

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SA.1015-1

**Требования к ширине полосы для исследования дальнего космоса**

(Вопрос МСЭ-R 209/7)

(1994-2007)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации представлены требования к ширине полосы для службы космических исследований (дальнего космоса), которые необходимо учитывать в будущем при распределении полос частот службе космических исследований (дальнего космоса). Также объясняется техническая база для таких требований к ширине полосы.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что максимальные скорости передачи символов, требуемые для электросвязи в дальнем космосе в направлениях как космос-Земля, так и Земля-космос, были хорошо определены (см. Приложение 1) для обозримого будущего;
- b) что при использовании практически возможных в настоящее время методов была установлена соответствующая требуемая ширина полос;
- c) что требуемая ширина распределенных полос частот, на которую влияют требования к отдельным каналам связи и количество каналов связи, действующих одновременно в пределах ширины полосы антенны земной станции исследования дальнего космоса;
- d) что в будущем ширину полосы, требуемую для некоторых функций электросвязи при исследовании дальнего космоса, можно уменьшить, используя современные методы,

*рекомендует,*

- 1 чтобы при распределении полос для исследования дальнего космоса принимались во внимание требования к ширине полосы, перечисленные в Приложении 1;
- 2 чтобы рассматривались все выполнимые шаги, которые уменьшат требуемую ширину полосы для будущих систем электросвязи для исследования дальнего космоса.

**Приложение 1****Требования к ширине полосы для исследования дальнего космоса****1 Введение**

Полная ширина полосы, подходящая для электросвязи в дальнем космосе, зависит от требуемых скоростей передачи символов, количества каналов связи космических кораблей в каждой экспедиции, количества экспедиций и степени, до которой частоты могут совместно использоваться без взаимных помех.

## 2 Ширина полосы канала связи

Ширина полосы в направлении Земля-космос и космос-Земля регулируется требуемыми телеметрическими скоростями передачи символов и требуемой точностью угловых и дистанционных измерений.

Необходимые скорости передачи символов и соответствующая ширина полосы для различных функций, проектируемых для использования в исследовании дальнего космоса, даны в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1  
Максимальные требуемые скорости передачи символов  
и ширина полосы для экспедиции в дальнем космосе

Направление и функция	Скорость передачи символов (Мсимвол/с)	Ширина полосы радиочастот (МГц)
Земля-космос		
Телеуправление	0,002	0,040 <sup>(1)</sup>
Компьютерное программирование	0,2	0,8
Передача голоса	0,045	0,18
Телевидение	30	120
Определение дальности	100 <sup>(2)</sup>	400
Космос-Земля		
Эксплуатационная телеметрия	1,2 <sup>(3)</sup>	4,8
Научные данные	600 <sup>(4)</sup>	1 200 <sup>(5)</sup>
Передача голоса	0,27 <sup>(3)</sup>	1,08
Телевидение	60 <sup>(4)</sup>	240
Определение дальности	100 <sup>(2)</sup>	400

- (1) Как правило, будет использоваться поднесущая.
- (2) Единицей является МГц для синусоидального определения дальности и Мчип/с (мега чипов в секунду) для определения дальности на основе псевдошума (PN).
- (3) При условии, что будет использоваться код коррекции ошибок со скоростью 1/6.
- (4) При условии, что будет использоваться код коррекции ошибок со скоростью 1/2.
- (5) При условии, что будет использоваться модуляция QPSK.

Чрезвычайно точная навигационная методика, при которой используется интерферометрия со сверхбольшой базой (VLBI), требует передачи тонов, сильно разнесенных от несущей. Типичное разнесение может варьироваться от 1/200 до 1/600 для частоты, передаваемой космическим кораблем, а относительная мощность этих тонов по отношению к несущей обычно равна –15 дБ. Передача этих тонов не будет непрерывной. Поэтому спектральная линия раздела частотных тонов, используемых в VLBI, не должна рассматриваться как определяющая величина требуемой ширины полосы.

Простота и надежность конструкции космического корабля, а также оптимальная эффективность каналов электросвязи привели к использованию двухфазной модуляции с остаточной несущей, как традиционной методике для передачи информации в дальнем космосе. Чтобы передавать периодическую квадратную модуляционную форму волны без потерь, больших чем 0,3 дБ, ширина полосы должна включать пятую гармонику прямоугольной волны модуляции. Для телеметрического сигнала радиочастотная ширина полосы должна быть достаточно широка, чтобы передать пятую гармонику поднесущей частоты вместе с 2,5 скорости передачи символов. При существующих

методах поднесущая частота должна быть достаточно высока, чтобы обеспечить, по крайней мере, 1,5 периода поднесущей на символ. Полная максимальная требуемая ширина полосы радиочастот поэтому равна:

$$BW = 2 [(SR \times 1,5 \times 5) + 2,5 SR] = 20 SR,$$

где:

$BW$ : ширина полосы радиочастот

$SR$ : скорость передачи символов.

