

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1779

**Характеристики систем фиксированной спутниковой службы, использующих широкополосные сигналы с расширением спектра**

(Вопрос МСЭ-R 270/4)

(2007)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации содержатся примеры подходов к использованию широкополосных сигналов с расширением спектра в системах фиксированной спутниковой службы (ФСС). В трех приложениях к настоящей Рекомендации представлен обзор методов и подходов к внедрению схем передачи, которые представляют интерес для операторов и пользователей сетей.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что новые методы передачи с использованием широкополосных сигналов с расширением спектра могут использоваться на линиях вверх и/или линиях вниз фиксированной спутниковой службы (ФСС);
- b) что системы ФСС, использующие такие технологии, могут затрагивать новые приложения и новые службы;
- c) что приложения систем ФСС, использующие широкополосные сигналы с расширением спектра, обладают особенностями, которые отличаются от других систем ФСС;
- d) что характеристики систем ФСС, использующих широкополосные сигналы с расширением спектра, отличаются от характеристик систем ФСС, которые развернуты в настоящее время;
- e) что необходимо определить влияние помех, создаваемых излучениями системы ФСС, использующей широкополосные сигналы с расширением спектра;
- f) что было бы полезно, чтобы у операторов и пользователей сетей был источник информации о характеристиках систем ФСС, использующих широкополосные сигналы с расширением спектра,

*рекомендует,*

**1** чтобы модели систем и технические характеристики, содержащиеся в Приложениях 1–3, использовались в качестве примерных подходов для реализации схем передачи с использованием широкополосных сигналов с расширением спектра для систем ФСС.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Материалы, содержащиеся в Приложениях 1–3, соответствуют следующим подходам, а именно:

Приложение 1. – Передача дополнительной информации поверх обычных сигналов систем ФСС многостанционного доступа с частотным разделением (FDMA).

Приложение 2. – Повышение уровня эффективной пропускной способности канала в системе ФСС с рядом острых сфокусированных лучей.

Приложение 3. – Сокращение уровня внеосевой плотности э.и.и.м. для обеспечения соответствия со значениями, содержащимися в соответствующих Рекомендациях МСЭ-R.

## Приложение 1

### Спутниковая система с широкополосными сигналами с расширением спектра (метод прямой последовательности)

#### 1 Введение

В настоящем Приложении содержится описание методов передачи с использованием широкополосных сигналов с расширением спектра, известных под названием "широкополосная спутниковая система", которую можно использовать для передачи дополнительной информации без изменения оперативного частотного плана существующей системы ФСС.

Одно из приложений системы заключалось бы в передаче трафика в условиях чрезвычайных ситуаций, например информации о землетрясениях, предупреждений о цунами и т. п. На рис. 1 показан этот тип приложения. Для целей передачи сигналов при чрезвычайных ситуациях пользовательские терминалы должны быть компактными и недорогими, чтобы большинство людей могли в любое время установить такие приемники. Поэтому аппаратура с небольшими антеннами (с низким усилением) были бы удобными, что способствовало бы также их установке и эксплуатации. Антенны в обычных системах FDMA ФСС, как правило, имеют более высокий уровень усиления и должны быть ориентированы в сторону спутника ввиду направленности антенны, а ориентация антенны может быть легко изменена случайными силами, такими как землетрясения или тропические циклоны.

В отличие от изложенных выше преимуществ, пользовательские терминалы с антеннами с низким усилением могут быть подвержены воздействию помех, создаваемых соседними спутниками. Использование сигналов с расширением спектра, предположительно, должно смягчить это ухудшение условий, вызванное межсистемными помехами, за счет его усиления при расширении спектра. Именно по этой причине в приложениях этого типа используется сигнал с расширением спектра.

Следующие приложения были подвергнуты оценке с точки зрения применения этого метода:

- спутниковая система с широкополосными сигналами с расширением спектра поверх обычных сигналов FDMA ФСС;
- спутниковая система с закрепленными значениями ширины полосы как для сигналов FDMA, так и для широкополосных сигналов с расширением спектра.

В следующем разделе представлен анализ бюджета линии этого приложения с использованием различных параметров существующей системы ФСС в увязке с результатами оценки с точки зрения скорости передачи данных. Следует отметить, что этот анализ осуществлен исходя из применения метода прямой последовательности.

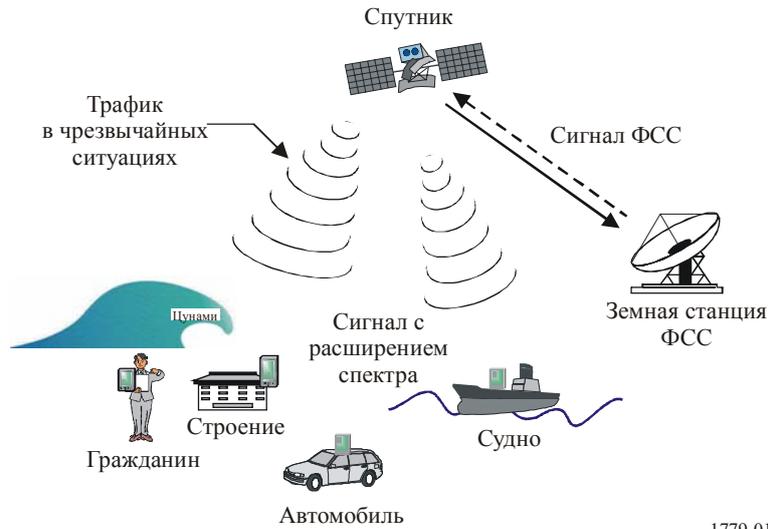
#### 2 Приложение 1 – Спутниковая система с широкополосными сигналами с расширением спектра, налагаемыми на обычные сигналы FDMA ФСС

##### 2.1 Модели системы

Концептуальный вид этой системы показан на рис. 2. Для предварительного анализа широкополосной спутниковой системы берутся за основу две модели системы – Модель 1 и Модель 2, информация о которых сведена в таблице 1. Модель 1 применяется в новой спутниковой системе, использующей ретранслятор регенеративного типа, а Модель 2 применяется в существующих спутниковых системах, использующих ретранслятор нерегенеративного типа. Данный анализ осуществлялся исходя из следующих сценариев.

РИСУНОК 1

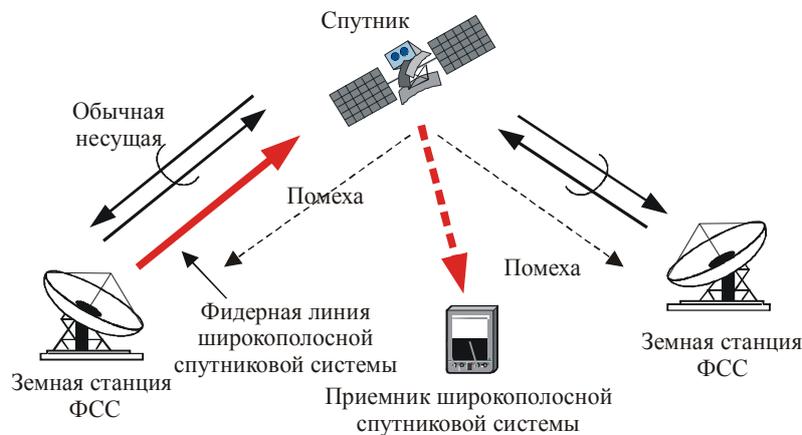
**Применение широкополосных сигналов с расширением спектра для передачи трафика в чрезвычайных ситуациях**



1779-01

РИСУНОК 2

**Модель системы для спутниковых систем, использующих широкополосные сигналы с расширением спектра**



1779-02

ТАБЛИЦА 1

**Предполагаемые модели связи в широкополосной спутниковой системе**

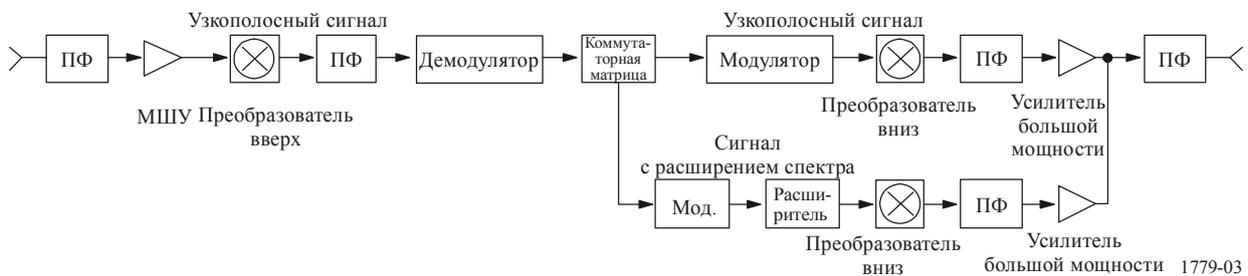
	Модель 1	Модель 2
Тип ретранслятора	Регенеративный	Нерегенеративный
Ширина полосы (линия вверх/линия вниз)	36/240 МГц	36/36 МГц
Схема передачи (линия вверх/линия вниз)	FDMA/ FDMA и рассеиваемый сигнал	FDMA и рассеиваемый сигнал/ FDMA и рассеиваемый сигнал

**2.1.1** Широкополосные сигналы с расширением спектра накладываются на существующий спектр ФСС в пределах распределения ФСС. Ширина полосы широкополосного сигнала с расширением спектра идентична ширине полосы ретранслятора ФСС, в которой распределено несколько несущих FDMA. Поэтому сигналы с расширением спектра совместно использовали бы частоту с несколькими соседними сигналами FDMA одной и той же сети ФСС, что становилось бы причиной создания внутрисистемных помех.

**2.1.2** В Модели 1 обычный тип узкополосной передачи используется для передачи сигнала по линии вверх. Что касается передачи по линии вниз, то широкополосные сигналы с расширением спектра передаются через ретранслятор с очень большой шириной полосы, предназначенной для широкополосной спутниковой системы, в то время как узкополосные сигналы направляются через обычные узкополосные ретрансляторы. На рис. 3 представлена схема той части полезной спутниковой нагрузки в Модели 1, которая поясняет, каким образом сигналы, передаваемые по линии вверх, обрабатываются на борту.

РИСУНОК 3

Схема спутникового ретранслятора, используемого в Модели 1



**2.1.3** В Модели 2 в рамках линии вверх широкополосные сигналы с расширением спектра накладываются на существующий спектр FDMA; как сигналы FDMA, так и широкополосные сигналы с расширением спектра передаются через обычный ретранслятор. Что касается линии вниз, то, как и в отношении линии вверх, оба типа сигнала обрабатываются в обычном ретрансляторе.

**2.1.4** Космический сегмент состоит из одного спутника. Как широкополосный, так и узкополосный сигналы обрабатываются на одной космической станции, и одна антенна используется одновременно для их передачи в одном спутниковом луче. С другой стороны, используется новый тип терминала, принимающий только сигналы с расширением спектра от спутника. Технические параметры широкополосного приемника спутниковой системы могут быть независимыми от параметров существующих систем ФСС.

