



# НОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ ДИАПАЗОНА KA-BAND ПРОИЗВОДСТВА MACOM

Виктор Алексеев, к. ф.-м. н.

Американская корпорация MACOM, один из мировых лидеров в производстве комплектующих и оборудования для беспроводных, спутниковых и оптоволоконных сетей, в середине июня 2018 года объявила о выпуске нового семейства усилителей мощности для диапазона Ka-band с выходной мощностью 2; 2,3; 3; 4 и 6 Вт. Новая серия предназначена для работы в диапазонах частот 27–31,5 ГГц и может быть использована в таких перспективных направлениях, как, например, наземные станции SATCOM и VSAT, и в различных приложениях типа P2P интервала Ka-band (26 и 28 ГГц).

## ДИАПАЗОН ЧАСТОТ САНТИМЕТРОВЫХ ДЛИН ВОЛН — K-BAND

В середине июня 2018 года корпорация MACOM объявила о выпуске нового семейства усилителей мощности для диапазона Ka-band с выходной мощностью 2; 2,3; 3; 4 и 6 Вт. Как утверждает в анонсе MACOM, новые усилители имеют на сегодня лучшие показатели по линейности и IM3 среди устройств подобного класса производства других фирм.

Использование определенных частотных диапазонов в системах радиосвязи регулируется документами Международного союза электросвязи (ИТЕЕ).

Диапазоны частот, выделенные регламентом ИТЕЕ для систем спутниковой связи, приведены в таблице 1.

Для современных систем спутниковой связи ИТЕЕ выделил так называемый K-диапазон (K-band) в интервале частот 18–27 ГГц.

В свою очередь K-диапазон подразделяется на поддиапазон Ku-band (K under), расположенный ниже K-диапазона с границами 12–18 ГГц, и Ka-band, находящийся выше K-band с границами 26,5–40 ГГц. Следует особо подчеркнуть, что ИТУ строго не регламентирует границы Ka-диапазона. Этот вопрос решается в рамках дополнительных региональных законов разных стран мира [1].

В Ku-диапазоне работают практически все классические VSAT-сети. Для спутникового телевидения используется также C-диапазон (3,5–4,2 ГГц). Европейские спутники передают телевизионные программы в основном в Ku-диапазоне, в то время как российские и азиатские спутники функционируют в обоих частотных диапазонах. Диапазон Ku имеет практическое преимущество перед C-диапазоном. Поскольку к Ku-диапазону относятся более высокие частоты, то для приема сигналов предусмотрены параболические антенны небольших размеров с диаметром меньше 1 м. Оборудование для K-диапазона существенно дешевле оборудования C-диапазона.

Таблица 1.

Диапазоны частот, выделенные регламентом IEEE для систем спутниковой связи

| НАИМЕНОВАНИЕ | ПОЛОСА ЧАСТОТ, ГГц        |
|--------------|---------------------------|
| VHF-диапазон | 30–300 МГц                |
| L-диапазон   | 1,0–2,0                   |
| S-диапазон   | 2,0–4,0                   |
| C-диапазон   | 4,0–7,0                   |
| X-диапазон   | 7,0–10,7                  |
| Ku-диапазон  | 10,70–12,75 и 12,75–14,80 |
| K-диапазон   | 18–27                     |
| Ka-диапазон  | 26,5–40                   |

Необходимо обратить внимание на то, что K-диапазон имеет существенные недостатки, связанные с поглощением излучения молекулами воды в атмосферном воздухе. На рис. 1 показана зависимость ослабления сигнала спутника, вызванная атмосферной влагой, для различных частотных диапазонов [2].

Оба диапазона (Ka и Ku) более чувствительны к резонансному поглощению сигналов спутника дождем, снегом и плотным туманом на частотах в районе 10 ГГц, где этот эффект проявляется максимально. Диапазон Ka более чувствителен к «эффекту дождя», который может вызвать потери сигнала вплоть до 10 дБ. Кроме того, налипание снега на поверхность антенны наземного приемника сигнала способно вызвать нежела-

