

## ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

**Н. А. Тестоедов, А. В. Кузовников**

*АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва»,  
г. Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация*

*Рассмотрены основные направления развития систем спутниковой связи, вещания и ретрансляции информации. Показано, что на сегодняшний день основная тенденция развития космических телекоммуникационных систем – переход к спутникам, использующим технологию HTS (High throughput satellites). Для современных спутников HTS пропускная способность составляет до 100–150 Гбит/с, проекты следующего поколения спутников HTS позволят повысить пропускную способность в несколько раз. Определяют пропускную способность спутников HTS число лучей и полоса частот в луче, доступная для использования. При увеличении числа лучей требуется уменьшать их диаграмму направленности. Современные спутники HTS имеют 70–80 лучей с шириной диаграммы направленности 0,4–0,7 град. Проектируемые спутники будут иметь 150–250 лучей с шириной диаграммы направленности 0,2–0,3 град. Значит, ёмкость проектируемых спутников достигнет 0,5 Тбит/с, а в некоторых проектах даже 1 Тбит/с. При реализации фидерных линий связи с центральными станциями это ведёт к необходимости перехода в V-диапазон радиочастот. Данное решение позволит использовать малогабаритные абонентские терминалы, обеспечивающие скорость передачи данных свыше 1 Гбит/с, и позволит создавать сверхширокополосные системы связи с высоким уровнем сигнальной помехозащиты. Это поможет «разгрузить» частотный ресурс в уже используемых диапазонах радиочастот.*

*Показана ещё одна важная особенность спутников HTS – использование прозрачных цифровых процессоров, обеспечивающих гибкое перераспределение требуемого частотного ресурса в зависимости от трафика системы. Внедрение представленных новшеств позволит создавать новые телекоммуникационные системы, удовлетворяющие всем современным требованиям.*

*Ключевые слова: космический аппарат, спутниковая связь, широкополосная фиксированная связь, контурные антенны, многолучевые антенны, HTS-спутники.*

### Введение

В начале XX века наметился рост доли спутниковой связи на рынке телекоммуникаций благодаря развитию технологической базы спутниковых решений, которые позволяют предоставлять конечному пользователю все преимущества широкополосных мультисервисных сетей. Размеры территории РФ также благоприятствуют внедрению спутниковой связи. Если центральная часть РФ традиционно хорошо обеспечена связью, то районы Дальнего Востока и Сибири имеют недостаточно хорошо развитую инфраструктуру связи при высокой потребности в телекоммуникационных услугах.

Развёртывание и модернизация спутниковой группировки гражданского назначения долж-

ны не только защитить орбитально-частотный ресурс РФ, обеспечить государственных и коммерческих пользователей современными услугами связи и вещания, но и создавать технологический задел для предотвращения зарубежной экспансии на внутренний рынок с новыми видами услуг.

### Тенденции развития космических телекоммуникационных систем

В настоящее время в мире прослеживаются две основные тенденции развития космических телекоммуникационных систем. Первая – применение спутников, использующих технологии HTS. Вторая – переход от тяжёлых спутников на геостационарных орбитах к орбитальным группировкам малых космических аппаратов на средних (8–12 тыс. км) и низких (500–2000 км) орбитах [1].

## Переход от традиционных систем к системам на базе спутников HTS

На сегодняшний день основная тенденция развития космических телекоммуникационных систем – переход к спутникам, использующим технологию HTS. Высокоинформативные геостационарные спутники за последние 10 лет стали самостоятельным классом спутников связи. Примерно в 2010 году такие спутники получили название HTS, которое сегодня признано в мире для многоручевых спутников, ориентированных на задачи широкополосного доступа (ШПД). Пропускная способность систем на основе спутников HTS уже превосходит потенциал всех традиционных спутниковых систем в C- и Ku-диапазонах в несколько раз.

Основные этапы развития систем фиксированной спутниковой связи показаны на рис. 1.

Основным отличительным признаком спутников HTS является формирование рабочей зоны с использованием многоручевых антенн (МА) (рис. 2). Здесь следует отметить, что на традиционных спутниках связи и вещания фиксированной спутниковой службы и/или вещания используются контурные антенны, формирующие широкие рабочие зоны. Способ формирования рабочей зоны принципиально изменяет технические решения при создании полезной нагрузки и экономические показатели спутника и системы ШПД. В итоге пропускная способность спутника HTS сегодня составляет примерно до 100–150 Гбит/с, проекты следующего поколения спутников HTS уже предполагают пропускную способность в несколько



Рис. 1. Развитие систем фиксированной спутниковой связи



Рис. 2. Основные виды МЛА

раз выше. В результате себестоимость единицы частотно-энергетического ресурса спутника HTS почти на порядок ниже, а в целом в системе ШПД достигается снижение себестоимости передачи единицы информации в десятки раз по сравнению с использованием традиционных спутников для аналогичных задач ШПД.