**2.1.5** Для упрощения расчетов, в рамках линии вверх как сигналы FDMA ФСС, так и широкополосные сигналы с расширением спектра передаются одной и той же земной станцией; два типа приемников находятся в одном и том же местоположении на поверхности Земли, чтобы не было необходимости учитывать диаграммы направленности спутниковых антенн.

## 2.2 Анализ бюджета линии и оценка показателей

Достижимая скорость передачи данных оценивается на основе бюджета линии в диапазонах 14/12 ГГц. Поскольку на линии вверх используется обычная схема с ретранслятором и передатчиком, скорость передачи данных в широкополосной спутниковой системе получается с учетом параметров линии вниз. Расчеты осуществляются путем выполнения следующих шагов:

*Шаг 1:* Используя типичные параметры систем ФСС и требуемое значение  $C/I$  для несущих FDMA, получаем э.и.и.м. в широкополосной спутниковой системе, которое, соответственно, обеспечивает принимаемое значение  $C/T$  в приемнике широкополосного сигнала.

*Шаг 2:* Используя полученное принимаемое значение  $C/T$ , получаем идеальное значение скорости передачи данных в качестве первого шага анализа скорости передачи данных, исходя из условий, при которых не существует никаких несущих FDMA.

Шаг 3: Как и на Шаге 2, достижимая скорость передачи данных получается при учете помех, создаваемых несущими FDMA для широкополосной спутниковой системы.

Более подробно процедуры указанных выше шагов представлены в следующих разделах.

### 2.2.1 Шаг 1

Как показано на рис. 4, обычные несущие FDMA передаются некоторыми долями в пределах значений ширины полосы ретрансляторов, в то время как сигналы широкополосной спутниковой системы накладываются по всей ширине полосы ретранслятора.

Во-первых, задается требуемое значение  $C/I$  для несущих FDMA, где  $C$  и  $I$  представляют выходную мощность одной из несущих частот FDMA и широкополосной спутниковой системы, соответственно. В настоящем анализе используется величина  $C/I$ , равная 20 дБ.

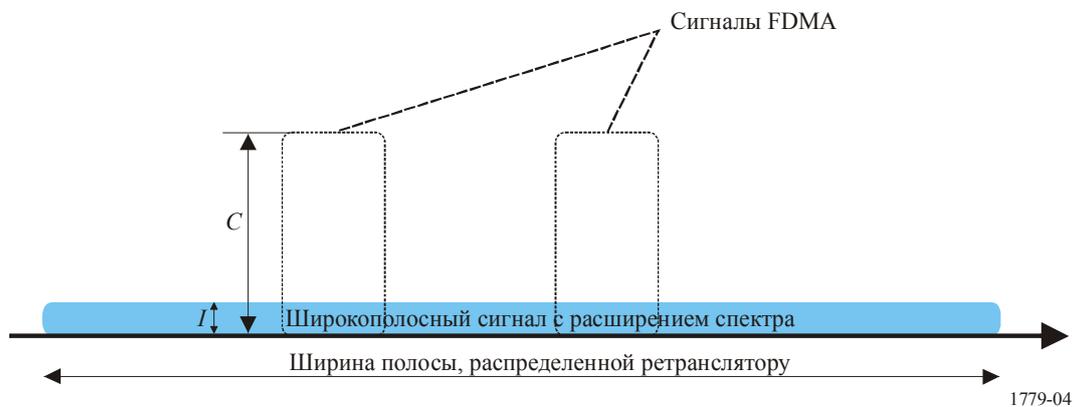
Имея заданную величину  $C/I$ , получаем допустимое значение э.и.и.м. на космической станции для широкополосной спутниковой системы, учитывая занимаемую ширину полосы. Отсюда принимаемое значение  $C/T$  в системе (Rx  $C/T$ ) выражается следующим уравнением:

$$Rx \ C/T = \text{э.и.и.м.} - L_p - M_{rain} + G/T \quad \text{дБ}, \quad (1)$$

где  $L_p$ ,  $M_{rain}$  и  $G/T$  представляют потери на трассе в свободном пространстве между спутником и приемником на поверхности Земли, запас для учета дождя и  $G/T$  приемной антенны, соответственно.

РИСУНОК 4

Наложение широкополосных спутниковых сигналов на несущие частоты FDMA на линии вниз



1779-04

### 2.2.2 Шаг 2

При заданном значении Rx  $C/T$ , достижимая скорость передачи информации  $R$  рассчитывается следующим образом:

$$R = Rx \ C/T - (E_b/N_0)_{req} + 228,6 \quad \text{дБ}, \quad (2)$$

где  $(E_b/N_0)_{req}$  и "228,6" представляют собой требуемую величину  $E_b/N_0$  и постоянную Больцмана, соответственно.

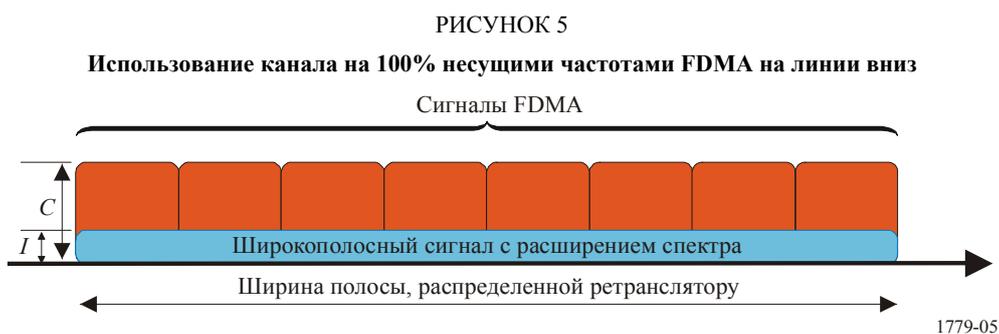
Указанная выше скорость передачи информации является идеальной скоростью передачи данных, которая оценивается в условиях отсутствия узкополосных несущих частот FDMA.

### 2.2.3 Шаг 3

Наконец, рассчитывается достижимая скорость передачи данных для широкополосных спутниковых систем, принимая во внимание наличие нескольких узкополосных несущих FDMA в пределах ширины полосы ретранслятора. В данном случае  $R_x C/T$  на линии вниз несущих FDMA рассматривается как помеха для широкополосной спутниковой системы. Общее значение  $C/T$  для Модели 1 получается путем суммирования значения  $C/T$  приемника на линии вниз широкополосной спутниковой системы и ухудшения значения  $C/T$  широкополосного приемника на линии вниз, вызванного помехами, создаваемыми несущими FDMA. Эту процедуру можно также применить и в отношении Модели 2.

Использование канала несущими FDMA моделируется в целях анализа, как показано на рис. 5, причем использование на 100% определяется как весь спектр ширины полосы ретранслятора, используемый многочисленными узкополосными несущими FDMA, а использование на 50% отражает половину ширины полосы, занятой несущими частотами FDMA. При использовании канала на 100%, например широкополосная спутниковая система требует повышения мощности рассеивания на 20 дБ по сравнению с Шагом 2. Следует отметить, что в целях расчетов в данном случае охранный канал во внимание не принимается.

Способ расчета скорости передачи данных является таким же, как на Шаге 2.



### 2.3 Результаты анализа бюджета линии

В таблицах 2 и 3 приводятся типичные параметры системы ФСС и значения э.и.и.м. в широкополосной спутниковой системе. Если учитывать значение  $C/I$ , равное 20 дБ, то плотность э.и.и.м. сигналов с расширением спектра составит 14,4 дБ(Вт/МГц), как показано в таблице 3.

ТАБЛИЦА 2

Типичные параметры системы ФСС

Параметры	Линия вверх	Линия вниз	Примечание
Ширина полосы на несущую	72,0 МГц	36,0 МГц	
э.и.и.м. на несущую	70,0 дБВт	50,0 дБВт	
Плотность э.и.и.м.	51,4 дБ(Вт/МГц)	34,4 дБ(Вт/МГц)	

ТАБЛИЦА 3

## Значения э.и.и.м. в широкополосной спутниковой системе

Система FDMA	Линия вверх	Линия вниз	Примечание
Плотность э.и.и.м. FDMA	51,4 дБ(Вт/МГц)	34,4 дБ(Вт/МГц)	Из таблицы 2
Требуемое значение $C/I$ (FDMA/широкополосная спутниковая система)	20,0 дБ	20,0 дБ	
Плотность э.и.и.м. широкополосной спутниковой системы	31,4 дБ(Вт/МГц)	14,4 дБ(Вт/МГц)	

Для более подробного рассмотрения бюджета линии можно взять примеры Моделей 1 и 2 с данными, содержащимися в таблицах с 4 по 7.

Из таблицы 2 видно, что в Модели 1 ширина полосы 72,0 МГц наряду со значением э.и.и.м. 70,0 дБВт дает величину э.и.и.м. 67,0 дБВт в полосе шириной 36 МГц. В Модели 2, в связи с тем что уровень сигнала с расширением спектра подавляется на 20 дБ по сравнению с уровнем сигнала FDMA, получаемое значение э.и.и.м. составляет 47,0 дБВт.

Значение  $R_x C/T$  на линии вверх рассчитывается на основе уравнения (1), что позволяет получить значения  $R_x C/T$ , составляющие  $-134,5$  и  $-154,5$  дБ(Вт/К) для Моделей 1 и 2, соответственно.

ТАБЛИЦА 4

## Бюджет линии – 1 (линия вверх)

Широкополосная спутниковая система	Модель 1 (Регенеративная)	Модель 2 (Нерегенеративная)	Примечание
Ширина полосы	36 МГц	36 МГц	
э.и.и.м. земной станции	67,0 дБВт	47,0 дБВт	Из таблиц 2 и 3
Потери на трассе	206,5 дБ	206,5 дБ	Рабочая частота: 14 ГГц
Ослабление в дожде	0 дБ	0 дБ	
$G/T$ приемной антенны	5,0 дБ/К	5,0 дБ/К	
$R_x C/T$ на линии вверх	$-134,5$ дБ(Вт/К)	$-154,5$ дБ(Вт/К)	

При плотности э.и.и.м. рассеиваемого сигнала 14,4 дБ(Вт/МГц), представленной в таблице 3, и ширине полосы 240 МГц на линии вниз в рамках Модели 1, значение э.и.и.м. спутника составит 38,2 дБВт. Точно так же получается значение э.и.и.м. в 30,0 дБВт для спутника в Модели 2. Используя уравнение (1), рассчитываем  $R_x C/T$  на линии вниз:  $-171,9$  и  $-180,2$  дБ(Вт/К) для Моделей 1 и 2, соответственно.

ТАБЛИЦА 5

## Бюджет линии – 2 (линия вниз)

Широкополосная спутниковая система	Модель 1	Модель 2	Примечание
Ширина полосы	240 МГц	36 МГц	
э.и.и.м. спутника	38,2 дБВт	30,0 дБВт	Из таблицы 3
Потеря на трассе	205,2 дБ	205,2 дБ	Рабочая частота: 12 ГГц
Ослабление в дожде	0 дБ	0 дБ	
$G/T$ приемной антенны	-5,0 дБ/К	-5,0 дБ/К	Зеркало антенны 10 см (19,8 дБи), $T_{sys} = 300$ К
$R_x C/T$ на линии вниз	-171,9 дБ(Вт/К)	-180,2 дБ(Вт/К)	

Пользовательские терминалы, имеющие антенны с низким усилением, могут быть затронуты помехами, создаваемыми соседними спутниками, что приведет к ухудшению значения  $C/T$ . Однако этими факторами пренебрегают, чтобы оценить идеальное значение в рамках этого анализа бюджета линии, о котором идет речь в п. 2.4.2.