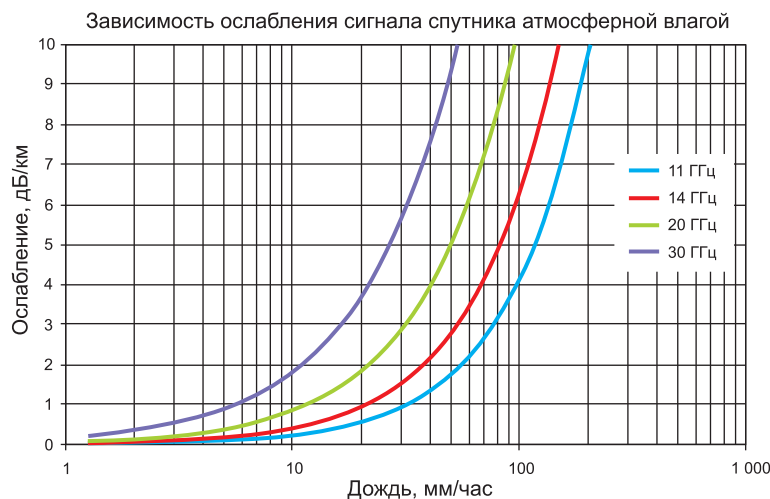
Рис. 2. Схема использования нескольких приемников для компенсации «эффекта дождя» в Ka-диапазоне



тельные помехи. Для компенсации данного явления применяются специальные методы, основанные на краткосрочном усилении мощности передатчика во время дождя.

Другой метод исключения эффекта дождя заключается в применении нескольких приемников, удаленных друг от друга на несколько километров (рис. 2).

Рис. 1. Зависимость ослабления сигнала спутника атмосферной влагой для различных частотных диапазонов



## КОММЕНТАРИЙ СПЕЦИАЛИСТА



**Гуряева Антонина,**  
инженер по внедрению  
департамента активных компонентов

Antonina.guryaeva@ptelectronics.ru

”

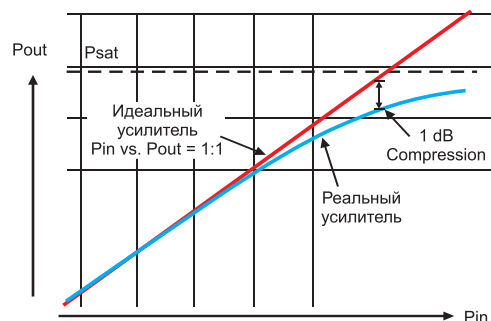
Новое семейство высокопроизводительных экономичных усилителей мощности Ka-диапазона обладает лучшими показателями по линейности и IM3 в своем классе и как нельзя лучше подойдет для решения задач спутниковой широкополосной связи. Усилители предлагаются в компактном AQFN-корпусе по бессвинцовой технологии или в бескорпусном исполнении. Для заказа уже доступны отладочные платы и образцы.

Информация со спутника принимается той наземной станцией, у которой на данный момент наблюдается наименьший уровень помех и наилучший уровень сигнала.

## ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ СЕМЕЙСТВА МААР-011XXX

В настоящее время в серию входят следующие модели усилителей мощности (УМ): МААР-011246, 2 W; МААР-011298, 2,3 W; МААР-011289, 3 W; МААР-011233, 4 W и МААР-011140-DIE, 6 W. Между собой модели различаются количеством каскадов, выходной мощностью, частотным диапазоном, линейностью усиления, выходной мощностью насыщения ( $P_{sat}$  — saturated power output), мощностью в однодецибельной точке компрессии (1-dB compression point), КПД

добавленной мощности (Power Added Efficiency — PAE), обратными потерями и уровнем интермодуляции третьего порядка (IM3) (рис. 3).



**Рис. 3.** Параметры усилителей мощности:  $P_{sat}$ , P1dB, Linear Gain

Все усилители этой серии изготовлены по арсенид-галлиевой псевдоморфной технологии (GaAs — pHEMT pseudomorphic high electron mobility transistor).

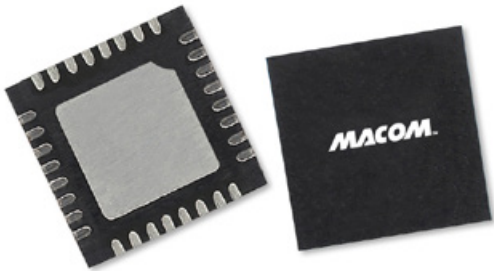
**Таблица 2.**  
Основные технические характеристики усилителей мощности семейства МААР-011XXX