Внешний вид спутника HTS производства АО «ИСС» «Экспресс-АМ5» представлен на рис. 3.

Наиболее эффективно достоинства спутников HTS реализуются в Ku-диапазоне, поскольку бортовая антенная система ПН (полезной нагрузки) значительно меньше по массе, чем, например, при реализации в Ku-диапазоне при условии идентичности лучей. Хотя это положение и является дискуссионным, в том числе в связи со значительно меньшим затуханием сигналов Ku-диапазона в условиях наличия гидрометеоров.

Определяющими для HTS в первом приближении являются число лучей и полоса частот в луче, доступная для использования. Полосу частот в луче невозможно расширять произвольно. В основном наращивание емкости спутника HTS обеспечивается за счет увеличения числа лучей. Соответственно, при увеличении числа лучей требуется уменьшать их диаграмму направленности, если рабочая зона фиксирована. Аналитические исследования, посвященные этой задаче, показывают, что вполне возможно сужение лучей до 0,2–0,3 град. При сужении лучей увеличивается усиление луча, но из этого не следует пропорциональный рост отношения сигнал/шум на приемной стороне. В ряде исследований показано, что существует ограничение на достижимое значение отношения сигнал/шум, связанное с нарастанием взаимных помех между лучами (как по передаче, так и по приему). Значение отно-

шения сигнал/шум обычно не больше 12–13 дБ на краю локальной рабочей зоны абонентского луча.

Также данное решение поможет «разгрузить» частотный ресурс в уже используемых диапазонах радиочастот (S-, C-, X- и Ku-диапазоны), что в настоящее время является актуальной проблемой ввиду увеличения числа наземных и космических систем связи.

Ещё одной важной особенностью спутников HTS является использование прозрачных цифровых процессоров, обеспечивающих гибкое перераспределение требуемого частотного ресурса в зависимости от трафика системы (DTP – Digital transparent processor), результатом является защита от помех и увеличение гибкости полезной нагрузки с целью обеспечения клиентам персонализированных услуг.

## Заключение

Внедрение представленных в статье новшеств позволит создать новые телекоммуникационные системы, удовлетворяющие современным требованиям, таким как:

- высокая пропускная способность;
- низкие задержки сигнала;
- использование пользователями малогабаритных недорогих абонентских терминалов;
- невысокая стоимость услуг связи во многих регионах, сопоставимая со стоимостью наземных услуг связи или более выгодная;
- возможность предоставления широкого спектра услуг: голосовая связь, передача коротких текстовых сообщений, предоставление высокоскоростного широкополосного доступа в Интернет, теле- и радиовещание.