Поэтому общее значение  $C/T$  берется таким же, как и  $R_x C/T$  для линий вниз, равные -171,9 и -180,2 дБ(Вт/К), в Моделях 1 и 2, соответственно.

ТАБЛИЦА 6

## Бюджет линии – 3 (общий)

Широкополосная спутниковая система	Модель 1	Модель 2	Примечание
Внутрисистемное общее значение $C/T$	-171,9 дБ(Вт/К)	-180,2 дБ(Вт/К)	Из таблиц 4 и 5
Ухудшение $C/T$ из-за помех, создаваемых соседними спутниками	0 дБ	0 дБ	
Общее значение $C/T$	-171,9 дБ(Вт/К)	-180,2 дБ(Вт/К)	

Наконец, используя уравнение (2), получаем оцениваемую скорость передачи данных, как показано в таблице 7.

ТАБЛИЦА 7

## Имеющаяся скорость передачи данных в широкополосной спутниковой системе

Широкополосная спутниковая система	Модель 1	Модель 2	Примечание
Общее значение $C/T$	-171,9 дБ(Вт/К)	-180,2 дБ(Вт/К)	
Требуемое значение $E_b/N_0$	4,0 дБ	4,0 дБ	
Постоянная Больцмана	-228,6 дБ(Вт/(К · Гц))	-228,6 дБ(Вт/(К · Гц))	
Оцениваемая скорость передачи данных	52,7 дБ(бит/с) 184,8 кбит/с	44,4 дБ(бит/с) 27,7 кбит/с	

С точки зрения действия несущей ФСС, указанное выше значение дает величину  $I_0/N_0$ , равную -1,3 дБ, исходя из размера антенны в 1,2 м (41,3 дБи) и температуры системы в 120 К на земной станции.

## 2.4 Резюме в отношении имеющейся величины скорости передачи данных

### 2.4.1 Скорость передачи данных при различных значениях $C/I$

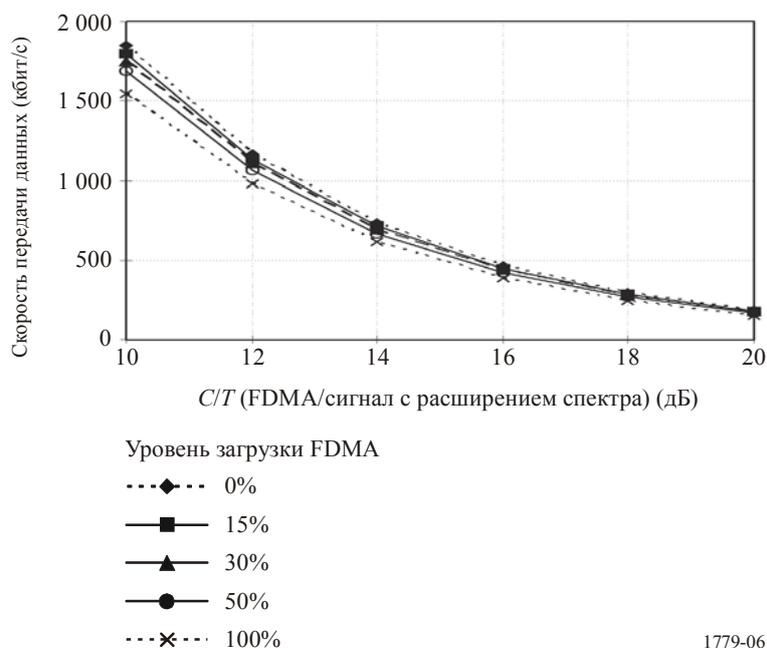
Скорости передачи данных представлены при различных значениях  $C/I$  на линии вниз, как это показано в таблице 8 и на рис. 6 для Модели 1, где  $C$  и  $I$  представляют выходную мощность одной из несущих FDMA, и широкополосной спутниковой системы, соответственно. Усиление антенны и ухудшение значения  $C/I$  из-за помех, создаваемых соседними спутниками, устанавливаются равными 19,8 дБи и 0 дБ (идеальный случай), соответственно. Исходя из данного результата и при уровне загрузки в 100%, а также при значении  $C/I$ , равном 20 дБ, достижимая скорость передачи данных составит, например, 154,9 кбит/с.

ТАБЛИЦА 8

Скорость передачи данных (кбит/с) при различных значениях  $C/I$  для Модели 1

$C/I$ (дБ)	Уровень загрузки несущих FDMA (%)				
	0	15	30	50	100
10	1 848,0	1 795,9	1 746,7	1 685,1	1 548,5
12	1 166,0	1 133,2	1 102,1	1 063,2	977,0
14	735,7	715,0	695,4	670,8	616,5
16	464,2	451,1	438,7	423,3	389,0
18	292,9	284,6	276,8	267,1	245,4
20	184,8	179,6	174,7	168,5	154,9

РИСУНОК 6

Скорость передачи данных (кбит/с) при различных значениях  $C/I$  для Модели 1

#### 2.4.2 Скорость передачи данных при различном ухудшении значения $C/T$ из-за помех, создаваемых соседними спутниками

Пользовательские терминалы, имеющие антенны с низким усилением, могут быть затронуты помехами, создаваемыми соседними спутниками, что приведет к ухудшению значения  $C/T$ . Для того чтобы оценить такое воздействие помех, используются следующие параметры:

- ширина луча антенны (HPBW: ширина луча по уровню половинной мощности) составляет примерно  $20^\circ$  при диаметре параболической антенны в 10 см (19,8 дБи);
- соседние спутники располагаются с интервалом в  $2^\circ$ . В луче размером в  $20^\circ$  располагается 10 спутников;
- уровень приема от каждого соседнего спутника является таким же, как и уровень приема от "полезного" спутника, учитывая большую ширину луча;
- половина из 10 соседних спутников (пять спутников) создают помехи полезному сигналу. Следовательно, ухудшение значения  $C/T$ , вызванное помехами, создаваемыми пятью соседними спутниками, составляет 7 дБ.

В таблице 9 и на рис. 7 показаны значения скорости передачи данных при различных уровнях ухудшения величины  $C/T$ , связанного с помехами, создаваемыми соседними спутниками. В данных расчетах значение  $C/T$  и уровень загрузки в соседних спутниках составляют, соответственно, 20 дБ и 100%. Следует отметить, что хотя по горизонтальной оси показаны значения ухудшения  $C/T$ , их можно преобразовать в количество соседних спутников.

ТАБЛИЦА 9

Скорость передачи данных (кбит/с) для уровней ухудшения  $C/T$ , связанного с помехами, для Модели 1

$R_{load}$ \ $(C/T)_{deg}$ ( $N_s$ )	0 (0)	3 (2)	7 (5)	10 (10)	14 (25)	20 (100)
0%	184,8	133,3	93,8	63,0	31,5	9,1
50%	168,5	121,6	85,6	57,4	28,8	8,3
100%	154,9	111,7	78,6	52,8	26,4	7,6

$(C/T)_{deg}$ : ухудшение уровня  $C/T$  из-за помех, создаваемых соседними спутниками (дБ);

$N_s$ : количество соседних спутников;

$R_{load}$ : уровень загрузки в желаемом спутнике.

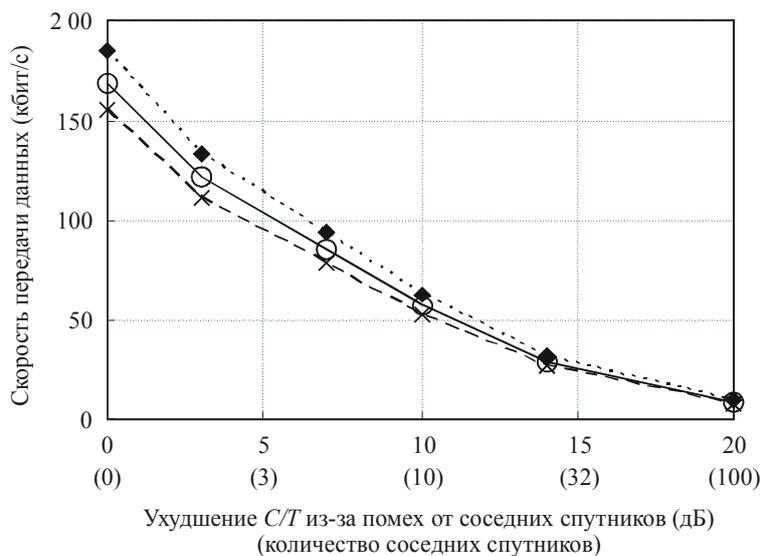
#### 2.5 Воздействие наложения широкополосных сигналов с расширением спектра на несущие FDMA

Несущие FDMA могут быть затронуты сигналами с расширением спектра, действующими на совпадающей частоте. Это воздействие для линии вниз оценивается в рамках следующего анализа бюджета линии.

Типичные параметры системы ФСС приводятся в п. 2.3, в связи с чем значение линии вниз Rx  $C/T$  составит  $-140,1$  дБ(Вт/К), как показано в таблице 10. Следует отметить, что в этой таблице воздействие сигналов с расширением спектра на несущие FDMA не учитывается и будет рассмотрено ниже.

РИСУНОК 7

Скорость передачи данных для уровней ухудшения  $C/T$ , связанного с помехами, для Модели 1



Уровень загрузки FDMA

- ◆--- 0%
- 50%
- ×— 100%

1779-07

ТАБЛИЦА 10

Бюджет линии системы FDMA (линия вниз)

Система	Линия вниз	Примечание
Ширина полосы	36 МГц	
э.и.и.м. спутника	50,0 дБВт	Из таблицы 2
Потери на трассе	205,2 дБ	Рабочая частота: 12 ГГц
Ослабление в дожде	0 дБ	
Ухудшение $C/T$ из-за помех, вызываемых наложением сигналов с расширением спектра	0 дБ	
$G/T$ приемной антенны	15,1 дБ/К	
Rx $C/T$ на линии вниз	-140,1 дБ(Вт/К)	

Если исходить из минимальной величины  $C/T$  для несущей в 64 кбит/с в -175,9 дБ(Вт/К) и резерва системы в 10 дБ, то требуемое значение  $C/T$  составит -165,9 дБ(Вт/К).

ТАБЛИЦА 11

Требуемое значение  $C/T$  для системы FDMA

Система FDMA		Примечание
Минимальное значение $C/T$ (64 кбит/с)	-175,9 дБ(Вт/К)	КОБ = $1 \times 10^{-6}$ , $E_b/N_0 = 4,6$ дБ
Запас системы	10 дБ	
Требуемое значение $C/T$	-165,9 дБ(Вт/К)	

Наконец, получаем достижимое количество каналов, как показано в таблице 12.

