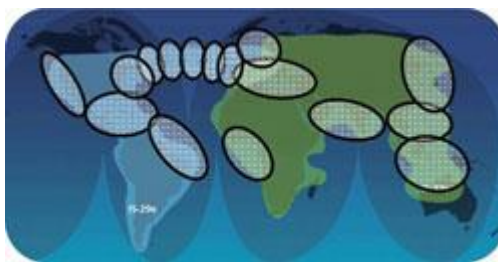


Рисунок 3. Спутниковая платформа Intelsat Epic, комбинирует различные диапазоны и размеры лучей.

HTS-системы Ku- и Ka-диапазона, в которых используется резервирование, имеют дополнительное преимущество - линии связи таких VSAT-систем, при необходимости, могут быть переориентированы на работу с традиционными системами связи, при этом их производительность может снизиться, за счет того, что резервный сервис функционирует с использованием более длинных волн для передачи сигналов.

### Восстановление сервисов при авариях на спутнике

Множество спутниковых сервисов в Ku-диапазоне, предоставляемых с использованием традиционных спутников, доступны практически по всему миру. Поскольку большинство Ka-сервисов предоставляется в “закрытых” сетях, то доступ к этим сервисам достаточно сильно ограничен. Поэтому, возникновение аварий на HTS-спутниках вызовет потерю сервисов в одном или более лучах. Подобную ситуацию можно смягчить, за счет перевода пользователей на альтернативные спутники, работающие в Ku-диапазоне. Возможность использования подобного резервирования при работе с Ka-диапазоном достаточно затруднительна. До тех пор пока, пользователь не зарезервирует используемую им систему Ka-диапазона, дополнительной системой работающей в Ku- или любом другом диапазоне, что в свою очередь потребует использования дополнительного оборудования - возможности резервирования будут очень ограниченными.

### VSAT и стоимость оборудования

VSAT-системы работающие в Ka-диапазоне менее распространены на рынке, поэтому при схожей производительности, могут быть более дорогими по сравнению с системами работающими в Ku-диапазоне. На сегодняшний день, массовое оборудование ориентированно на DTH-пользователей (Direct-to-Home – “со спутника в дом”), оно становится более доступным и менее дорогим, но такие системы не подходят для промышленного применения, с точки зрения производительности и надежности оборудования. Особенности распространения радиоволн выдвигают требования по увеличению размеров наземных терминалов работающих в Ka-диапазоне. Это означает, что антенны диаметром менее 1 метра, используемые в пользовательских терминалах, не способны обеспечить скорость и доступность линии связи, требуемые при промышленном применении. Большие терминалы Ka-диапазона, такие как 1.2 м. и более, на сегодняшний день, не производятся в достаточно большом количестве, и поэтому остаются более дорогими по сравнению с терминалами Ku-диапазона. Стоимость оборудования для работы с HTS-системами в Ka-диапазоне снизится при существенном увеличении объема их продаж, то текущая стоимость основных компонентов таких систем значительно выше, чем стоимость компонентов для HTS-систем Ku-диапазона.

### Надежность сервисов

Меньшая длина волн и более высокие частоты Ka-диапазона делают его более подверженным различным нарушениям, возникающим при распространении радиосигнала в атмосфере и более зависимым от погоды, по сравнению с Ku-диапазоном. Использование узконаправленных лучей позволяет увеличить производительность каналов связи в Ka-диапазоне, при этом системы Ku-диапазона, в которых используются узконаправленные лучи остаются намного более надежными. Обеспечение такой же доступности и скорости канала связи (например более 99,5%) в узконаправленном луче Ka-диапазона, потребует экспоненциально большей мощности транспондера, чем для такой же линии и размера антенны в Ku-диапазоне. Поэтому намного сложнее и дороже обеспечить высокую доступность и надежность сервисов в Ka-диапазоне, чем в Ku-диапазоне, особенно в регионах, где часто бывают атмосферные осадки (Рисунок 4).

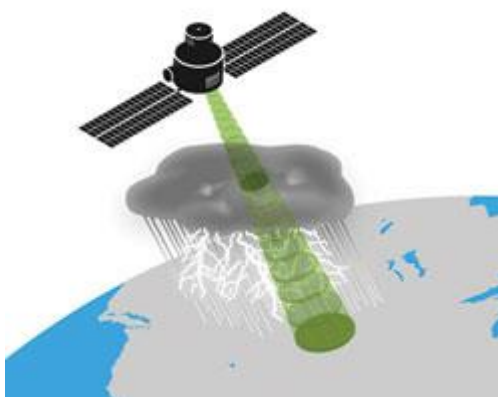


Рисунок 4. Адаптивное кодирование позволяет снизить влияние атмосферных осадков.

Радиосигналы в Ka-диапазоне более часто подвержены влиянию дождя и других атмосферных осадков, чем более низкочастотные сигналы, такие как сигналы Ku-диапазона. Соответственно, линии, работающие в Ka-диапазоне, требуют большего запаса мощности для обеспечения заданной доступности сервиса. Обеспечение такого запаса предусмотрено в HTS-системах Ka-диапазона. Как было отмечено ранее, такое требование может обеспечить проигрыш систем Ka-диапазона по сравнению с системами Ku-диапазона, когда требуется обеспечить высокую доступность линии. Однако этот недостаток может превратиться в преимущество, для тех

пользователей, которым не требуется высоконадежный сервис – рынок массового широкополосного доступа к сети Интернет.