При увеличении телеметрической скорости передачи символов потребность в поднесущей для сохранения мощности данных вне ширины полосы контура слежения за несущей частотой становится менее важной. Это – следствие того, что ширина полосы контура слежения за несущей частотой является относительно меньшей частью ширины полосы спектра символа, и мощность символа, отслеживаемая с помощью системы фазовой автоподстройки несущей, становится незначительной. При помощи соответствующего кодирования мощность сигнала символа около несущей частоты также может быть минимизирована так, чтобы поднесущие не были необходимы. Устранение поднесущих уменьшает полное требование к ширине полосы радиочастоты:

$$BW = 2 (2 SR) = 4 SR.$$

Для более высоких скоростей передачи данных модуляция QPSK может использоваться для сокращения в два раза требований к ширине полосы.

Для имеющейся реализации при определении дальности используется прямоугольная волна или синусоидальные синхронизирующие сигналы фазы, модулированные по несущей. В некоторых будущих экспедициях планируется использовать определение дальности PN. Ширина полосы, требуемая для достижения приемлемого качества определения дальности, равна четырехкратной тактовой частоте для определения дальности синусоидальной или прямоугольной волны и четырехкратной скорости передачи чипов для определения дальности PN. Определение дальности используется для того, чтобы воздействовать на требования к ширине полосы для экспедиции. При стремительном увеличении требуемых скоростей передачи телеметрии, определение дальности более не является предопределяющим фактором для требований к ширине полосы многих новых экспедиций.

Будущие требования для очень высокой скорости передачи телеметрии могут привести к потребности в дополнительном уменьшении ширины полосы передаваемого спектра, чтобы разместить больше космических кораблей в пределах данного распределения полосы. Подходящие методы могут включать минимальную манипуляцию и другие методы эффективной модуляции ширины полосы.

Максимальная ширина полосы радиочастот, необходимая для данной экспедиции, определяется полной скоростью передачи символов, требуемой, чтобы разрешить одновременные функции, и методом модуляции. Для имеющейся реализации максимальная ширина полосы радиочастот для отдельного беспилотного космического корабля равна приблизительно 12 МГц. Для функции VLBI пара спектральных линий, разнесенных до 115 МГц от несущей частоты, может быть частью переданного сигнала. Будущие требования для более высоких скоростей, показанные в таблице 1, приведут к требуемой ширине полосы передачи до нескольких сотен МГц.

### 3 Ширина полосы для экспедиций вокруг планеты

Когда вокруг планеты действуют несколько космических кораблей, они часто находятся в пределах ширины полосы одной земной станции. Одновременная работа линий электросвязи приводит к требованию, согласно которому ширина полосы радиочастот должна быть достаточной для размещения нескольких сигналов при отсутствии взаимных помех.

Типичный проект экспедиции, наряду с рассмотрением одновременных функциональных требований каждого космического корабля, приводит к заключению о том, что многочисленные экспедиции в дальнем космосе могли бы потребовать общей полосы частот примерно 4000–5000 МГц, при условии что одновременно будут работать три-четыре экспедиции с самыми высокими скоростями передачи научных данных. Совокупная ширина полосы может быть существенно уменьшена, потенциально в два-четыре раза, если в будущем можно будет внедрить методы эффективной модуляции ширины полосы на высоких скоростях передачи данных.

#### **4 Надежность линии связи и использование распределенных полос частот**

В предшествующем разделе определяется максимальная ширина полосы, требуемая для проведения исследования дальнего космоса. Существующие распределения около 2 и 8 ГГц не могут удовлетворить этим максимальным требованиям. Эти распределения, однако, обеспечивают необходимую возможность исследования дальнего космоса.

Распределения шириной 10 МГц около 2 ГГц обеспечивают каналы связи, которые являются относительно стойкими к неблагоприятному влиянию дождей и облаков. Реализованные и планируемые в настоящее время космические корабли часто включают оборудование, необходимое, чтобы использовать эти распределения, гарантирующие, по крайней мере, частичный успех экспедиции в случае неблагоприятной погоды, которая препятствует использованию более высоких полос частот.

В настоящее время экспедиции полагаются, прежде всего, на распределения шириной 50 МГц около 8 ГГц для обеспечения линий связи при нормальных операциях экспедиции. Там, где не требуются максимально возможные скорости передачи символов для данной экспедиции, эти распределения продолжают обеспечивать необходимые линии связи в дальнем космосе.

Распределение 500 МГц около 32 ГГц обеспечит дополнительную ширину полосы для экспедиций в дальнем космосе, хотя она не соответствует максимальным требованиям для ширины полосы, указанным в таблице 1 для научных данных.

---