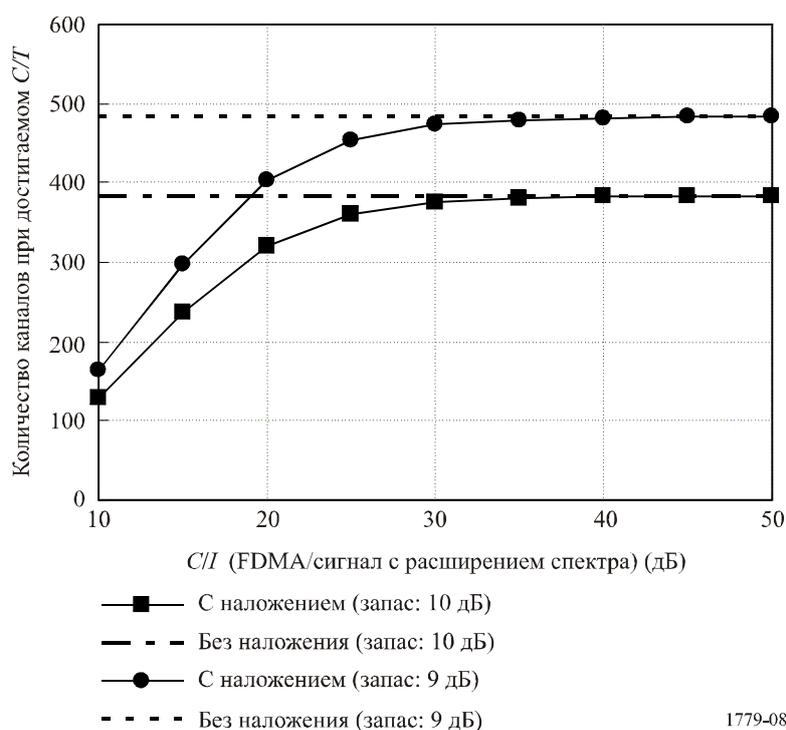
ТАБЛИЦА 12

## Достижимое количество каналов

Система FDMA		Примечание
Запас	25,8 дБ	Из таблиц 10 и 11
Количество каналов	384	

Количество каналов в условиях наложения будет снижаться по сравнению с величиной, указанной выше. Воздействие наложения сигналов с расширением спектра на несущие FDMA оценивается при различных величинах  $C/I$ , где  $C$  и  $I$  представляют собой выходную мощность одной из несущих FDMA и широкополосной спутниковой системы, соответственно. На рис. 8 показано количество каналов FDMA при наложении и без наложения сигналов с расширением спектра.

РИСУНОК 8

Количество каналов с наложением сигналов с расширением спектра на несущие FDMA при различных значениях  $C/I$ 

Исходя из этих результатов, количество каналов FDMA снижается по мере увеличения помех, создаваемых наложением сигналов с расширением спектра, т. е. снижения величины  $C/I$ . В таких случаях можно увеличить количество имеющихся каналов за счет сокращения запаса системы. Исходя из эксплуатационных соображений, количеством несущих FDMA можно было бы пожертвовать ради снижения уровня помех, создаваемых наложением сигналов с расширением спектра, которые воздействуют на индивидуальные несущие FDMA.

## 2.6 Обсуждение

Указанные выше результаты свидетельствуют о том, что достижимая скорость передачи данных зависит от уровня загрузки несущих FDMA, критерия  $C/I$ , уровней ухудшения  $C/T$ , связанного с межсистемными и внутрисистемными помехами, и распределения помех среди несущих FDMA, работающих на одной и той же частоте. Несмотря на то что достигается относительно низкая скорость передачи данных, эта скорость все же считается достаточной для доставки низкоскоростной информации при чрезвычайных ситуациях.

Поскольку предлагаемая модель системы применяется на основе внутрисистемных помех, при условии поддержания суммарных помех, создаваемых соседней спутниковой системой, значение  $C/I$  и уровень загрузки могут быть надлежащим образом выбраны в зависимости от эксплуатационной политики и особенностей конструкции системы. В случае стихийных бедствий можно будет передавать только сигналы с расширением спектра, используя весь ретранслятор, чтобы обеспечить передачу информации при чрезвычайных ситуациях без предварительного присвоения ретранслятора и/или полос частот.

Схема наложения может повысить уровень шума, т. е.  $I_0/N_0$  для несущих FDMA, в зависимости от усиления приемной антенны земной станции. Из результатов, содержащихся в п. 2.5, следует, что, несмотря на снижение количества каналов FDMA по мере повышения уровня помех, создаваемых наложением сигналов с расширением спектра, т. е. снижение значения  $C/I$ , это снижение каналов будет компенсироваться меньшими размерами антенны и скорости передачи данных, обеспечиваемой широкополосными сигналами с расширением спектра. Поскольку речь идет о внутрисистемных помехах (а не о межсистемных помехах), то эти помехи представляют собой одну из задач, которую решают разработчики систем спутниковой связи и/или операторы спутников.

## 3 Приложение 2 – Спутниковая система с закрепленной шириной полосы для сигналов FDMA и широкополосных сигналов с расширением спектра

### 3.1 Модель системы

Концептуальный вид системы и исходные модели связи остаются такими же, как и в Приложении 1, как видно из рис. 2. Вместе с тем использование спектра ФСС отличается от схемы, предусмотренной в Приложении 1. В Приложении 1 широкополосные сигналы с расширением спектра накладываются на существующий спектр ФСС в пределах распределения ФСС, в то время как в Приложении 2 ширина полосы сигналов FDMA и ширина полосы сигналов с расширением спектра разделены, т. е. для сигналов с расширением спектра распределены специальные полосы частот. Конкретные сценарии в Приложении 2 имеют следующий вид. Предполагаемая модель связи, так называемая Модель 3, показана в таблице 13:

- широкополосные сигналы с расширением спектра передаются в пределах специальных полос частот, как показано на рис. 9. Поскольку сигналы с расширением спектра и сигналы FDMA передаются отдельно в пределах распределения ФСС одной и той же сети ФСС, то внутрисистемных помех не возникает;
- для линии вверх используется ретранслятор регенеративного типа с узкой шириной полосы;
- для линии вниз определенная часть распределения ФСС выделяется для сигналов с расширением спектра;
- использование пользовательских терминалов с ненаправленными или полуненаправленными антеннами, предположительно, должно способствовать установке и техническому обслуживанию. Несмотря на то что помехи, создаваемые соседними спутниками, затрагивают пользовательские терминалы с такими антеннами, ухудшение, вызываемое внутрисистемными помехами, сглаживается за счет усиления.



ТАБЛИЦА 13

**Модели связи в Приложении 2**

	<b>Модель 3</b>	<b>Примечание</b>
Тип ретранслятора	Регенеративный	
Ширина полосы/э.и.и.м. (восходящей)	36 МГц/77 дБВт	
Ширина полосы/э.и.и.м. (нисходящей)	3,6 МГц/52,1 дБВт	В качестве максимального значения э.и.и.м. берется 62,1 дБВт
Схема передачи (восходящая/нисходящая)	FDMA/FDMA и сигнал с расширением спектра	

**3.2 Анализ бюджета линии и оценка качества**

Достижимая скорость передачи данных оценивается по бюджетам линий в диапазонах 14/12 ГГц. Расчет остается таким же, как и в Приложении 1, за исключением параметров  $C/I$ :

- параметры систем ФСС и ширина полосы, распределенная для сигналов с расширением спектра, обеспечивают значение  $R_x C/T$  на широкополосном приемнике сигнала в линии вниз;
- используя определенное таким образом значение  $R_x C/T$ , можно получить скорость передачи данных.

Поскольку помехи между сигналами FDMA и сигналами с расширением спектра помех не создаются, значение  $C/I$ , которое используется в Приложении 1, в настоящем анализе считается бесконечной величиной.

**3.3 Результаты анализа бюджета линии**

Значение  $R_x C/T$  для линии вверх рассчитывается по уравнению (1), что позволяет получить значение  $R_x C/T$  для линии вверх, равное  $-134,5$  дБ(Вт/К), как видно из таблицы 14. Для линии вниз уравнение (1) также дает значение  $C/T$  для приемника на линии вниз, равное  $-172,9$  дБ(Вт/К), как показано в таблице 15.

ТАБЛИЦА 14

**Бюджет линии – 1 (линия вверх)**

<b>Широкополосная спутниковая система</b>	<b>Модель 3</b>	<b>Примечание</b>
Ширина полосы	36 МГц	
э.и.и.м. земной станции	67,0 дБВт	
Потери на трассе	206,5 дБ	Рабочая частота: 14 ГГц
Ослабление в дожде	0 дБ	
$G/T$ приемной антенны	5,0 дБ/К	
$R_x C/T$ на линии вверх	$-134,5$ дБ(Вт/К)	

ТАБЛИЦА 15  
Бюджет линии – 2 (линия вниз)

Широкополосная спутниковая система	Модель 3	Примечание
Ширина полосы на несущую	3,6 МГц	
э.и.и.м. спутника на несущую	52,1 дБВт	
Потери на трассе	205,2 дБ	Рабочая частота: 12 ГГц
Ослабление в дожде	0 дБ	
$G/T$ приемной антенны	-19,8 дБ/К	Плоская антенна (5 дБи), $T_{sys} = 300$ К
Rx $C/T$ на линии вниз	-172,9 дБ(Вт/К)	Внутрисистемное суммарное значение $C/T$

В Приложении 2 также исходят из наличия пользовательских терминалов с антеннами с низким усилением; они могли бы быть затронуты помехами, создаваемыми соседними спутниками. Однако в рамках данного этапа рассматривается идеальное условие, которое характеризуется отсутствием помех; скорости передачи данных при помехах приведены в п. 3.4.2.

ТАБЛИЦА 16  
Бюджет линии – 3 (общий)

Широкополосная спутниковая система	Модель 3	Примечание
Внутрисистемное суммарное значение $C/T$	-172,9 дБ(Вт/К)	Из таблицы 15
Ухудшение $C/T$ из-за помех от других систем	0 дБ	
Суммарное значение $C/T$	-172,9 дБ(Вт/К)	

Наконец, уравнение (2) позволяет получить скорость передачи данных, значение которой приводится в таблице 17.

ТАБЛИЦА 17  
Имеющаяся скорость передачи данных в широкополосной спутниковой системе

Широкополосная спутниковая система	Модель 3	Примечание
Суммарное значение $C/T$	-172,9 дБ(Вт/К)	
Требуемое значение $E_b/N_0$	4,0 дБ	
Постоянная Больцмана	-228,6 дБ(Вт/(К · Гц))	
Оцениваемая скорость передачи данных	51,7 дБ(бит/с) 148,9 кбит/с	

### 3.4 Резюме, касающееся имеющейся скорости передачи данных

#### 3.4.1 Скорость передачи данных при различной ширине полос для сигналов с расширением спектра

В Приложении 2 сигналам с расширением спектра распределяются закрепленные значения ширины полосы. Для оценки того, каким образом ширина полосы влияет на скорость передачи данных, принимается во внимание тип ширины полосы частот, причем полученные результаты для Модели 3 содержатся в таблице 18 и на рис. 10. Следует также исходить из того, что значение э.и.и.м. на линии вниз меняется при соответствующем увеличении ширины полосы. В рамках настоящего анализа

рассматриваются два типа антенн: ненаправленная антенна (0 дБи) и плоская антенна (5 дБи); уровнем ухудшения  $C/T$  из-за помех, создаваемых другими системами, можно пренебречь для оценки идеального случая.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности получения скорости передачи данных в несколько десятков кбит/с, несмотря на весьма узкую ширину полосы. Можно отметить, что узкая ширина полосы является достаточной для передачи информации с низкой скоростью в обычных эксплуатационных условиях, в то время как более высокая скорость передачи данных может быть достигнута за счет изменения ширины полос сигналов с расширением спектра и сигналов FDMA.