### Концепции проектирования HTS-систем

Изначально большинство HTS-систем разрабатывалось для массовых рынков и для работы в Ka-диапазоне, где небольшие антенны работали с узконаправленными лучами. Однако, на сегодняшний день, HTS-технологии и узконаправленные лучи стали использоваться для постройки спутников работающих в Ku-диапазоне. С распространением таких систем у VSAT-операторов появляется возможность выбора новой технологии при реализации различных проектов. HTS-системы и возможности, которые они обеспечивают, могут найти различное применение и существенно расширить список услуг доступных на рынке связи.

Существует несколько возможностей доступных производителям HTS-спутников, у каждого есть преимущества и недостатки для каждой задачи и рынка. Как всегда, команда разработчиков спутника должна всесторонне оценить эти возможности в контексте общих требований предъявляемых к спутнику и целевому рынку.

Не смотря на множество инновационных достижений за последние двадцать лет, направленных на снижение стоимости запуска, доставка спутника на орбиту остается одним из самых дорогих факторов, определяющих выбор емкости HTS-спутника и технологии производства его антенн. Размер, вес и требования к энергетике зачастую являются наиболее значимыми факторами, чем стоимость компонентов самого спутника. Особенно это касается крупных операторов, рассчитывающих запуск целого ряда HTS-спутников, реализованных по традиционным схемам компоновки. Поэтому, разработчики спутников готовы использовать в конструкции аппаратов любые новые и экзотичные технологии и материалы, которые позволят снизить вес и размер спутника.

Возможно самый неприятный аспект в HTS-архитектуре и выборе технологий, с которыми сталкиваются разработчики спутников – это необходимость определить какая гибкость должна быть заложена в космический аппарат, чтобы он был способен работать на рынке связи, который подвержен постоянным изменениям. Переключение нагрузки, каналообразование и возможность перенацеливания антенн – все это определяет будет ли спутник узкоспециализированным или его зона покрытия и емкость может динамично реагировать на изменение потребностей рынка.

Существует достаточно доказательств того, что хорошо спроектированный и построенный космический аппарат может иметь срок эксплуатации измеряемый десятилетиями, но существует гораздо меньше доказательств того, что оператор спутниковой связи (либо кто-то еще) сможет точно предсказать тенденции развития рынка на аналогичный промежуток времени. Заложка высокой гибкости в такой дорогостоящий и долгосрочный актив может показаться очевидной, но большая гибкость неизбежно сказывается на производительности и/или емкости спутника, а также повышает стоимость системы. Таким образом, обеспечение гибкости при загрузке спутника может явиться компромиссом, возможности спутника обслуживать текущие потребности рынка. Практически все HTS-системы были разработаны для определенных рынков и приложений, однако разрабатываемые HTS-системы становятся более гибкими.

Использование достаточно большого количества узконаправленных лучей является отличительной характеристикой HTS-систем, разработка HTS-антенн является особенно сложной и интересной. У разработчиков имеются несколько проверенных, но в тоже время конкурирующих технологий работы антенн формирующих узконаправленные лучи и технологий коммутации транспондеров, которые используются при разработке HTS-спутников. Выбор той или иной технологии определяется потребностями рынка и типом приложений, с которыми будет работать спутник.

Существует три фундаментальные технологии реализации антенн, формирующих узконаправленные лучи для HTS-систем:

- фазированная решетка;
- антенны multi-feed;
- набор однолучевых антенн;

Эти технологии могут быть применены как поодиночке, так и совместно для построения гибридной антенной системы спутника. Все эти системы используются в коммерческих спутниковых системах связи и у каждой есть свои достоинства и недостатки для каждого типа применения. В процессе создания спутника разработчики должны принять решение о выборе структуры антенной системы космического аппарата.

### **Является ли HTS перспективной технологией будущего?**

Пользователям, которым требуется сервис промышленного класса в удаленной и труднодоступной местности более подойдет использование HTS-систем в Ku-диапазоне, равно как и использование традиционных систем с региональными и глобальными лучами. В то время как, HTS-системы Ka-диапазона имеют большее преимущество для организации пользовательских сервисов (которым не требуется высокая надежность) таких как широкополосный доступ. Как правило, тут не предъявляются такие жесткие требования к пропускной способности и доступности канала связи, как в системах промышленного применения, отсутствует чрезмерное и соответственно дорогое использование мощности спутника и его ресурса.

Частоты обоих Ka- и Ku-диапазонов предоставляют большие перспективы с точки зрения обеспечения пользователей различными коммуникационными решениями нового поколения, сегодня мы наблюдаем происходящие изменения и множество новых возможностей, появляющиеся в сфере спутниковой связи. Для того чтобы адаптироваться к возникающим изменениям рынка новых технологий, необходимо, чтобы технические и ИТ директора компаний обеспечили возможность работы своих систем связи с высокоскоростными спутниковыми каналами связи в ближайшие годы.

Спутниковый спектр остается ограниченным и ценным ресурсом. Сервис-провайдеры и операторы должны самостоятельно определить как лучше использовать возможности и ограничения, предоставляемые новыми технологиями, как сформировать портфель предоставляемых услуг связи, чтобы максимально удовлетворить требования клиентов.

