

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R ВО.1659-1**  
(01/2012)

**Методы снижения влияния ослабления  
в дожде для систем радиовещательной  
спутниковой службы в полосах частот  
между 17,3 ГГц и 42,5 ГГц**

**Серия ВО**  
**Спутниковое радиовещание**



## Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

### Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции 1 МСЭ-R. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

### Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
<b>ВО</b>	<b>Спутниковое радиовещание</b>
<b>BR</b>	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
<b>BS</b>	Радиовещательная служба (звуковая)
<b>BT</b>	Радиовещательная служба (телевизионная)
<b>F</b>	Фиксированная служба
<b>M</b>	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
<b>P</b>	Распространение радиоволн
<b>RA</b>	Радиоастрономия
<b>RS</b>	Системы дистанционного зондирования
<b>S</b>	Фиксированная спутниковая служба
<b>SA</b>	Космические применения и метеорология
<b>SF</b>	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
<b>SM</b>	Управление использованием спектра
<b>SNG</b>	Спутниковый сбор новостей
<b>TF</b>	Передача сигналов времени и эталонных частот
<b>V</b>	Словарь и связанные с ним вопросы

**Примечание.** – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 МСЭ-R.

Электронная публикация  
Женева, 2012 г.

© ITU 2012

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R ВО.1659-1

**Методы снижения влияния ослабления в дожде для систем радиовещательной спутниковой службы в полосах частот между 17,3 ГГц и 42,5 ГГц**

(2003-2012)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации представлены методы снижения влияния ослабления в дожде, которые должны учитываться для облегчения ввода в эксплуатацию систем РСС в полосах частот между 17,3 ГГц и 42,5 ГГц. Эти методы включают увеличение эквивалентной изотропно излучаемой мощности (э.и.и.м.), иерархическую передачу и систему радиовещания, позволяющую сохранять данные в приемнике.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что с помощью систем РСС, использующих полосы частот от 17,3 ГГц и выше, возможно предоставлять услуги широкополосного цифрового многопрограммного вещания, которые могут состоять из программ телевидения высокой четкости (ТВЧ), аудиопрограмм и передач данных (с возможностью подключения интерактивного режима);
- b) что в будущем такие системы могут также служить подходящими каналами для размещения более высокоскоростных программ, таких как изображения со сверхвысокой четкостью, в которых количество строк намного превышает этот показатель для ТВЧ, объемное телевидение и программы высокоскоростной передачи данных;
- c) что Всемирная административная радиоконференция (Женева, 1979 г.) (ВАРК-79) распределила для РСС частоты в диапазонах 42 ГГц и 84 ГГц, что Всемирная административная радиоконференция по распределению частот в определенных частях спектра (Малага-Торремолинос, 1992 г.) (ВАРК-92), распределила полосу 17,3–17,8 ГГц в Районе 2 и полосу 21,4–22,0 ГГц в Районах 1 и 3 для РСС (с вступлением в силу этих распределений с 1 апреля 2007 года), и что Всемирная конференция радиосвязи (Стамбул, 2000 г.) (ВКР-2000) произвела изменение в распределении частот для РСС с диапазона 84 ГГц на диапазон 74 ГГц;
- d) что величины поглощения в атмосфере и ослабления в дожде в полосах РСС от 17,3 ГГц и выше намного превышают аналогичные величины в диапазоне 12 ГГц, широко используемом в РСС;
- e) что ослабление при распространении может накладывать жесткие ограничения на готовность службы и/или на осуществимость системы;
- f) что в Отчете МСЭ-R ВО.2007 приводится описание технической информации для внедрения РСС в диапазоне 17/21 ГГц со ссылкой на Резолюцию 525 (ВАРК-92). В Приложениях к данному Отчету приводится следующая подробная информация:
  - возможные методы кодирования и модуляции в целях повышения готовности службы для обеспечения спутниковой трансляции цифрового ТВЧ;
  - метод адаптивного управления э.и.и.м. спутника для спутникового радиовещания в диапазоне 21 ГГц;
  - схемы эффективного кодирования и модуляции в полосе пропускания для применений широкополосного ТВЧ, поддерживаемых спутниковыми и кабельными сетями,

*рекомендует,*

**1** чтобы для облегчения внедрения систем РСС в полосах частот между 17,3 ГГц и 42,5 ГГц учитывалось использование одного из следующих методов снижения влияния ослабления в дожде или сочетания этих методов:

- увеличение э.и.и.м. (см. Приложение 1);
- иерархическая передача (см. Приложение 2);
- система радиовещания, позволяющая сохранять данные в приемнике (см. Приложение 3).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Дополнительная информация, относящаяся к ослаблению в дожде в полосах РСС между 17,3 ГГц и 42,5 ГГц, а также в нескольких перспективных полосах частот для фидерных линий между 17,3 ГГц и 30 ГГц, содержится в Дополнении 1.

## Приложение 1

### Увеличение уровня э.и.и.м.

#### **1 Концепция использования спутника с переменным уровнем э.и.и.м.**

Адаптивное управление мощностью является эффективным и простым способом повышения готовности службы в условиях затухания в дожде. Кроме того, этот метод снижает уровень помех, создаваемых другим службам в условиях ясного неба.

Система РСС в обычных условиях имеет большую зону обслуживания, которая покрывается одним лучом. Системы с переменным уровнем э.и.и.м. разделяются с учетом того, может ли уровень э.и.и.м. регулироваться на локальной основе в пределах зоны обслуживания или нет.