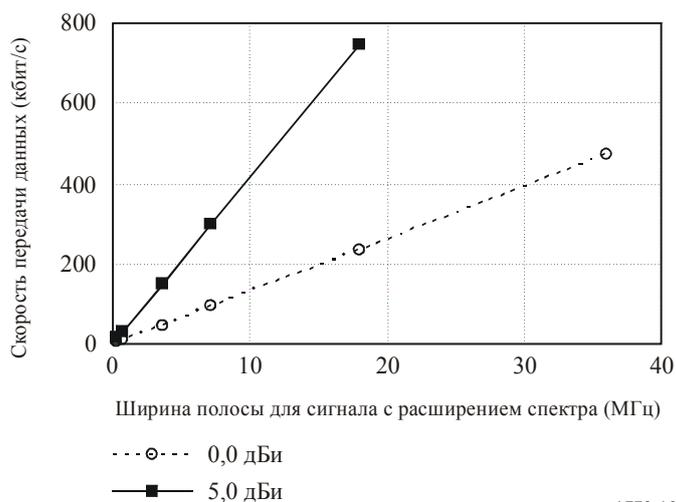
ТАБЛИЦА 18

**Скорость передачи данных (кбит/с) с различной шириной полосы сигналов с расширением спектра**

Тип антенны	Ширина полосы для сигналов с расширением спектра (МГц)					
	0,36	0,72	3,6	7,2	18	36
0,0 дБи (ненаправленная)	4,7	9,4	47,1	94,2	235,4	470,8
5,0 дБи (плоская)	14,9	29,8	148,9	297,8	744,4	1 488,7

РИСУНОК 10

**Скорость передачи данных с различной шириной полосы для сигналов с расширением спектра**



1779-10

### 3.4.2 Скорость передачи данных при уровнях ухудшения $C/T$ , вызванного помехами, создаваемыми соседними спутниками

Для того чтобы оценить уровень ухудшения значения  $C/T$ , вызванного помехами, создаваемыми соседними спутниками, предполагаются те же этапы, как и в Приложении 1:

*Шаг 1:* Большая часть геостационарной орбиты (т. е.  $100^\circ$ ) находится в пределах основного луча антенны почти всенаправленного действия с усилением в 5 дБи.

*Шаг 2:* Соседние спутники располагаются с интервалом в  $2^\circ$ . В полосе луча шириной  $100^\circ$  располагается 50 спутников.

*Шаг 3:* При использовании антенн с таким низким усилением не отмечается никаких различий в уровнях усиления в пределах нескольких десятков градусов от основной оси; следовательно, уровень приема на каждом соседнем спутнике является таким же, как и на "полезном" спутнике.

*Шаг 4:* Половина из 50 соседних спутников (25 спутников) создают помехи для полезного сигнала, что приводит к ухудшению значения  $C/T$  на 14 дБ.

В таблице 19 и на рис. 11 представлены скорости передачи данных с различными уровнями ухудшения  $C/T$ , вызванного помехами, создаваемыми соседними спутниками, для Модели 3. В данных расчетах специальная ширина полосы для сигналов с расширением спектра и уровень загрузки в соседних спутниках устанавливаются на уровне 3,6 МГц и 100%, соответственно, а также рассматриваются антенны двух типов.

ТАБЛИЦА 19

**Скорость передачи данных (кбит/с) при уровнях ухудшения  $C/T$ , вызванного помехами, создаваемыми соседними спутниками для Модели 3**

$G_r$ \ $(C/T)_{deg}$ \ $(N_s)$	0 (0)	3 (2)	7 (5)	10 (10)	14 (25)	20 (100)
0,0 дБи (ненаправленная)	47,1	44,2	40,4	35,4	25,8	11,0
5,0 дБи (плоская)	148,9	123,3	97,9	73,0	41,3	13,1

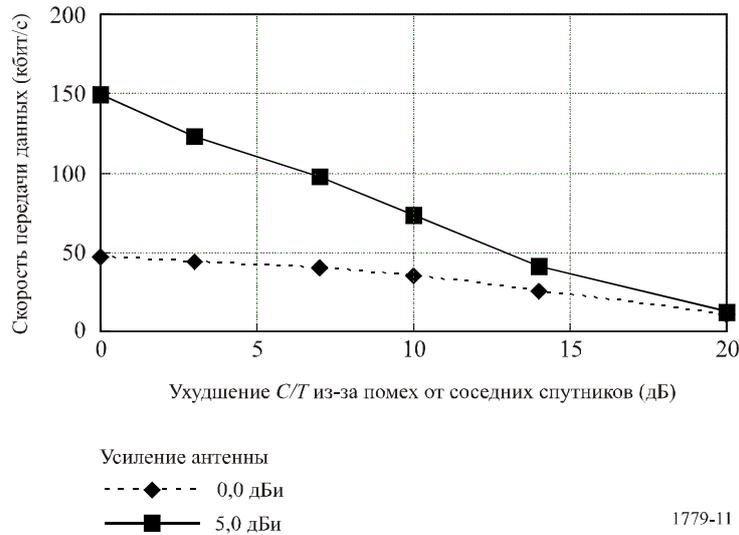
$(C/T)_{deg}$ : уровень ухудшения  $C/T$ , вызванного помехами, создаваемыми соседним спутником (дБ);

$N_s$ : количество соседних спутников;

$G_r$ : усиление антенн пользовательских терминалов.

РИСУНОК 11

**Скорость передачи данных при различных уровнях ухудшения  $C/T$ , вызванного помехами, создаваемыми соседними спутниками, для Модели 3**



1779-11

### 3.5 Обсуждение

Для того чтобы содействовать установке и техническому обслуживанию оборудования в случае стихийных бедствий, желательно использовать пользовательские терминалы с низким усилением. Несмотря на существующую возможность определения уровня внутрисистемных помех с помощью эксплуатационной политики, избежать ухудшения значения  $C/T$ , вызванного помехами, создаваемыми соседними спутниками, невозможно; неконтролируемые помехи со стороны последних будут оказывать существенное воздействие на скорость передачи данных.

Результаты свидетельствуют о том, что можно добиться скорости передачи данных в несколько десятков кбит/с, даже если помехи, создаваемые соседними спутниками, оказывают воздействие на полезные сигналы. Поскольку разделение полос пропускания является основным преимуществом по сравнению с Приложением 1, разработчики системы могли бы использовать сигналы с расширением спектра без создания помех для обычных сигналов FDMA.

#### 4 Резюме

В настоящем Приложении представлены технические характеристики спутниковой системы с широкополосными сигналами с расширением спектра в двух приложениях, где:

- сигналы с расширением спектра накладываются на обычные сигналы FDMA в пределах одной и той же сети ФСС;
- для сигналов с расширением спектра выделяются специальные полосы.

Разработчики систем могли бы всесторонне представлять системы ФСС, использующие широкополосные сигналы с расширением спектра, с помощью моделей системы и представленных здесь технических характеристик.

Принимая во внимание происходящие в настоящее время стихийные бедствия, весьма важно сообщать тем лицам, которые проживают в зонах возможных стихийных бедствий об информации о чрезвычайных ситуациях, как только происходит любое стихийное бедствие. Учитывая такие стихийные бедствия и аналогичные чрезвычайные ситуации, предлагаемая система использовалась бы в таких обстоятельствах в целях предупреждения и проведения операций по оказанию помощи.

## Приложение 2

### Система ФСС с рядом острых сфокусированных лучей, использующая CDMA (широкополосные сигналы с расширением спектра)

#### 1 Общий обзор

В настоящем Приложении рассматривается использование методов CDMA в системе ФСС, использующей спутник с рядом острых сфокусированных лучей. Концептуальный вид системы ФСС показан на рис. 12. Базовые параметры системы ФСС перечислены в таблице 20. Для того чтобы проверить эффективность использования метода CDMA для данного типа системы ФСС, осуществляется анализ потенциала канала в случае CDMA в отличие от метода использования FDMA. Для упрощения анализа рассматриваются только линии вниз. Предполагается, что диаметр антенны пользовательского терминала составляет 45 см. Запас на дождь (умеренный дождь) устанавливается на уровне 3 дБ для линии вниз на частоте 12,5 ГГц. Предполагается, что количество сфокусированных лучей равно 14 (см. рис. 13 и рис. 16 для согласования).

РИСУНОК 12

Система ФСС с рядом острых сфокусированных лучей

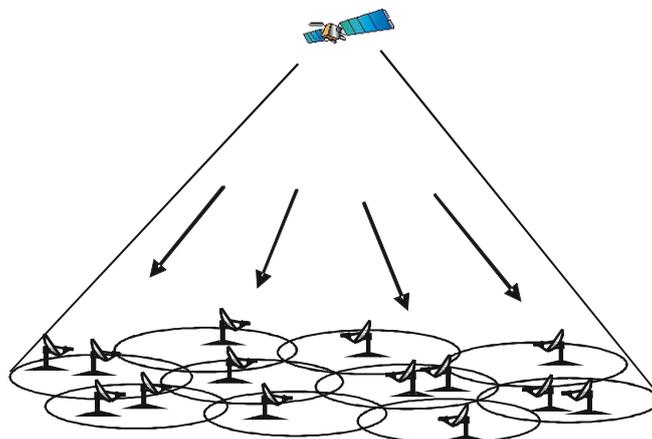


ТАБЛИЦА 20

## Базовые параметры системы ФСС с рядом острых сфокусированных лучей

Параметры	Значения	Примечания
Частота на линии вниз (ГГц)	12,5	
Ширина полосы ретранслятора (МГц)	36,0	
э.и.и.м. насыщения спутника (дБВт)	61,02	
Потери при распространении на линии вниз (дБ)	205,5	
Запас на дождь на линии вниз (дБ)	3,0	Умеренный дождь
$G/T$ пользовательского терминала (дБ/К)	11,19	Диаметр 45 см
Количество сфокусированных лучей	14	

## 2 Пропускная способность канала в случае FDMA

В тех случаях, когда в системе ФСС используется FDMA в качестве схемы многостанционного доступа с рядом сфокусированных лучей, необходимо обеспечить сегментацию частоты по таким лучам, чтобы избежать помех со стороны соседних сфокусированных лучей, как показано на рис. 13 и рис. 14.