| ПАРАМЕТР   | ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ | МААР-011246, 2 W                    | МААР-011298, 2,3 W | МААР-011289, 3 W | МААР-011233, 4 W | МААР-011140-DIE, 6 W            |
|--|-------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------|------------------|---------------------------------|
| Диапазон частот                                    | ГГц               | 27,5–31,5                           | 27,0–31,5          | 28,0–30,0        | 28,5–31,0        | 27,5–30,0                       |
| Линейность усиления (Linear Gain)                  | дБ                | 24                                  | 24,5               | 24               | 25               | 24                              |
| Мощность в однодецибельной точке компрессии (P1dB) | дБм               | 32                                  | 32,5               | 34               | 34,5             | 37,5                            |
| Выходная мощность насыщения (PSAT)                 | дБм               | 34                                  | 34                 | 36               | 36               | 38,5                            |
| КПД добавленной мощности (Power Added Efficiency)  | %                 | 29                                  | 26                 | 23               | 27,5             | 23                              |
| Входные обратные потери (Input Return Loss)        | дБ                | 10                                  | 10                 | 10               | 10               | 12                              |
| Выходные обратные потери (Output Return Loss)      | дБ                | 14                                  | 10                 | 14               | 10               | 12                              |
| Интермодуляция третьего порядка (IM3 Level)        | дБн               | -25 @ 27 дБм                        | -17,5 @ 30 дБм     | -18 @ 30 дБм     | -27 @ 29 дБм     | -24 @ 33 дБм                    |
| Ток в рабочей точке (Quiescent Current)            | мА                | $I_{dq}$                            | 900                | н.д.             | 2000             | 3000                            |
| Ток насыщения (Current)                            | мА                | $P_{SAT} (P_{IN} = 15 \text{ дБм})$ | 1450               | н.д.             | 3000             | 5250                            |
| Напряжение смещения (Bias voltage)                 | В                 | $I_{dq}$                            |                    |                  | 6                |                                 |
| Максимально допустимая входная мощность            | дБ                |                                     | 15                 | н.д.             | 14               | 19                              |
| Диапазон рабочих температур                        | °С                |                                     |                    |                  | -40...+85        |                                 |
| Температура хранения                               | °С                |                                     |                    |                  | -65...+150       |                                 |
| Корпус   |                   |                                     |                    |                  | AQFN 32-lead     | Бескорпусная модель             |
| Габаритные размеры                                 | мм                |                                     |                    |                  | 5×5              | 3,6×3,8×0,05 (размер кристалла) |
| Среднее время наработки на отказ                   | ч                 | $T < 160 \text{ °С}$                |                    |                  |                  | 1 000 000                       |

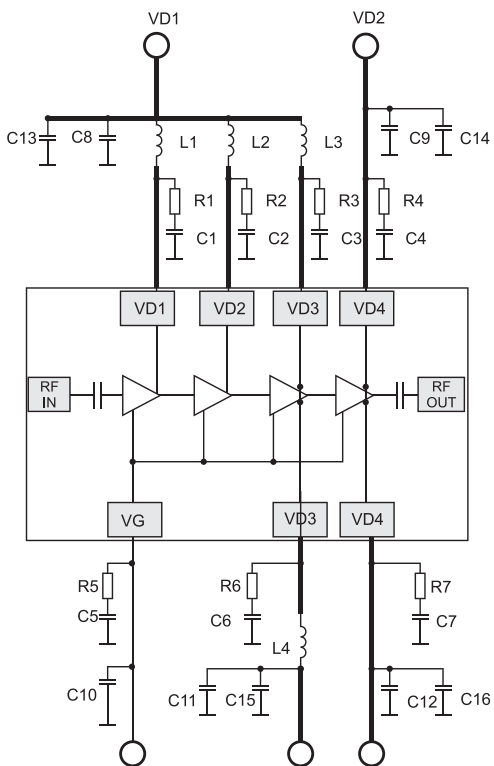
Основные технические характеристики усилителей мощности семейства МААР-011ХХХ приведены в таблице 2.

Усилитель МААР-01140-DIE выпускается в бескорпусном варианте. Остальные модели выполнены в конструктиве АQFN 32-lead (рис. 4).

Типовая схема включения усилителя МААР-01140 показана на рис. 5.



**Рис. 4.** Внешний вид усилителей мощности МААР-011246, МААР-011298, МААР-011289, МААР-011233



**Рис. 5.** Типовая схема включения усилителя МААР-01140

Конструкция усилителей МААР-011xxx позволяет быстро монтировать их на системной плате с использованием минимума внешних компонентов. Внешнее управление всех каскадов усилителя осуществляется с помощью одного напряжения  $V_G$ , которое регулирует напряжение смещения  $V_D$ .