##### **1.1 Равномерно регулируемый уровень э.и.и.м.**

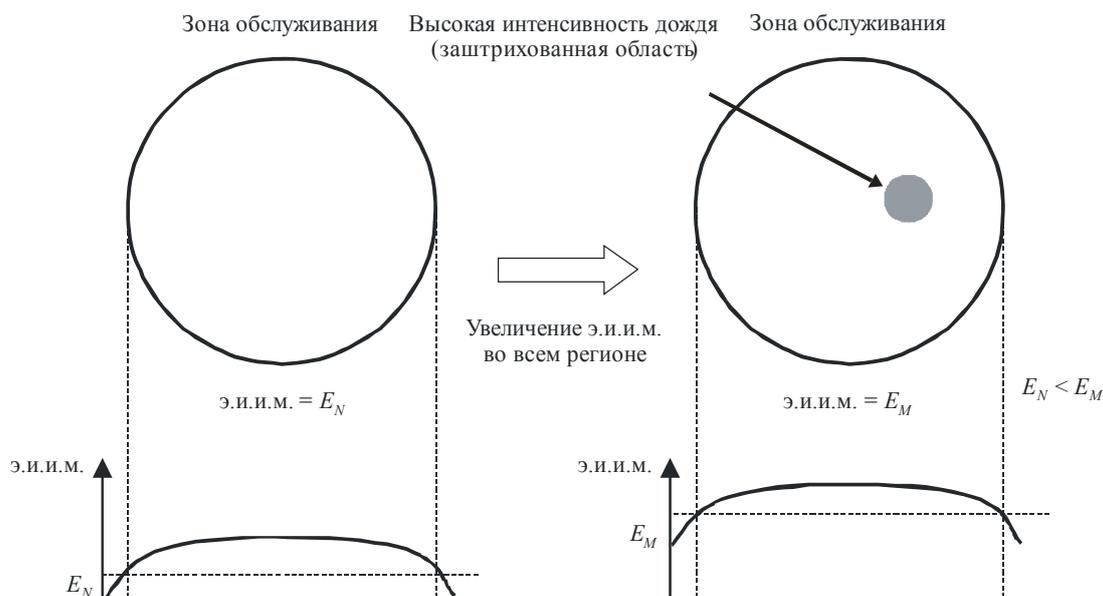
В данной системе регулируется суммарная выходная мощность луча при неизменной диаграмме направленности антенны. Уровень э.и.и.м. в пределах зоны обслуживания изменяется равномерно.

Обычно сильные дожди идут на ограниченном участке. Для компенсации ослабления сигнала в дожде на определенном участке, уровень э.и.и.м. увеличивается по всей зоне покрытия. Часть зоны обслуживания, на которой нет сильного дождя, в условиях ясного неба может получить избыточную компенсацию. Это нежелательно с точки зрения совместной работы с другими системами. В этом отношении адаптивное управление мощностью таких однолучевых систем менее эффективно, чем в случае многолучевых систем.

Поскольку одиночный луч покрывает целый регион, требуется высокая суммарная мощность излучения и частое ее увеличение. Концепция использования системы показана на рисунке 1. Для описания системы используются следующие параметры:

- уровень  $E_N$  э.и.и.м. при номинальных условиях в зоне обслуживания;
- уровень  $E_M$  э.и.и.м. при максимальном увеличении э.и.и.м. в зоне обслуживания. Уровни э.и.и.м. в определенных зонах изменяются в диапазоне от  $E_N$  до  $E_M$ .

РИСУНОК 1

**Концепция равномерно меняющегося уровня э.и.и.м.**

ВО.1659-01

В качестве альтернативы для описания системы с точки зрения проектирования спутника могут использоваться следующие параметры:

- номинальная мощность, подаваемая на вход антенны;
- максимальная мощность, подаваемая на вход антенны;
- контур коэффициента усиления антенны.

**1.2 Локально регулируемый уровень э.и.и.м.**

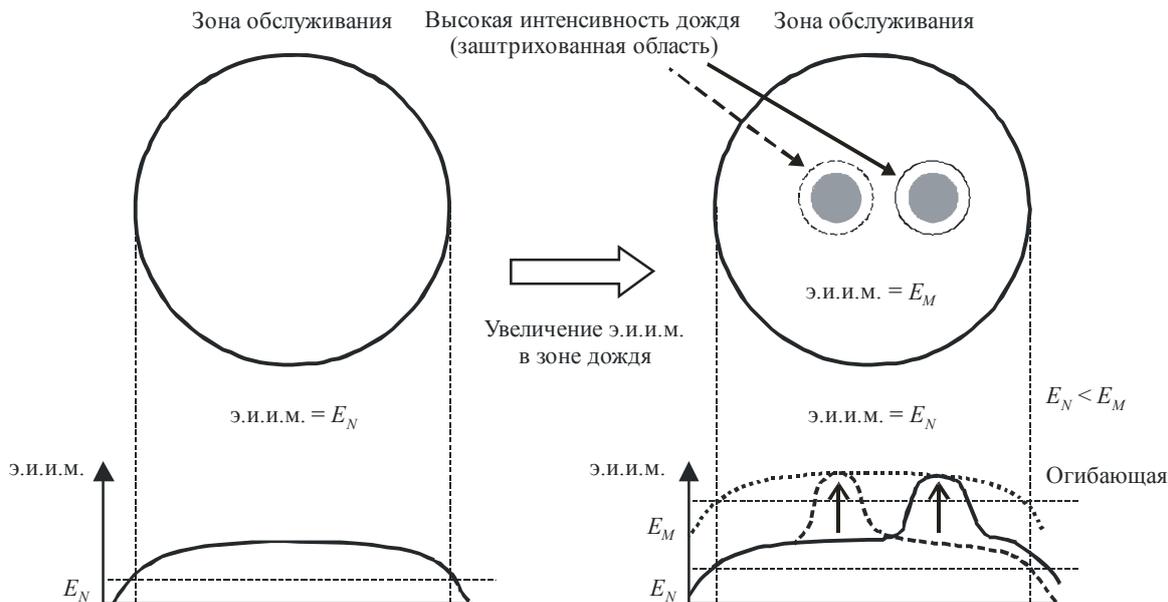
В данной системе распределение спутниковой э.и.и.м. луча регулируется локально в пределах зоны обслуживания, в соответствии с локальным распределением величины ослабления в дожде. Суммарная требуемая мощность излучения спутника должна быть снижена по сравнению с системой с равномерно регулируемым уровнем э.и.и.м. при такой же степени готовности службы, поскольку вероятность одновременного выпадения сильного дождя на большом участке зоны обслуживания считается весьма низкой. В связи с этим действует более строгий уровень ограничения побочных излучений.