В случае применения в наземных сотовых сетях можно было бы использовать восьмигранные соты при создании спутникового покрытия рядом сфокусированных лучей. Существует несколько схем повторного использования частоты (например, с коэффициентом повторного использования частоты с 3, 4, 7, 9, 13 и т. д. полосами). Схема с повторным использованием частот определяется на основе компромисса между эффективностью использования спектра и суммой помех в совмещенном канале, создаваемых другими сотами (т. е. сфокусированными лучами). В настоящем исследовании коэффициент повторного использования частоты установлен на уровне 7, что является типичным для сотовых систем с 14 сфокусированными лучами.

Пропускная способность канала с ограниченной шириной полосы в случае FDMA,  $N_{FDMA-BW}$ , рассчитывается с помощью следующего уравнения:

$$N_{FDMA-BW} = B_t / (B_c \cdot K) \cdot M = B_t / (R / \eta \cdot K) \cdot M, \quad (3)$$

где  $B_t$ ,  $B_c$ ,  $R$ ,  $\eta$ ,  $K$  и  $M$  представляют собой ширину всей полосы, ширину полосы канала, скорость передачи информации, эффективность использования ширины полосы (соотношение между скоростью передачи информации на единицу ширины полосы), коэффициент повторного использования частоты и количество сфокусированных лучей, соответственно.

С другой стороны, пропускная способность канала, ограниченная мощностью, в случае FDMA,  $N_{FDMA-POW}$ , рассчитывается с помощью следующего уравнения:

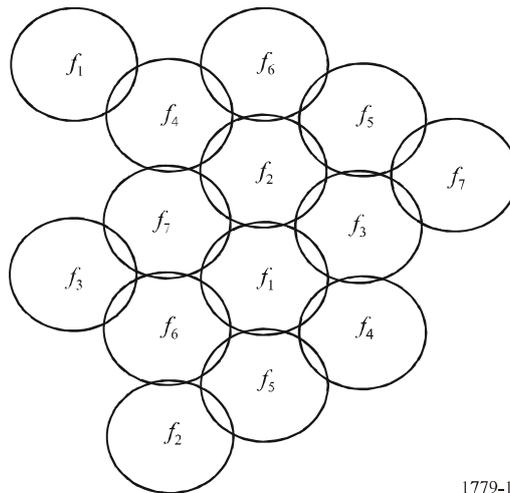
$$N_{FDMA-POW} = (C/N_0) / (E_b/N_0)_{th} \cdot \alpha, \quad (4)$$

где  $C$ ,  $N_0$ ,  $(E_b/N_0)_{th}$  и  $\alpha$  представляют собой общую мощность принимаемого сигнала, имеющуюся в системе ФСС, плотность шума системы (АБГШ), требуемое значение  $E_b/N_0$  и выигрыш от эффекта активации данных (голоса), соответственно.

Следовательно, пропускная способность канала определяется как меньшее из значений  $N_{FDMA-BW}$  и  $N_{FDMA-POW}$ .

РИСУНОК 13

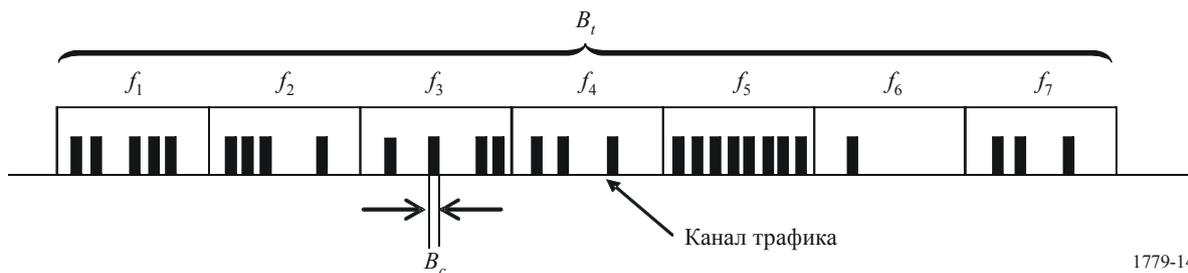
Согласование сфокусированных лучей и повторное использование частоты в системе ФСС с FDMA



1779-13

РИСУНОК 14

Распределение частот системы ФСС с FDMA



1779-14

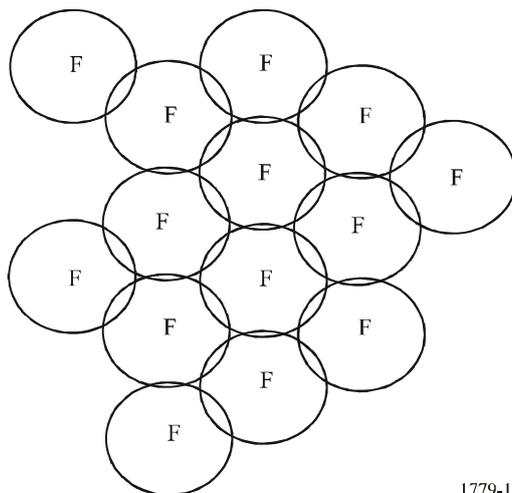
### 3 Пропускная способность канала в случае с CDMA

В тех случаях, когда в качестве схемы многостанционного доступа используется CDMA, сегментация частот по сфокусированным лучам не требуется (см. рис. 15 и рис. 16). В данном случае вся ширина полосы (например,  $B_t$ ) может быть использована во всех сфокусированных лучах, в отличие от примера с FDMA. В случае с CDMA пропускная способность канала определяется главным образом суммой помех, создаваемых другими каналами CDMA, работающими в одном и том же сфокусированном луче и в соседних сфокусированных лучах.

На рис. 17 показан процесс модуляции (первичная модуляция и вторичная модуляция) в CDMA. Значения  $r_1$  и  $r_2$  представляют собой скорость передачи после первичной модуляции (включая упреждающую коррекцию ошибок (FEC)) и вторичную модуляцию, соответственно. Значения  $b_1$  и  $b_2$  представляют собой эквивалентную ширину полосы шума первичной модуляции и вторичной модуляции, соответственно. Усиление с расширением спектра  $G_p$  определяется как соотношение между  $b_2$  и  $r_1$  (т. е.  $G_p = b_2/r_1$ ).

РИСУНОК 15

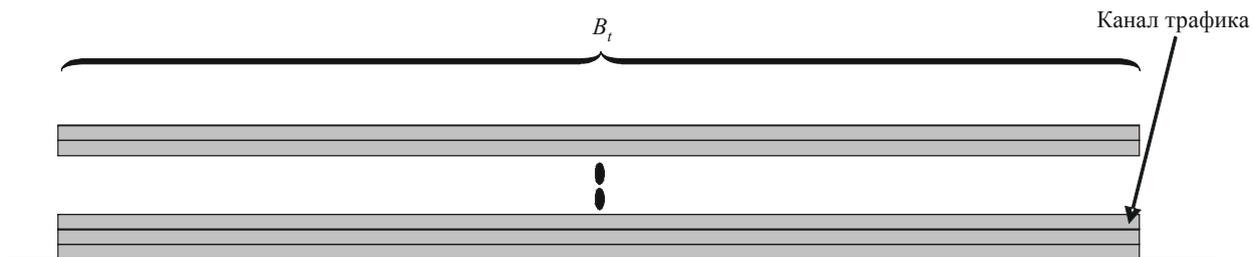
Согласование сфокусированных лучей в системе ФСС с CDMA



1779-15

РИСУНОК 16

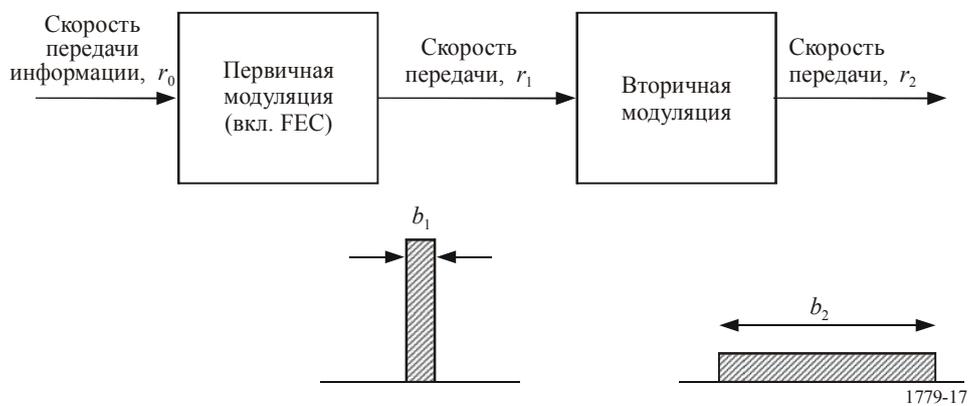
Распределение частот системы ФСС с CDMA



1779-16

РИСУНОК 17

Процесс модуляции сигнала CDMA



1779-17

Как показано на рис. 18, в случае с CDMA на входе приемника имеют место полезный сигнал, шум системы и помехи, создаваемые другими каналами CDMA. Пропускная способность канала в случае с CDMA рассчитывается с помощью следующих шагов:

*Шаг 1:* Принимаемая мощность одного полезного канала  $C'$  выражается как  $C' = C/N_{CDMA}$ , где  $C$  и  $N_{CDMA}$  представляют собой общую мощность принимаемого сигнала, имеющуюся в системе ФСС и пропускную способность канала с CDMA, соответственно.

*Шаг 2:* Плотность помех, создаваемых остальными каналами CDMA,  $I_0$  выражается как  $I_0 = C/N_{CDMA} * (N_{CDMA} - 1)/b_2$ . Следует отметить, что  $b_2$  является эквивалентной шириной полосы вторичной модуляции, как показано на рис. 17. Плотность шума системы без учета помех, создаваемых другими каналами CDMA, определяется как  $N_0$  (плотность аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ)).