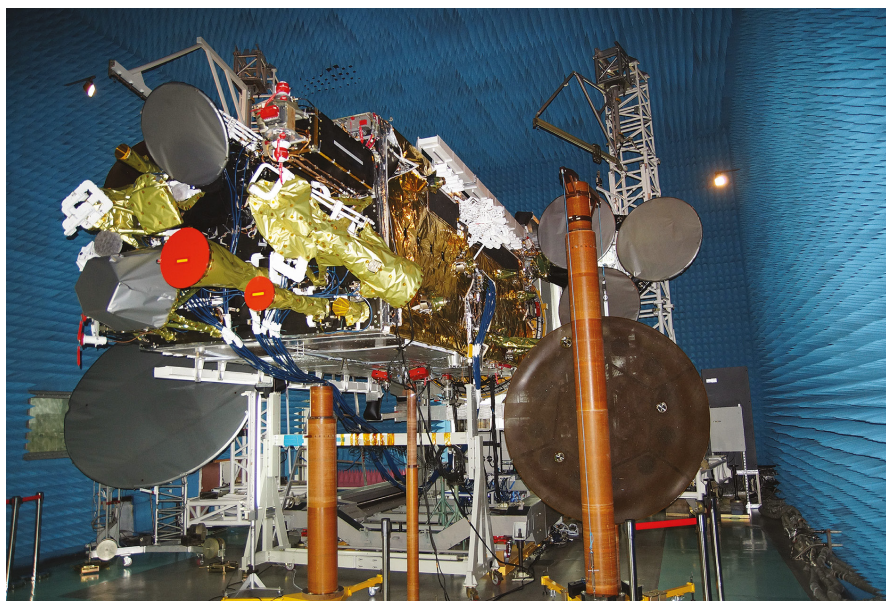


Рис. 3. Внешний вид спутника HTS



## Список литературы

1. Принципы построения зарубежных спутниковых систем персональной подвижной связи : учеб. пособие / А. М. Андреев, Л. П. Богинский, М. В. Гришин и др. СПб. : ВКА им. А. Ф. Можайского, 2008. 345 с.
2. Спутниковые системы связи и вещания (справочно-аналитическое издание). М. : Радиотехника, 2008. № 1. 384 с.
3. Малые космические аппараты информационного обеспечения / под ред. В. Ф. Фатеева. М. : Радиотехника, 2010. 320 с.
4. Головков В. В., Есипенко А. А., Кузовников А. В. Система спутниковой связи на низких орбитах для обеспечения высокоскоростной передачи данных // Научные технологии. 2016. № 7. С. 19–21.

*История статьи*

*Поступила в редакцию 13 декабря 2016 г.*

*Принята к публикации 17 февраля 2017 г.*

## PERSPECTIVES AND DEVELOPMENT PRIORITIES OF THE INFORMATION SATELLITE SYSTEMS

**N. A. Testoyedov, A. V. Kuzovnikov**

*JSC «Academician M. F. Reshetnev» Information Satellite Systems»  
Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Russian Federation*

*The main directions of the development of satellite communication systems, broadcasting and retransmission of information are considered. The main trend in the development of space telecommunications systems now is the transition to satellites using HTS (High throughput satellites) technology is shown. For modern HTS satellites the throughput is up to 100–150 Gbit/s, the projects of the next generation of HTS satellites will allow to increase the throughput several times. The determining factor for the bandwidth of the HTS satellites is the number of beams and the frequency band in the beam available for use. As the number of rays increases, their directional pattern needs to be reduced. Modern HTS satellites have 70–80 rays with a beamwidth of 0,4–0,7 degrees. The projected satellites will have 150–250 beams with a beamwidth of 0,2–0,3 degrees. So the capacity of the projected satellites will reach 0,5 Tbit/s, and in some projects even 1 Tbit/s. When implementing feeder links with central stations, this leads to the need to go to the V-band of radio frequencies. This solution will allow to use small-sized subscriber terminals that provide data transfer rates in excess of 1 Gbit/s, and will allow creating ultra-wideband communication systems with a high level of signal interference protection. This will help to «unload» the frequency resource in the already used radio frequency bands. One more important feature of HTS satellites - the using of transparent digital processors, providing a flexible redistribution of the required frequency resource depending on the traffic of the system is shown. Introduction of the presented innovations will allow creating new telecommunication systems that meet all modern requirements.*

*Keywords: spacecraft, satellite communications, broadband fixed communication, contour antennas, multi-beam antennas, HTS satellites.*

## References

1. *Printsipy postroeniya zarubezhnykh sputnikovykh sistem personal'noy podvizhnoy svyazi* [Principles of building foreign satellite personal mobile systems] / A. M. Andreev, L. P. Boginskiy, M. V. Grishin and others. St. Petersburg, VKA named after A. F. Mozhayskogo, 2008. 345 p. (In Russian).
2. *Sputnikovye sistemy svyazi i veshchaniya : spravochno-analiticheskoe izdanie* [Satellite communication and broadcasting systems – reference and analytical edition]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2008, no. 1, 384 p. (In Russian).
3. *Malye kosmicheskie apparaty informatsionnogo obespecheniya* [Small spacecrafts for information support]. Edited by V.F. Fateeva. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2010. 320 p. (In Russian).
4. Golovkov V. V., Esipenko A. A., Kuzovnikov A. V. *Sistema sputnikovoy svyazi na nizkikh orbitakh dlya obespecheniya vysokoskorostnoy peredachi dannykh* [Satellite communication system in low orbits for high-speed data transmission]. Naukoemkie tekhnologii. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2016, no. 7, pp. 19–21. (In Russian).

*Article history*

*Received 13 December 2016*

*Accepted 17 February 2017*