В то время как для компенсации значительного ослабления в дожде может потребоваться высокий уровень э.и.и.м., размер зоны и продолжительность усиленного воздействия ограничены. Поскольку уровень э.и.и.м. может быть пониженным для участка зоны и периода времени с небольшим ослаблением в дожде, данная система имеет преимущество перед другими спутниковыми системами с фиксированным или равномерно регулируемым уровнем э.и.и.м. в плане совместной работы с другими системами.

Концепция использования системы показана на рисунке 2. Для описания системы используются следующие параметры:

- уровень  $E_N$  э.и.и.м. для зоны с номинальными условиями ( $E_N$ );
- уровень  $E_M$  э.и.и.м. для зоны с максимальным увеличением э.и.и.м. ( $E_M$ ).

РИСУНОК 2

**Концепция локально регулируемого уровня э.и.и.м**

ВО.1659-02

В качестве альтернативы для описания системы с точки зрения проектирования спутника могут использоваться следующие параметры:

- номинальная мощность, подаваемая на вход антенны;
- контур номинального коэффициента усиления антенны;
- максимальная мощность, подаваемая на вход антенны;
- примеры контура коэффициента усиления антенны с локальным увеличением мощности;
- огибающая максимального коэффициента усиления антенны с результатами всех возможных повышений уровня э.и.и.м.

## 2 Спутниковые технологии

### 2.1 Спутниковые технологии для равномерно регулируемого уровня э.и.и.м.

Данная система может быть реализована путем комбинирования зеркальной антенны с рупорным облучателем и регулируемым усилителем большой мощности (НРА). Усилитель НРА со значительно повышенной мощностью используется для увеличения уровня э.и.и.м. во всей зоне обслуживания. Влияние функции управления мощностью на к.п.д. усилителя требует изучения.

### 2.2 Спутниковые технологии для локально регулируемого уровня э.и.и.м.

Для реализации этой функции могут применяться конфигурации спутниковых антенн, приведенные в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

## Конфигурации антенн для систем с локально регулируемым уровнем э.и.и.м.

Тип антенны	Многорупорная	Фазированная антенная решетка		
		Одиночный отражатель	Двойной отражатель	Прямое излучение
Схематическая диаграмма				
Диапазон синтеза диаграммы направленности	Фиксированное положение луча	Ограниченный угол управления лучом	Больше, чем в случае одиночного отражателя	Максимальный
Пиковый коэффициент усиления	Высокий	Ниже, чем в случае двойного отражателя	Ниже, чем у многорупорной антенны	Высокий
Снижение усиления при управлении лучом	Большое	Меньше, чем у многорупорной антенны	Меньше, чем в случае одинарного отражателя	Небольшое
Количество элементов	Небольшое	Среднее	Среднее	Большое
Сложность структуры	Простая	Средняя	Сложная (с малым отражателем)	Сложная (с цепью питания)

### 2.2.1 Многорупорная антенна

В данной антенне несколько рупорных облучателей располагаются в фокальной плоскости отражателя. Каждый рупор соответствует одному из лучей, генерируемых антенной. Когда каждый луч излучается в фазе, лучи формируют единый пучок определенной формы. Система с локально регулируемым уровнем э.и.и.м. реализуется путем управления мощностью, подаваемой на отдельные рупоры.

Диапазон управления мощностью ограничен диапазоном выходной мощности соответствующего усилителя НРА. Влияние управления мощностью на к.п.д. усилителя требует дополнительного изучения. Поскольку расположение лучей фиксировано, диапазон синтеза возможной диаграммы направленности меньше, чем у фазированных антенных решеток.

### 2.2.2 Фазированные антенные решетки

Применение фазированных антенных решеток позволяет получить больший диапазон синтеза диаграммы направленности по сравнению с многорупорной антенной. С точки зрения диапазона синтеза возможной диаграммы направленности наиболее эффективно использование фазированной антенной решетки прямого излучения. С другой стороны, сложность конструкции может снизить применимость таких антенн в бортовых системах.

В отличие от многорупорной антенны, большое количество излучающих элементов способствуют управлению мощностью в небольшой зоне. Минимальный диаметр зоны повышенной интенсивности определяется диаметром апертуры антенны. Рабочие характеристики и возможность реализации каждой конфигурации должны быть изучены дополнительно.

### 2.2.3 Конкретный пример синтеза диаграммы направленности антенны с локальным увеличением мощности

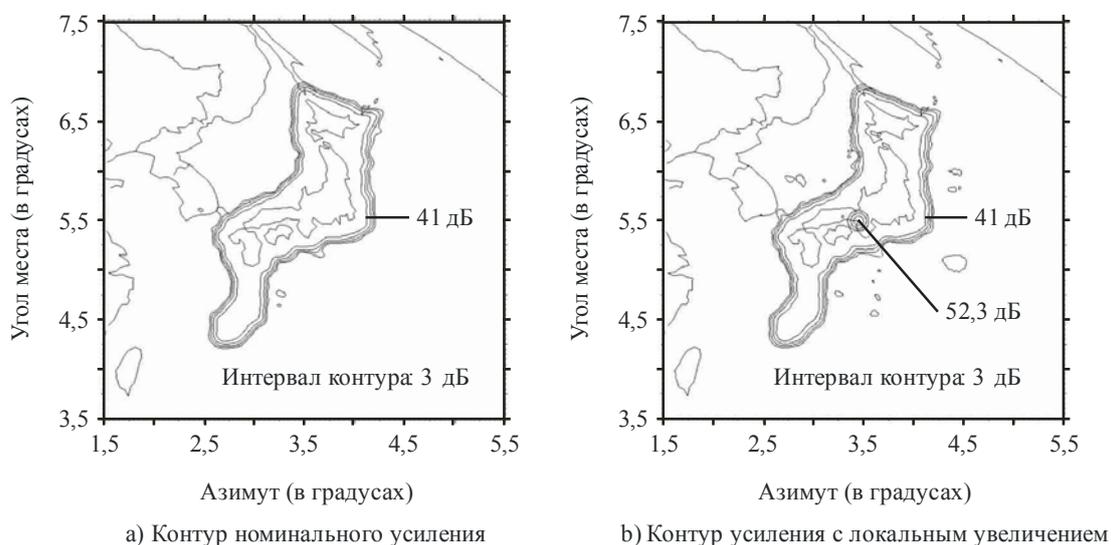
Для иллюстрации осуществимости спутника с локально регулируемым уровнем э.и.и.м. приводится пример синтеза антенны. Параметры указаны ниже:

- конфигурация антенны: антенна с одиночным отражателем, питаемая от решетки облучателей;
- диаметр апертуры антенны: 10 м;
- частота: 21,7 ГГц;
- количество излучателей: 227;
- интервал между излучателями: 1,5 длины волны.

Результаты расчета контуров усиления антенны приведены на рисунке 3. Рисунок слева показывает диаграмму излучения при номинальных условиях. За счет использования преимущества антенны с большой апертурой и технологии фазированной антенной решетки можно получить диаграмму излучения с большим плоским участком характеристики усиления. Рисунок справа является примером диаграммы излучения с локальным увеличением усиления. Пиковое усиление возрастает более чем на 10 дБ от номинального значения. В результате локального увеличения мощности показатели усиления на других участках зоны слегка снижаются.

РИСУНОК 3

#### Пример синтеза диаграммы направленности (моделирование)



ВО.1659-03

Параметры антенны, такие как диаметр и количество излучателей, должны определяться на основании таких параметров системы, как размер и форма зоны обслуживания, минимальная и максимальная площадь зоны, в которой необходима компенсация, требуемый уровень увеличения мощности, а также возможность реализации в виде бортового оборудования и стоимость.

### 2.3 Технологии усилителей большой мощности (НРА)

В усилителях НРА спутников могут применяться лампы бегущей волны (ЛБВ) и твердотельные усилители мощности (SSPA). В диапазоне 17/21 ГГц общий к.п.д. обычной ЛБВ с выходной мощностью около 100 Вт превышает 60%. С другой стороны, усилители SSPA уступают ЛБВ по выходной мощности и к.п.д. Были проведены исследования возможности применения мини-ЛБВ в активных антенных решетках спутников с локально регулируемым уровнем э.и.и.м., при этом размеры поперечного сечения мини-ЛБВ меньше, чем у обычных ламп. Сравнение показано в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

## Примеры усилителей НРА для спутниковых систем в диапазоне 17/21 ГГц

Тип усилителя НРА	Усилитель SSPA (с блоком питания)	ЛБВ	
		Обычная ЛБВ	Мини-ЛБВ
Выходная мощность (Вт)	6	120	10
к.п.д. (%)	<10	62	50
Размеры (мм)	326 × 327 × 36	85 × 63 × 325	15 × 20 × 300
Масса (кг)	4,6	0,9	0,3

## Приложение 2

## Иерархическая передача

## 1 Концепция иерархической передачи

Две или более схемы модуляции с различными требованиями к отношению  $C/N$  мультиплексируются с временным разделением для формирования сигнала иерархической передачи. Основная информация, такая как видео- и аудиосигналы минимального качества, передается потоком данных с низкой скоростью, с использованием устойчивой схемы модуляции/канального кодирования с низкими требованиями к отношению  $C/N$ . В свою очередь, часть сигнала с высокой скоростью передачи данных, например для ТВЧ или 5.1-канального объемного звука, передается с помощью более эффективной схемы модуляции с более высокими требованиями к отношению  $C/N$ . Приемник выбирает нужный поток данных на основании фактической величины отношения  $C/N$  при приеме. Таким образом, иерархическая передача может быть использована для реализации ступенчатого снижения качества в цифровой системе, которая снижает качество изображения постепенно в соответствии с уменьшением отношения  $C/N$  принимаемого сигнала.

В полосах частот РСС от 17,3 ГГц и выше величина ослабления в дожде существенно выше, чем в диапазоне 12 ГГц. Применение иерархической передачи позволяет уменьшить случаи прерывания предоставления услуг, связанные с ослаблением в дожде. Подробная информация по иерархической передаче приведена в Приложении 1 к Отчету МСЭ-R ВО.2007.

Схема иерархической передачи может быть интегрирована с другими технологиями. Например, различные типы услуг, такие как радиовещание не в реальном времени, позволяющее сохранять данные в приемнике, описанное в Приложении 3, и обычное радиовещание в реальном времени, могут транслироваться одновременно с использованием схемы иерархической передачи. В данной схеме сигналы с многоуровневой модуляцией (BPSK, QPSK и 8-PSK) могут быть мультиплексированы с разделением во времени.

Схема иерархической передачи может быть также интегрирована с технологией масштабируемого видеокодирования (SVC). Технология SVC генерирует масштабируемый элементарный видеопоток, состоящий из базового и расширенного уровней. Кодированные с масштабированием видеоданные обрабатываются схемой переменного кодирования и модуляции (VCM). В схеме VCM данные невысокого качества (базовый уровень) могут передаваться с помощью более помехоустойчивой схемы модуляции, чем данные высокого качества (расширенный уровень). Таким образом, в условиях ясного неба могут приниматься оба уровня – базовый и расширенный, и это обеспечивает предоставление видеослужб высокой четкости. И напротив, в условиях ослабления в дожде, может приниматься только базовый уровень, и это обеспечивает предоставление видеослужб невысокого качества.