*Шаг 3:* На основе шагов 1 и 2 выше,  $C'/(N_0+I_0)$  выражается в следующем виде:

$$C'/(N_0+I_0) = (C/N_{CDMA})/(N_0 + C/N_{CDMA} * (N_{CDMA} - 1)/b_2). \quad (5)$$

*Шаг 4:* При приближенном значении  $N_{CDMA} \doteq N_{CDMA} - 1$ , уравнение (5) можно упростить и представить в виде:

$$C'/(N_0+I_0) = (C/N_{CDMA})/(N_0 + C/b_2). \quad (5bis)$$

*Шаг 5:* С другой стороны,  $C'/(N_0+I_0)$  можно выразить с помощью требуемой величины  $E_b/N_0$  (обозначаемой как  $(E_b/N_0)_{th}$ ), а скорость передачи информации до расширения  $b_1$  в следующем виде:

$$C'/(N_0+I_0) = (E_b/N_0)_{th} * r_1. \quad (6)$$

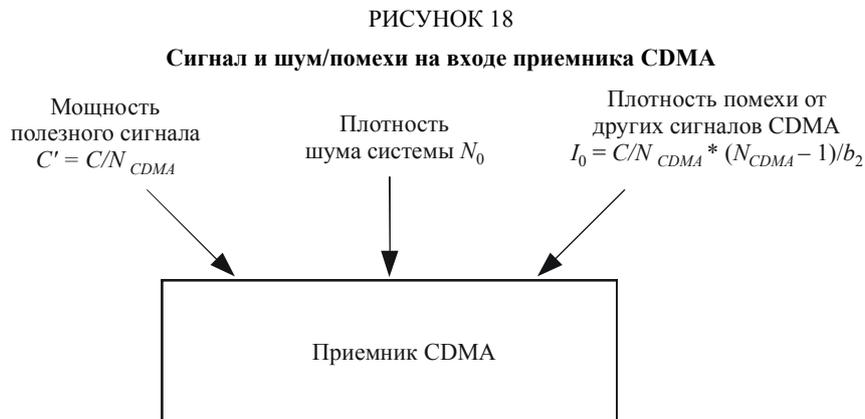
*Шаг 6:* На основе уравнений (5bis) и (6), а также отношений  $G_p = b_2/r_1$  и  $C/N = \{C/N_0\}/b_2$  получаем следующее уравнение:

$$N_{CDMA} = \{G_p / (E_b/N_0)_{th}\} * \{(C/N) / (C/N + 1)\}. \quad (7)$$

*Шаг 7:* В уравнении (7) принимаются во внимание только помехи, создаваемые другими каналами CDMA в одном и том же сфокусированном луче. Однако на практике следует учитывать также и помехи, создаваемые каналами CDMA в соседних сфокусированных лучах. Кроме того, учитывается и эффект активации данных (голоса)  $\alpha$  точно таким же образом, как и в случае с FDMA. Принимая во внимание эти факторы, пропускная способность канала в случае CDMA выражается в следующем виде:

$$N_{CDMA} = \{G_p / (E_b/N_0)_{th}\} * \{(C/N) / (C*(1 + \beta)/N + 1)\} * \alpha, \quad (8)$$

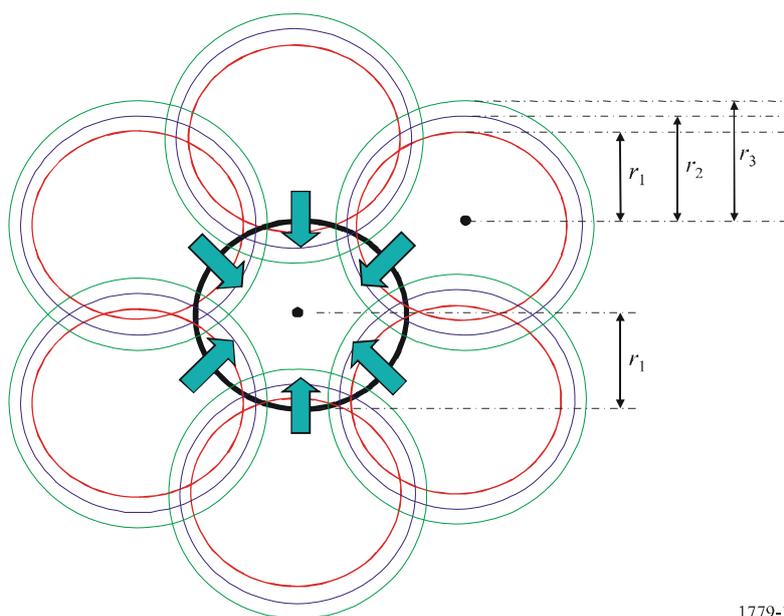
где  $\beta$  представляет собой отношение вклада помех от соседних сфокусированных лучей к помехам со стороны того же сфокусированного луча.



Для того чтобы оценить значение  $\beta$  в уравнении (8), рассматривается модель сфокусированных лучей в соответствии с рис. 19. Полезный канал представлен в луче, расположенном в центре рисунка. Утечка мощности из шести соседних лучей на контур в 3 дБ центрального луча (жирная черная окружность), рассчитывается исходя из предположений, что трафик распределяется равномерно по местам расположения каждого сфокусированного луча. Радиус контура в 3 дБ каждого сфокусированного луча определяется как  $r_1$ . Для соседних лучей в целях расчета утечки мощности, взяты также контуры в 6 дБ и 10 дБ с радиусами  $r_2 (= 1,2*r_1)$  и  $r_3 (= 1,5*r_1)$ . На основе этих исходных данных получаем значение  $\beta$ , равное 0,75.

РИСУНОК 19

Модель сфокусированных лучей для расчета утечки из соседних лучей



1779-19

#### 4 Оценка пропускной способности канала с использованием параметров примерной системы

Для оценки пропускной способности системы ФСС с рядом острых сфокусированных лучей, за основу берутся параметры передачи, предполагаемые при использовании FDMA и CDMA, как показано в таблице 21. Для того чтобы оценить чувствительность пропускной способности канала к мощности спутника и ресурсам ширины полосы в случае FDMA, предполагают наличие различных методов модуляции/FEC. В случае CDMA применения модуляции более высокого порядка (например, 8-PSK или 16-QAM) для первичной модуляции не представляется целесообразным, так как это не ведет к увеличению усиления рассеиванием. Принимая это во внимание, в настоящем анализе рассматриваются следующие сочетания модуляции и FEC:

Случай 1: FDMA; QPSK с турбокодом со скоростью 1/2.

Случай 2: FDMA; 8-PSK с 2/3 TCM и кодом Рида-Соломона (201, 219).

Случай 3: CDMA; 16-QAM с 3/4 TCM и кодом Рида-Соломона (201, 219),

Случай 4: CDMA; QPSK с турбокодом со скоростью 1/2.

Требуемые значения  $E_b/(N_0 + I_0)$  для методов модуляции/FEC показаны в таблице 21 и соответствуют КОБ =  $1 \times 10^{-8}$ . Коэффициент FEC показывает результирующую скорость внутреннего кода и внешнего кода.

ТАБЛИЦА 21

**Параметры передачи для оценки пропускной способности канала**

Параметры	Случай 1	Случай 2	Случай 3	Случай 4
<b>FDMA/CDMA</b>	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA
<i>Первичная модуляция</i>				
Скорость передачи информации, $r_1$ (кбит/с)	64	64	64	64
Модуляция	QPSK	8-PSK	16-QAM	QPSK
Коэффициент FEC	0,50	0,61	0,69	0,50
Эквивалентная ширина полосы шума, $b_1$ (кГц)	64,0	34,9	23,3	64,0
Занимаемая ширина полосы, $b_1'$ (кГц)	89,6	48,8	32,5	89,6
Эффективность использования спектра (бит/с/Гц)	0,71	1,31	1,97	0,71
Требуемое значение $E_b/(N_0+I_0)$ (дБ)	3,2	6,9	9,4	3,2
<i>Вторичная модуляция</i>				
Модуляция	N/A	N/A	N/A	BPSK
Эквивалентная ширина полосы шума, $b_2$ (МГц)	N/A	N/A	N/A	25,6
Занимаемая ширина полосы, $b_2'$ (МГц)	N/A	N/A	N/A	36

N/A: не применяется.

Пропускная способность канала в случаях FDMA в таблице 21 (случаи 1–3) рассчитывалась в соответствии с методикой, представленной в таблице 22. Базовые параметры взяты из таблицы 21. Потеря мощности ретранслятора составляет 3 дБ для QPSK и 8-PSK, а для 16-QAM – 6 дБ.

ТАБЛИЦА 22

**Расчет пропускной способности канала в случаях с FDMA**

Параметры	Случай 1	Случай 2	Случай 3
э.и.и.м. насыщения спутника (дБВт)	61,02	61,02	61,02
Потеря мощности ретранслятора (дБ)	3,0	3,0	6,0
Потеря при распространении (дБ)	205,5	205,5	205,5
Запас на дождь (дБ)	3,0	3,0	3,0
$G/T$ пользовательского терминала (дБ/К)	11,19	11,19	11,19
Значение $C/N_0$ на приеме (дБГц)	89,31	89,31	86,31
Требуемое значение $E_b/(N_0+I_0)$ (дБ)	3,2	6,9	9,4
Выигрыш от активации данных	2,5	2,5	2,5
Пропускная способность канала, ограниченного по мощности (Мбит/с)	1 020,3	435,25	122,68
Ширина полосы ретранслятора (МГц)	36,0	36,0	36,0
Эффективность использования спектра (бит/с/Гц)	0,71	1,31	1,97
Коэффициент повторного использования частоты	7	7	7
Количество сфокусированных лучей	14	14	14
Пропускная способность канала, ограниченного по ширине полосы (Мбит/с)	51,12	94,32	141,84
Результирующая пропускная способность канала (Мбит/с)	51,12	94,32	122,68

В таблице 22 пропускная способность канала, ограниченного по мощности, и пропускная способность канала, ограниченного по ширине полосы, рассчитываются на основе уравнений (3) и (4), соответственно.

Пропускная способность канала в случае CDMA в таблице 21 (случай 4) рассчитывается в соответствии с методикой, показанной в таблице 23. Базовые параметры взяты из таблицы 21. В таблице 23 пропускная способность канала рассчитывается на основе уравнения (8). Следует отметить, что в данном анализе исходят из идеального единообразного распределения трафика по сфокусированным лучам.

ТАБЛИЦА 23

**Расчет пропускной способности канала в случае CDMA**

Параметры	Случай 4
Скорость передачи информации, $r_1$ (кбит/с)	64
Ширина полосы шума для вторичной модуляции, $b_2$ (МГц)	25,71
Усиление при расширении спектра, $G_p$	401,79
э.и.и.м. насыщения спутника (дБВт)	61,02
Потеря мощности ретранслятора (дБ)	3,0
Потери при распространении (дБ)	205,5
Запас на дождь (дБ)	3,0
$G/T$ терминала пользователя (дБ/К)	11,9
Количество сфокусированных лучей	14
Значение $C/N_0$ на приеме (системы в целом) (дБГц)	89,31
Значение $C/N_0$ на приеме (на сфокусированный луч) (дБГц)	77,84
Достижимое значение $C/N$ для ширины полосы $b_2$ (на сфокусированный луч) (дБ)	3,74
Требуемое значение $E_b/(N_0+I_0)$ (дБ)	3,2
Отношение вклада помехи от соседних сфокусированных лучей к помехе того же сфокусированного луча, $\beta$	0,75
$C(1+\beta)/N+1$	5,2
Выигрыш от активации данных, $\alpha$	2,5
Пропускная способность канала (на сфокусированный луч) (Мбит/с)	14,16
Пропускная способность канала (системы в целом) (Мбит/с)	198,3

**5 Резюме**

Из расчетов, приведенных в таблицах 22 и 23, видно, что пропускная способность канала в случае CDMA (случай 4) является самой большой в системе ФСС при данном наборе параметров. Этот результат получен по следующим причинам:

- Большинство систем ФСС работает в условиях ограничения мощности. В таких ситуациях использование CDMA не обеспечивает более высокого значения пропускной способности системы, чем случаи FDMA. Однако по мере создания спутниковых систем с большим количеством узких сфокусированных лучей, создаются условия с ограничением по ширине полосы.

- В применяемой в данном случае схеме сегментации частот (см. рис. 13 и 14) использование частот, которые могут использоваться в соседних лучах, запрещено несмотря на размещение земной станции в сфокусированном луче, хотя и маловероятно, что используемый канал будет подвергаться одновременному воздействию помех, создаваемых множеством соседних лучей. Работа на таких частотах становится необходимой, в частности, в ситуации, когда ряд земных станций совместно используют каналы на основе запроса (например, система ФСС с большим количеством терминалов с очень малой или ультрамалой апертурой). CDMA обладает преимуществом с точки зрения гибкости в распределении каналов, поскольку сегментация частот по сфокусированным лучам не осуществляется в отличие от случаев FDMA. В результате в случае CDMA может быть эффективно использована ширина полосы.