Удаленное включение усилителей реализуется при подаче на входы  $V_G$  уровня  $-1,5$  В и на входы  $V_D$  уровня 6 В. Регулировать ток в рабочей точке можно также, изменяя значения  $V_G$ , например в диапазоне  $-0,9...-1$  В для модели МААР-

011233. Выключение усилителя происходит при подаче напряжения  $V_D$ , равного нулю.

Усилители МААР-011xxx очень устойчивы к изменениям напряжения смещения и рабочей температуры в допустимых эксплуатационных интервалах.

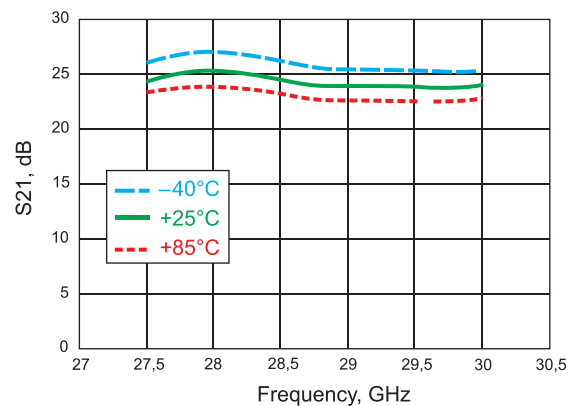
На рис. 6 показаны зависимости от частоты коэффициента передачи падающей волны от входа к выходу ( $S_{21}$ ) для температур  $-40$ ,  $+25$ ,  $+85$  °С (МААР-01140). Видно, что во всем интервале частот 27,5–30,0 ГГц изменение температуры в диапазоне  $-40...+85$  °С практически не влияет на линейности АЧХ. То же самое можно сказать и о зависимости  $S_{21}$  от частоты для разных значений напряжений смещения. Детальные графики изменения ключевых параметров, приведенные в таблице 2, при различных режимах эксплуатации можно найти в техническом описании на усилители [3].

Например, зависимость от частоты параметра  $S_{11}$  (коэффициент отражения от входа), характеризующая входные обратные потери, имеет вид параболы с минимумом между 28,5 ГГц и 29 ГГц и ветвями в районе  $-10$  и  $-20$  дБ. Эти параметры также устойчивы к изменениям температуры и смещения.

Следует обратить внимание на то, что конструкция печатной платы, на которой монтируется микросхема усилителя в конечном устройстве, во многом определяет качество работы. Высокие частоты гигагерцевого диапазона могут вызывать различного рода наводки и искажения. Поэтому очень важное значение имеет конструкция печатной платы, размеры различных проводников и расположение на ней микросхем и внешних компонентов.

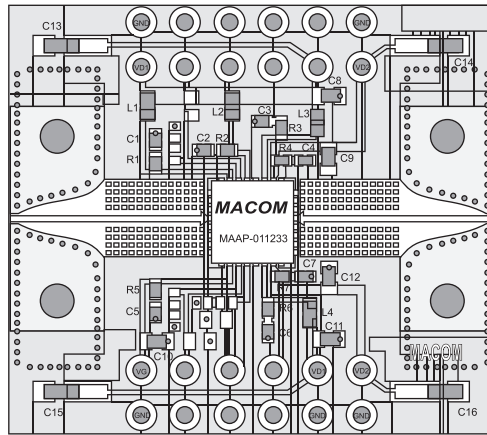


**Рис. 6.** Зависимости от частоты коэффициента передачи падающей волны от входа к выходу ( $S_{21}$ ) для температур  $-40$ ,  $+25$ ,  $+85$  °С (МААР-01140)



Конструкция печатной платы, рекомендованная разработчиками MASCOM для МААР-011233, показана на рис. 7. Описание и точные размеры этой платы приведены в техническом описании на данную модель.

**Рис. 7.**  
Конструкция  
печатной платы,  
рекомендованная  
разработчиками  
MACOM для  
усилителя  
мощности  
МААР-011233



Для разработки изделий с использованием усилителей мощности МААР-011xxx предназначены отладочные комплекты, в частности МААР-011233-SMB. Более подробные технические характеристики усилителей мощности семейства МААР-011xxx доступны на сайте производителя.

## ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ СЕМЕЙСТВА МААР-011XXX

Наибольшие темпы роста продаж устройств диапазона Ka-band специалисты связывают с развитием спутниковых систем широкополосного доступа (ССС-ШПД), предназначенных для массового и индивидуального использования. Поэтому наиболее перспективным сегментом рынка для усилителей мощности семейства МААР011xxx являются наземные станции SATCOM и VSAT (рис. 2).

Для передачи информации в направлении спутник — Земля (Downlink — DL) в диапазоне Ka отводятся интервалы 18,3–18,8 ГГц и 19,7–20,2 ГГц. Для направления Земля — спутник (Uplink — UP) используется интервал 27,5–31 ГГц.

Диапазоны 20,2–21,2 ГГц и 30,0–31,0 ГГц предназначены соответственно для приема и передачи в основном военными и специальными спутниками связи.

Усилители мощности МААР-011 рассчитаны на работу в частотных диапазонах, в которых действует большинство спутников нового поколения, отличающихся высокой пропускной способностью (HTS — high-throughput satellite): 27,5–31 ГГц (UL) и 17,7–21,2 ГГц (DL).

Если спутники Ka- и Ku-диапазона имеют одинаковые выходные усилители и фокусировку луча, то эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (Equivalent Isotropically Radiated Power — EIRP) будет одинакова для обоих спут-

ников. Однако сигналы Ka-диапазона обычно характеризуются более высокими значениями EIRP, чем Ku-диапазона, поскольку луч Ka-диапазона больше сфокусирован, что, в свою очередь, автоматически приводит к меньшему охвату на Земле.

Поскольку коэффициент отражения пропорционален квадрату частоты, антенные отражатели Ka-диапазона значительно меньше и дешевле отражателей Ku-диапазона.

Новое поколение спутников HTS обеспечивает значительное увеличение общей пропускной способности по сравнению с традиционными спутниками. Так, спутник ViaSat-1 имеет общую скорость передачи данных около 140 Гбит/с.

Основное отличие новых HTS-спутников K-диапазона от традиционных спутников связи (Regular FSS satellites) заключается в применении технологии множества сфокусированных лучей (spot-beam), позволяющей повторно использовать полосу частот в желаемой зоне покрытия. Базовым элементом этой технологии являются многолучевые зеркальные антенные системы (Multibeam Antenna Systems — MAS), которые позволяют формировать рабочую зону HTS-спутника с помощью узконаправленных лучей. Сегодня наиболее перспективным вариантом многолучевых зеркальных антенн считается конструкция «один рупор — один луч». При этом можно использовать три или больше многолучевых приемопередающих антенн. Например, спутник Ka-Sat, оборудованный четырьмя раскрываемыми многоканальными антеннами и ретранслятором повышенной точности, формирует 82 точечных луча на территории Европы и северного побережья Африки [4].

С помощью антенных систем MAS формируются лучи шириной диаграммы направленности 0,3–0,5°. Количество лучей в сложных системах может варьироваться от нескольких десятков до нескольких сотен. В отличие от новых спутников HTS, традиционные спутники FSS формируют один широкий луч с большой зоной охвата.

Поскольку пропускная способность спутников HTS намного выше, чем у спутников FSS, а габариты антенн и вес оборудования меньше, то спутники нового поколения позволяют снизить себестоимость передачи единицы информации в десятки раз по сравнению с традиционными спутниками, используемыми для аналогичных задач ШПД. Кроме того, нужно учитывать и более современные технологии запуска спутников HTS и уменьшение размеров компонентов.

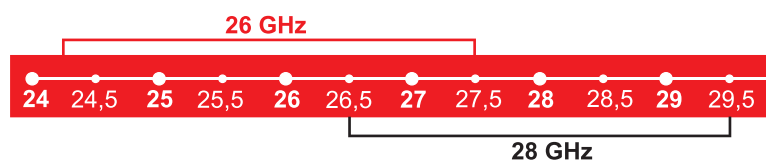
Следует обратить внимание на такой немаловажный фактор, как повторное использование диапазона. Площадь зоны покрытия обратно пропорциональна количеству повторного

использования диапазона. Так, диапазон С можно повторно применять не более пяти раз. Узкий направленный луч диапазона Ка позволяет увеличить повторное использование в десятки раз. Например, геостационарный спутник iPStar-1 (Thaicom 4) обеспечивает широкополосную связь примерно в ста зонах Азии, Индии и Австралии в различные интервалы времени [5].

Другая область возможного применения усилителей мощности МААР-011xxx связана с высокочастотными приложениями IoT и сетями 5G.