## 2 Пример иерархической передачи

### 2.1 Иерархическая передача на основе схемы модуляции

Пример иерархической передачи приведен в Рекомендации МСЭ-R ВО.1516 – Цифровые многопрограммные телевизионные системы, предназначенные для использования спутниками, работающими в диапазоне частот 11/12 ГГц. В системе D несколько передающих сигналов, модулированных при помощи схем BPSK, QPSK и 8-PSK с решетчатым кодированием (TC8-PSK), могут быть мультиплексированы с разделением во времени. В данной системе разница в 8,2 дБ в требуемом отношении  $C/N$  между BPSK 1/2 и TC8-PSK считается максимальным выигрышем от применения иерархической передачи.

### 2.2 Иерархическая передача на основе технологии масштабируемого видеокодирования

На рисунке 4 показана концепция работы иерархических спутниковых радиовещательных служб высокой четкости, использующих диапазон частот 21 ГГц. Масштабируемые кодированные видеоданные передаются при помощи схемы VCM. Например, данные невысокого качества модулируются с помощью схемы QPSK, тогда как данные высокого качества – с помощью схемы 8-PSK. Вследствие этого готовность линии может быть улучшена. Данная служба с возможностью выбора качества может быть реализована с помощью многоуровневого представления как на уровне источника медийных данных, так и на уровне передачи.

РИСУНОК 4

Иерархическая передача на основе технологии SVC



## Приложение 3

### Система радиовещания, позволяющая сохранять данные в приемнике

#### 1 Концепция работы радиовещательной системы не в реальном времени, позволяющая сохранять данные в приемнике

В результате увеличения емкости и снижения стоимости устройств хранения данных, таких как жесткие диски, на рынке начали появляться приемники со встроенными накопителями. Ряд проведенных исследований позволил оценить преимущество функций хранения данных для радиовещательных служб.

С точки зрения статистики, продолжительность времени выпадения сильного дождя, достаточного для того, чтобы вызвать прерывание сигнала, за день невелика. С помощью определенных методов можно передавать программы заранее и хранить их в приемнике во избежание прерывания услуги в процессе трансляции.

Хранение данных при приеме предполагает неизбежность длительной задержки передачи. Задержка зависит от применяемой схемы и возможности избежать прерываний сигнала. Программы в реальном времени, такие как прямые программы новостей, не подходят для хранения в приемных системах.

Необходимо дополнительное изучение готовности службы радиовещания не в реальном времени.

#### 2 Примеры методов

##### 2.1 Повторяющаяся передача

Примером схем передачи РСС, использующих хранение данных для улучшения готовности службы, является повторяющаяся передача, в которой программы передаются с повтором, и, таким образом, в накопителе сохраняются неповрежденные данные, и ликвидируются последствия прерываний в линии связи из-за ослабления в дожде.

Поскольку в условиях ясного неба возможно получение высокого уровня отношения  $C/N$ , снижение эффективности, связанное с применением повторяющейся передачи, может быть компенсировано применением схем модуляций с высокоэффективным использованием частот, например 16-позиционная квадратурная амплитудная модуляция (16-QAM). Параметры системы, такие как необходимое количество повторений, продолжительность интервала и схема модуляции будут изучаться дополнительно.

##### 2.2 Чередование данных длинными блоками

Чередование данных с интервалами большой длины может быть использовано для противодействия прерываниям принимаемого сигнала, которые могут происходить в течение относительно коротких промежутков времени в пределах интервала.

Программные данные распределяются (т. е. чередуются) на протяжении длинного интервала передачи на передающей стороне. Сначала приемник сохраняет переданный сигнал в накопителе, а затем использует его для восстановления (т. е. для процедуры, обратной чередованию) исходной программы. Даже если часть переданных данных потеряна в результате ослабления в дожде, содержимое программы может быть восстановлено с помощью кода коррекции ошибок, поскольку потерянные непрерывные данные распределяются в приемнике с помощью процедуры, обратной чередованию.

Параметры системы, такие как необходимая длина чередования и схема модуляции, будут изучаться дополнительно.

##### 2.2.1 Пример системы с чередованием данных длинными блоками

Для демонстрации работоспособности схемы чередования данных длинными блоками было проведено моделирование этой схемы на основе данных измерения ослабления в дожде, собранных в течение года. Схематическая диаграмма модели показана на рисунке 5. В правой части диаграммы

представлена обычная цифровая система РСС с коррекцией ошибок, выполняемой внешним кодом 1 и внутренним кодом. Левая часть диаграммы представляет собой дополнительный блок чередования данных длинными блоками, который состоит из накопителя и связанных с ним кодера и декодера коррекции ошибок (внешний код 2). Ниже приведены предполагаемые параметры модели:

- местоположение приемника: Токио (климатическая зона К);
- используются данные ослабления в дожде, измеренные с мая 2000 года по апрель 2001 года в диапазоне 12 ГГц и преобразованные в данные для диапазона 21 ГГц с помощью формулы масштабирования частоты, приведенной в Рекомендации МСЭ-R P.618;
- модуляция: TC8-PSK;
- уровень п.п.м. спутника:  $-114,0 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))}$ .

Эффективность системы чередования данных длинными блоками оценивалась исходя из увеличения э.и.и.м., определяемой как э.и.и.м. обычной РСС без чередования данных длинными блоками, при этом та же степень готовности службы достигалась с помощью схемы моделирования чередования данных длинными блоками.

Увеличение уровня э.и.и.м. в функции периода чередования показано на рисунке 6, при этом способность внешнего кода 2 к коррекции ошибок устанавливается на 20% или 40%. Уровень э.и.и.м. увеличивается с увеличением периода чередования, как это было бы при возрастании емкости накопителя и задержки передачи данных. Чем выше способность внешнего кода 2 к коррекции ошибок, тем больше увеличивается уровень э.и.и.м., при этом скоростью передачи информации приходится жертвовать. К примеру, при значении способности коррекции ошибок в 20%, увеличение периода чередования с 1 часа до 12 или 24 часов эквивалентно увеличению уровня э.и.и.м. до 2,4 или 6,2 дБ соответственно.