С другой стороны, разработчики системы должны уделять достаточное внимание распределению трафика по системе ФСС, так как в данном анализе за основу берется только единообразное распределение трафика по зоне покрытия сфокусированными лучами.

Следует отметить, что результаты этого расчета можно экстраполировать на более широкие полосы частот, хотя в данном анализе в качестве примера взята ширина полосы ретранслятора 36 МГц.

Еще одно преимущество метода CDMA заключается в том, что система ФСС может работать с различными скоростями передачи информации по линии вверх. Для того чтобы разработать такую систему с конфигурацией схемы FDMA, потребовалась бы сложная процедура контроля за распределением частот с использованием ряда несущих различного размера. Оценка такой системы CDMA представляется целесообразной в качестве еще одной области исследования.

## Приложение 3

### Спутниковая система, использующая широкополосные сигналы с расширением спектра на линиях вверх для сокращения внеосевого излучения

#### 1 Общий обзор

В полосе ФСС 27,5–30 ГГц значения внеосевой плотности э.и.и.м., рекомендуемые в Рекомендации МСЭ-R S.524, являются очень жесткими по сравнению со значениями полос ФСС 12,75–13,25 ГГц/13,75–14,5 ГГц и 6 ГГц. Для того чтобы обеспечить рекомендуемые значения, в частности, когда значение  $G/T$  спутника является относительно низким, было бы целесообразно применять сигнала с расширением спектра в качестве вторичной модуляции.

#### 2 Примеры параметров системы

Примеры параметров системы приводятся в таблице 24. Скорость передачи информации составляет 1, 10 и 100 Мбит/с при использовании модуляции BPSK и свертывающего кодирования/декодирования Витерби с коэффициентом FEC, равным 1/2, стремящимся к КОБ =  $1 \times 10^{-8}$ . Значение  $G/T$  спутника составляет 10 дБ/К. Диаметр антенны равен 45 или 75 см, и применяется эталонная диаграмма направленности антенны из Дополнения III Приложения 8 к РР.

ТАБЛИЦА 24  
**Параметры системы**

Параметры	Значение
Частота передачи (ГГц)	29,25
Скорость передачи информации (Мбит/с)	1/10/100
Модуляция	BPSK
FEC	Свертывающее кодирование
Уровень FEC	1/2
Целевое значение КОБ	$10^{-8}$
Значение $G/T$ спутника (дБ/К)	10
Диаметр антенны (см)	45 см ( $D/\lambda = 43,9$ ), 75 см ( $D/\lambda = 73,1$ )
Эталонная диаграмма направленности антенны	Из Дополнения III Приложения 8 к РР ( $D/\lambda < 100$ )

Эквивалентная ширина полосы шума и требуемое значение  $C/N$  рассчитываются в соответствии с таблицей 25.

ТАБЛИЦА 25  
**Эквивалентная ширина полосы шума и требуемое значение  $C/N$**

Скорость передачи информации (Мбит/с)	Эквивалентная ширина полосы шума (МГц)	Требуемое значение $E_b/N_0$ (дБ)	Требуемое значение $C/N$ (дБ)
1	2,0	5,9	2,9
10	20,0	5,9	2,9
100	200,0	5,9	2,9

Значение  $C/N$  рассчитывается с помощью уравнения (9) с использованием параметров связи, перечисленных в таблице 26.

$$C/N = P_t - L_{feed} - L_p + G_t - L_f - L_a + G/T + 228,6 - B - \alpha. \quad (9)$$

Следует отметить, что в уравнении (9) предусматривается одинаковый уровень шума как для линии вверх, так и для других источников шума, включая уровень шума на линии вниз. Другими словами, ухудшение значения  $C/N$ , вызванное такими источниками шума, предполагается на уровне 3 дБ (см. значение  $\alpha$  в таблице 26).

ТАБЛИЦА 26

## Параметры связи

Параметры	Значение	Примечание
Потери в фидере, $L_{feed}$ (дБ)	0,5	
Ошибка при нацеливании антенны, $L_p$ (дБ)	0,2	
Усиление передающей антенны, $G_t$ (дБи)	40,6 (45 см антенна) 45,0 (75 см антенна)	Эффективность 60% Частота 29,25 ГГц
Потери при распространении, $L_f$ (дБ)	213,3	
Поглощение в атмосфере, $L_a$ (дБ)	0,4	
Значение $G/T$ спутника (дБ/К)	10	См. таблицу 24
Эквивалентная ширина полосы шума, $B$ (МГц)	–	См. таблицу 25
Ухудшение $C/N$ из-за других источников шума, $\alpha$ (дБ)	3	Включая шум нисходящей

## 3 Результаты

На основе уравнения (9) и данных, содержащихся в таблицах 25 и 26, требуемая выходная мощность усилителя большой мощности земной станции ( $P_t$ ), рассчитывается в соответствии с таблицей 27.

ТАБЛИЦА 27

Требуемая мощность на выходе (W) усилителя большой мощности земной станции,  $P_t$ 

Скорость передачи информации (Мбит/с)	Диаметр антенны	
	45 см	75 см
1	2,6	0,9
10	25,8	9,4
100	257,6	93,5

Значения внеосевой плотности э.и.и.м., рассчитанные с использованием значений, приведенных в таблице 27, и эталонной диаграммы направленности антенны, предусмотренной в Дополнении III Приложения 8 к РР, превышают значения, содержащиеся в разделе *рекомендует* Рекомендации МСЭ-R S.524. Например, при отклонении в  $5^\circ$  в случае антенны диаметром 45 см, это значение превышает рекомендуемую величину примерно на 3,3 дБ. Внеосевую плотность э.и.и.м. можно уменьшить за счет использования сигнала с расширением спектра в качестве вторичной модуляции.

Значения внеосевой плотности э.и.и.м. для каждого случая с использованием метода рассеивания и без него приведены в таблице 28, а также на рис. 20 и 21. При применении метода с расширением спектра используется коэффициент расширения, равный 4.

ТАБЛИЦА 28

Внеосевая плотность э.и.м. (дБ(Вт/40 кГц)) с сигналами  
с расширением спектра и без них

Внеосевой угол (градусы)	Значения в Рек. МСЭ-R S.524	45 см антенна		75 см антенна	
		Без расширения	С расширением	Без расширения	С расширением
2,0	11,5	13,3	7,3	11,1	5,1
3,0	7,1	10,3	4,2	6,7	0,7
4,0	3,9	7,2	1,2	3,6	-2,4
5,0	1,5	4,8	-1,2	1,2	-4,8
6,0	-0,5	2,8	-3,2	-0,8	-6,8
7,0	-2,0	1,1	-4,9	-2,4	-8,4
8,0	-2,0	-0,3	-6,3	-3,9	-9,9
9,0	-2,0	-1,6	-7,6	-5,1	-11,2
10,0	-3,0	-2,7	-8,7	-6,3	-12,3

РИСУНОК 20

Внеосевая плотность э.и.м. с использованием сигналов с расширением спектра/  
без использования расширения (45 см антенна)

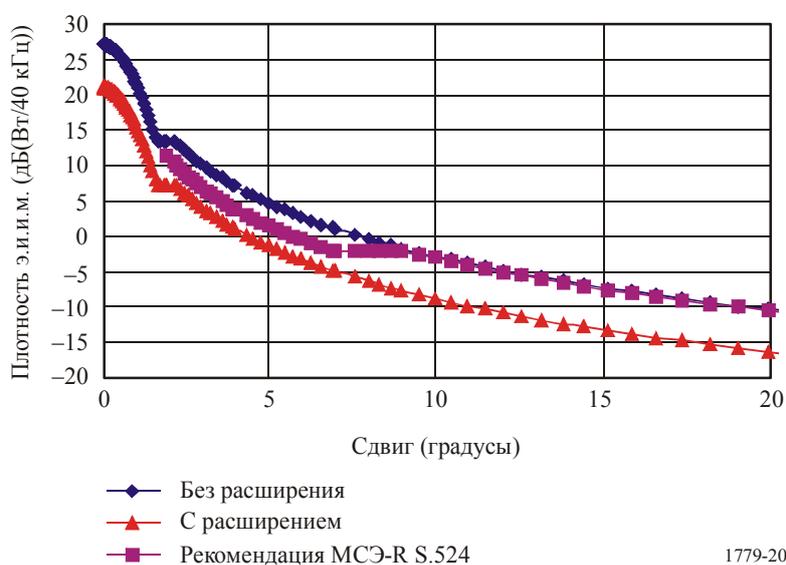
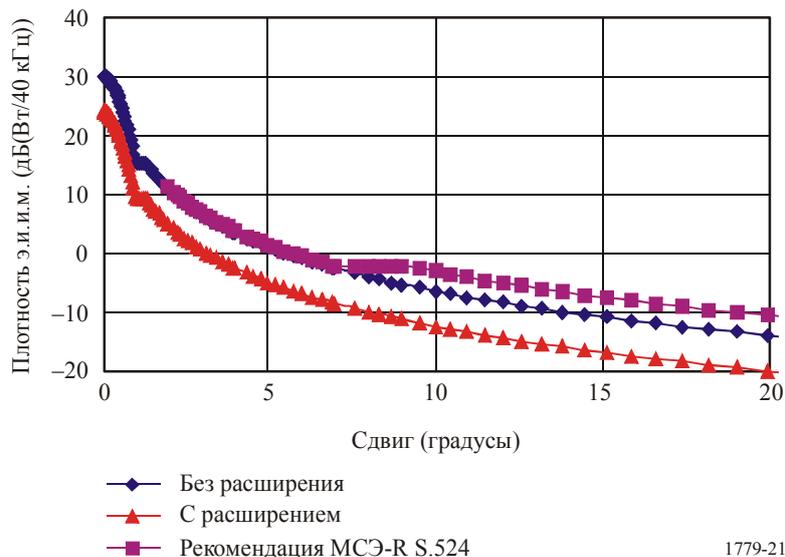


РИСУНОК 21

Внеосевая плотность э.и.и.м. с использованием сигналов с расширением спектра/  
без использования расширения (75 см антенна)



1779-21

#### 4 Резюме

В диапазоне линии вверх в 30/20 ГГц ширина полосы сигнала с расширением спектра в качестве вторичной модуляции представляется полезной для снижения уровня внеосевой плотности э.и.и.м., чтобы удовлетворить требованиям, содержащимся в соответствующих Рекомендациях МСЭ-R (например, в Рекомендации МСЭ-R S.524). Это снижение внеосевой плотности э.и.и.м. требует использования более широкой полосы. Следует отметить, что пример, который приводится в настоящей Рекомендации, не предполагает наличия нескольких несущих для передачи сигнала земной станции в той же ширине полосы, например в CDMA, однако такие эффекты следует принимать во внимание, если разработчик системы использует в применении этого типа доступ CDMA.