На последнем заседании рабочей группы 3GPP, состоявшемся весной 2018 года, были одобрены два новых высокочастотных диапазона для устройств мобильной связи поколения 5G: band n257 с интервалом 26,5–29,5 ГГц, получивший название «28 GHz», и band n258 с интервалом 24,25–27,5 ГГц, именуемый «26 GHz» (рис. 8).

Основные преимущества новых диапазонов — увеличение скоростей обмена данными



**Рис. 8.** Новые высокочастотные интервалы стандарта 3GPP 5G

и качественное улучшение спектральных характеристик. Уже сегодня можно наблюдать недостаток частотных ресурсов и перегруженность некоторых диапазонов. Вместе с тем ожидается, что в ближайшие годы объем передаваемых данных в беспроводных сетях увеличится в сотни, а в некоторых областях и в тысячи раз. Все это вызывает потребность выделения новых частотных диапазонов, увеличения скоростей передачи, уменьшения времени задержек в сети и снижения себестоимости обслуживания сетей. Особенно это относится к обмену информацией с движущимися на больших скоростях транспортными средствами. Новые частотные диапазоны 26 и 28 ГГц очевидно помогут решению подобных вопросов. Переход части абонентов в высокочастотные диапазоны будет способствовать решению все нарастающих проблем, возникающих в процессе обмена информацией между базовой станцией (base stations) и опорной сетью оператора сотовой связи (core networks). Кроме того, диапазоны 26 и 28 ГГц можно эффективно использовать в транзитных сетях (Backhaul).

Помимо отмеченных выше областей, усилители мощности МАСОМ Ка-диапазона могут найти применение и в других высокочастотных P2P-приложениях. В качестве одного из многочисленных примеров можно привести замкну-

тые телевизионные контуры (CCTV — Closed Circuit Television). Это современные системы видеонаблюдения, в которых оптические кабели заменены беспроводными высокочастотными линиями связи P2P[6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно оценкам ведущих специалистов, вклад устройств, работающих в Ка-диапазоне, будет постоянно расти. Доходы корпоративных сетей передачи данных, за счет предоставляющих сервисные услуги с помощью систем HTS, будут ежегодно увеличиваться. По оценкам NSR, в 2024 году около 40% доходов будут приносить геостационарные GEO-HTS-системы и средне-орбитальные Non GEO-HTS (в 2014 году на долю таких систем приходилось менее 10%). Вероятнее всего, в дальнейшем СССР станут развиваться в направлении совместимости глобальных спутниковых систем FSS, которые в значительной степени ориентированы на видеоприложения, и небольших систем HTS, предназначенных для передачи данных.

Наибольший рост числа наземных служб СССР ожидается для систем Satcom-VSAT, в которых один спутник может обслуживать множество мелких терминалов с дешевыми антеннами, имеющими очень маленькую внутреннюю приемную сторону «тарелки» (апертуру). Ожидается, что в Ка-диапазоне, за счет многолучевой технологии и повторного использования частотного диапазона, в недалеком будущем стоимость небольших HTS-спутников с пропускной способностью около 40 Гбит/с удастся заметно снизить. Это позволит крупным корпорациям запускать собственные спутники, которые будут осуществлять ШПД на территориях, где сегодня связь либо очень слаба, либо вообще отсутствует.



### Литература

1. [www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/md/12/itu-rka.band/c/R12-ITU-RKA.BAND-C-0001!!PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/12/itu-rka.band/c/R12-ITU-RKA.BAND-C-0001!!PDF-E.pdf)
2. [www.dsta.gov.sg/docs/default-source/dsta-about/ka-band-satellite-communications-design-analysis-and-optimisation.pdf?sfvrsn=2](http://www.dsta.gov.sg/docs/default-source/dsta-about/ka-band-satellite-communications-design-analysis-and-optimisation.pdf?sfvrsn=2)
3. [www.cdn.macom.com/datasheets/maap-011140-die.pdf](http://www.cdn.macom.com/datasheets/maap-011140-die.pdf)
4. [www.satbeams.com/satellites?norad=37258](http://www.satbeams.com/satellites?norad=37258)
5. [www.space.skyrocket.de/doc\\_sdat/ipstar-1.htm](http://www.space.skyrocket.de/doc_sdat/ipstar-1.htm)
6. [www.macom.com/products/product-detail/MAAP-011298](http://www.macom.com/products/product-detail/MAAP-011298)