РИСУНОК 5

## Схематическая диаграмма моделирования

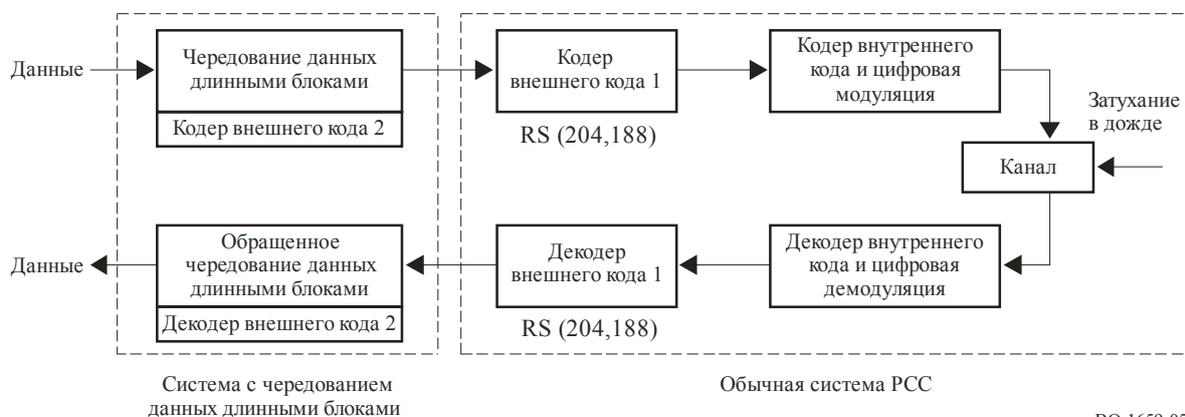
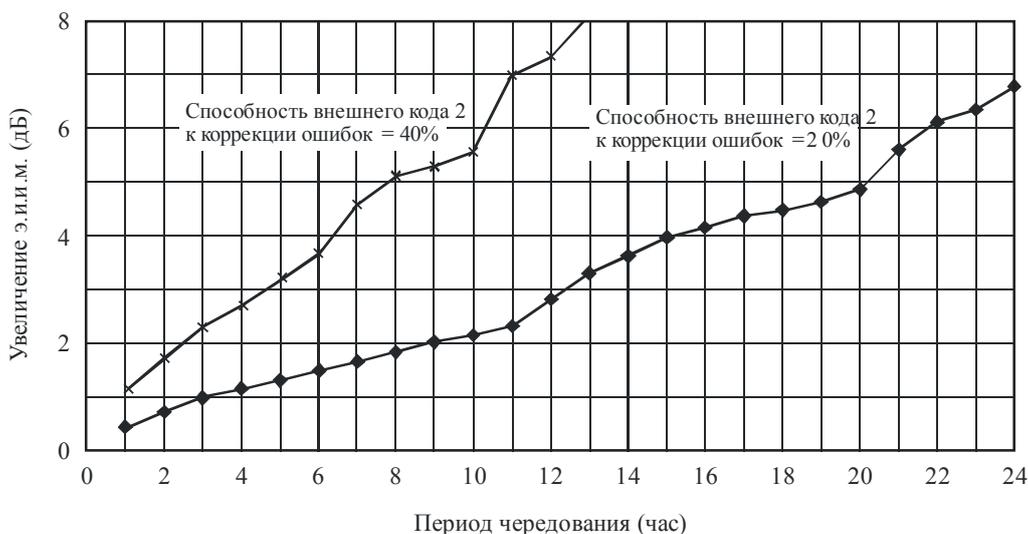


РИСУНОК 6

Пример характеристик системы с чередованием данных длинными блоками в зависимости от увеличения уровня эквивалентной п.п.м. (моделирование)



ВО.1659-06

Это моделирование основано на данных, измеренных в течение одного года в каком-то конкретном местоположении. Если данные были получены для другого местоположения, другого уровня п.п.м. спутника или более длительного периода времени, то результаты опыта могут различаться. Следует тщательно выбирать параметры в зависимости от требований системы.

### Дополнение 1 к Приложению 3

#### Ослабление в дожде и поглощение в атмосферных газах в полосах частот РСС между 17,3 ГГц и 42,5 ГГц и в некоторых относящихся к ним фидерных линиях

##### 1 Введение

Важной характеристикой полос частот РСС между 17,3 ГГц и 42,5 ГГц являются более высокие потери при распространении по сравнению с диапазоном 12 ГГц. Критическим фактором как для ослабления в дожде, так и для атмосферного поглощения в этих высокочастотных полосах, является угол места. Существует возможность выбора правильных методов снижения влияния указанных факторов в зависимости от того, какие потери при распространении должны быть нейтрализованы. В данном Дополнении приведено предварительное сравнение потерь при распространении в зависимости от частоты вещания и местоположения земных станций.

Города, упомянутые в таблицах Дополнения 1 к Приложению 3, выбраны исключительно в качестве примеров.

## 2 Параметры для расчета

В расчете используются следующие Рекомендации:

- высота приемной станции над уровнем моря: Рекомендация МСЭ-Р Р.1511 (база данных);
- среднегодовая температура у поверхности: Рекомендация МСЭ-Р Р.1510 (база данных);
- плотность паров воды над поверхностью (1% года): Рекомендация МСЭ-Р Р.836 (база данных);
- модель ослабления в атмосферных газах: Рекомендация МСЭ-Р Р.676;
- ослабление в облаках: Рекомендация МСЭ-Р Р.840;
- модель интенсивности дождя: Рекомендация МСЭ-Р Р.837 (база данных);
- погонное ослабление: Рекомендация МСЭ-Р Р.838;
- модель высоты дождя: Рекомендация МСЭ-Р Р.839 (база данных);
- модель ослабления в дожде: Рекомендация МСЭ-Р Р.618;
- орбитальная позиция спутника: Предполагается совпадающей с позициями в Планах РСС для диапазона 12 ГГц РСС для Районов 1, 2 и 3 (см. Приложение 30 к Регламенту радиосвязи).

## 3 Ослабление в дожде и поглощение в газах в полосах частот для линий вниз РСС

Проводилось сравнение величин ослабления в дожде и поглощения в газах в некоторых полосах частот с величинами в диапазоне 12 ГГц для нескольких городов в Районах 1, 2 и 3.

Водяные пары атмосферы и кислород вызывают поглощение, при этом плотность водяных паров не постоянна в течение года. В данном исследовании для расчета поглощения в газах использовались значения, превышаемые для 1% года, полученные из базы данных МСЭ.

Как показано в таблицах 3 и 4, поглощение в газах на частоте 21,7 ГГц изменяется в диапазоне от 1,2 до 2,0 дБ по сравнению примерно с 0,2 дБ на частоте 12,0 ГГц. Ослабление в дожде на частоте 21,7 ГГц примерно в 4 раза выше, чем на частоте 12,0 ГГц, в децибелах.

ТАБЛИЦА 3

## Поглощение в атмосферных газах и ослабление в дожде в некоторых городах Района 1

		Москва		Лондон		Париж		Стамбул	
Долгота/широта (в градусах)		37,6E/55,8N		0,1E/51,5N		2,3E/48,9N		29,0E/41,0N	
Орбитальная позиция спутника (в градусах)		36,0E		33,5W		7,0W		42,0E	
Угол места (в градусах)		26,5		23,2		33,2		40,7	
$R_{0,01}$ (мм/ч)		31,7		30,8		34,0		38,8	
	Процент годового времени	12,0 ГГц	21,7 ГГц	12,0 ГГц	21,7 ГГц	12,0 ГГц	21,7 ГГц	12,0 ГГц	21,7 ГГц
Поглощение в атмосфере	–	0,2 дБ	2,0 дБ	0,2 дБ	2,0 дБ	0,2 дБ	1,6 дБ	0,1 дБ	1,5 дБ
Ослабление в дожде	0,3%	1,0 дБ	3,4 дБ	1,0 дБ	3,4 дБ	0,9 дБ	3,1 дБ	1,0 дБ	3,5 дБ
	0,1%	1,9 дБ	6,4 дБ	1,9 дБ	6,3 дБ	1,7 дБ	5,8 дБ	1,9 дБ	6,5 дБ

ТАБЛИЦА 4

## Поглощение в атмосферных газах и ослабление в дожде в некоторых городах Района 3

		Токио		Куала-Лумпур		Сеул		Бангкок	
Долгота/широта (в градусах)		139,8E/35,7N		101,7E/3,2N		127E/37,6N		100,5E/13,8N	
Орбитальная позиция спутника (в градусах)		110,0E		91,5E		116,0E		98,0E	
Угол места (в градусах)		38,0		77,4		44,9		73,5	
$R_{0,01}$ (мм/ч)		48,0		93,9		50,6		86,7	
	Процент годового времени	12,0 ГГц	21,7 ГГц	12,0 ГГц	21,7 ГГц	12,0 ГГц	21,7 ГГц	12,0 ГГц	21,7 ГГц
Поглощение в атмосфере	–	0,2 дБ	1,9 дБ	0,1 дБ	1,2 дБ	0,2 дБ	1,8 дБ	0,1 дБ	1,4 дБ
Ослабление в дожде	0,3%	1,5 дБ	5,5 дБ	3,7 дБ	14,7 дБ	1,4 дБ	5,2 дБ	3,0 дБ	12,2 дБ
	0,1%	2,8 дБ	10,0 дБ	6,6 дБ	24,7 дБ	2,7 дБ	9,4 дБ	5,5 дБ	20,9 дБ

В таблице 5 потери при распространении на частоте 17,5 ГГц сравниваются с потерями на частоте 12,5 ГГц для городов Района 2. Значения ослабления в дожде на частоте 17,5 ГГц, измеряемые в децибелах, в некоторых случаях в 2,5 раза превышали соответствующие значения на частоте 12,5 ГГц.

ТАБЛИЦА 5  
Поглощение в атмосферных газах и ослабление в дожде  
в некоторых городах Района 2

		Майами		Рио-де-Жанейро	
Долгота/широта (в градусах)		80,2W/25,8N		43,2W/22,9S	
Угол места (в градусах)		51,8		63,1	
Орбитальная позиция спутника (в градусах)		101,2W		45,2W	
$R_{0,01}$ (мм/ч)		89,1		56,5	
	Процент годового времени	12,5 ГГц	17,5 ГГц	12,5 ГГц	17,5 ГГц
Поглощение в атмосфере	–	0,1 дБ	0,4 дБ	0,1 дБ	0,3 дБ
Ослабление в дожде	0,3%	2,7 дБ	5,8 дБ	2,0 дБ	4,4 дБ
	0,1%	4,9 дБ	10,4 дБ	3,7 дБ	7,9 дБ

Величины ослабления в дожде в диапазоне 12 ГГц и диапазонах 17/21 ГГц были рассчитаны для городов-столиц всех стран – членом МСЭ для 0,1% и 0,3% времени среднего года. Результаты показаны на рисунках 7, 8 и 9 в виде гистограмм для каждого Района. По сравнению с Районом 1, величины ослабления в дожде в городах-столицах Района 3 на частоте 21,7 ГГц распределены в более широком диапазоне.

Полоса частот 40,5–42,5 ГГц распределена службе РСС во всех трех Районах. Величины поглощения в атмосфере и ослабления в дожде на частоте 41,5 ГГц приведены в таблицах 6, 7 и 8. Величина ослабления в дожде в диапазоне 42 ГГц существенно выше, чем в диапазоне 17/21 ГГц.

РИСУНОК 7а

Ослабление в дожде для 0,1% года в столицах стран Района 1 на частоте 12 ГГц

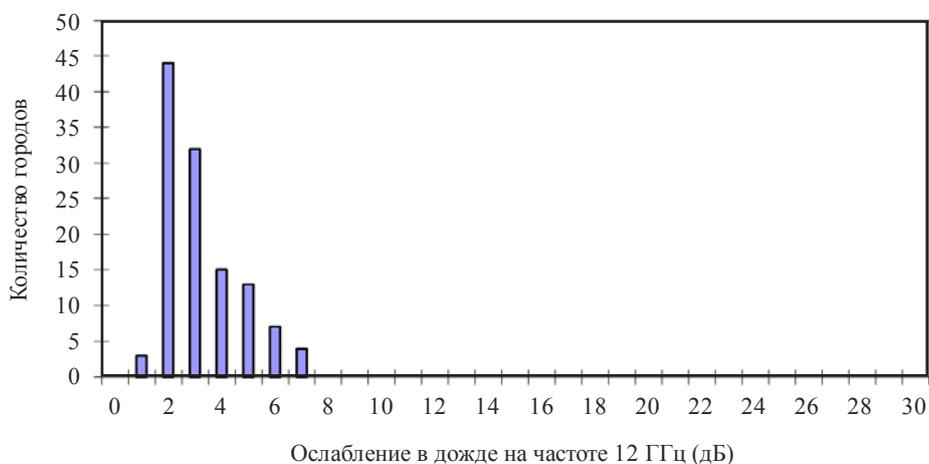
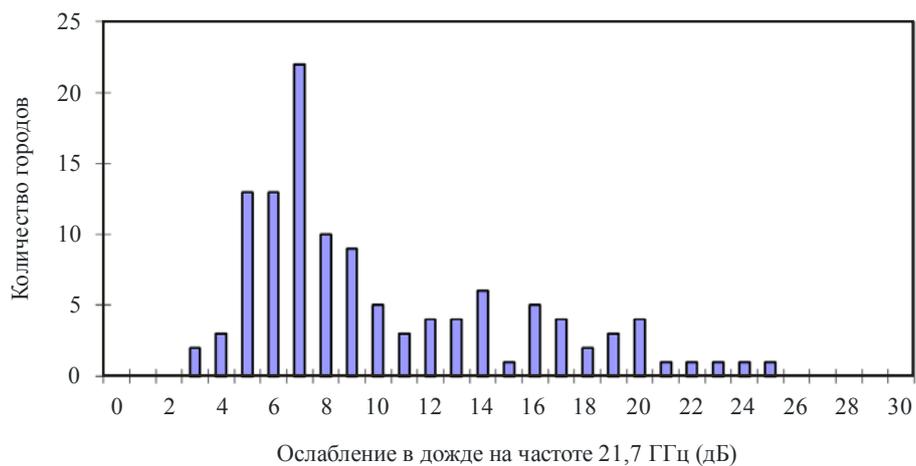
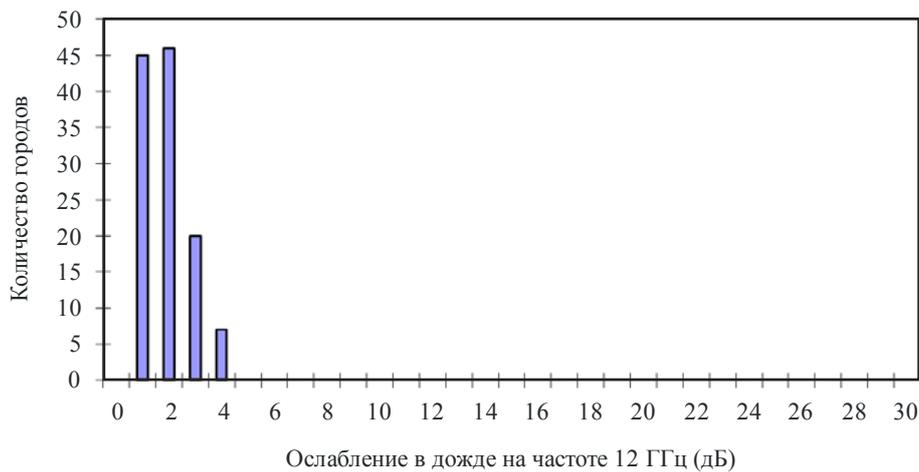


РИСУНОК 7б

**Ослабление в дожде для 0,1% года в столицах стран Района 1 на частоте 21,7 ГГц**

ВО.1659-07б

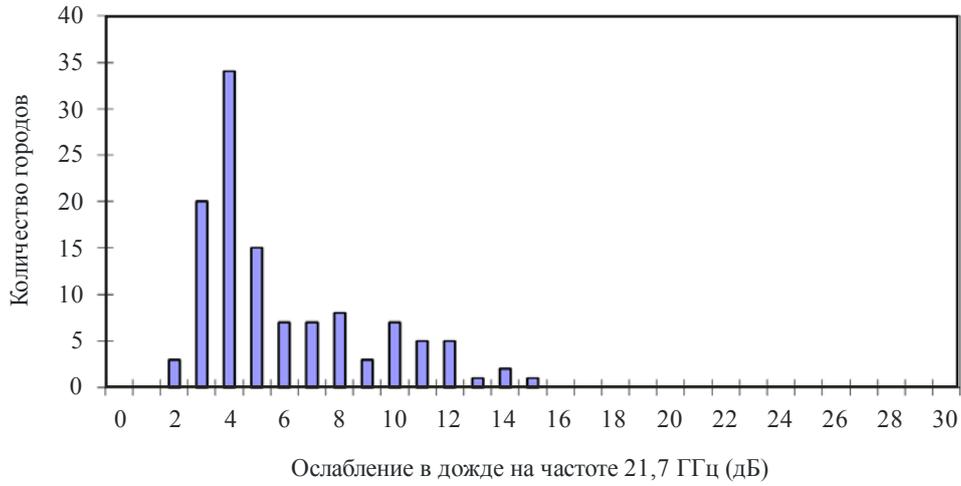
РИСУНОК 7с

**Ослабление в дожде для 0,3% года в столицах стран Района 1 на частоте 12 ГГц**

ВО.1659-07с

РИСУНОК 7d

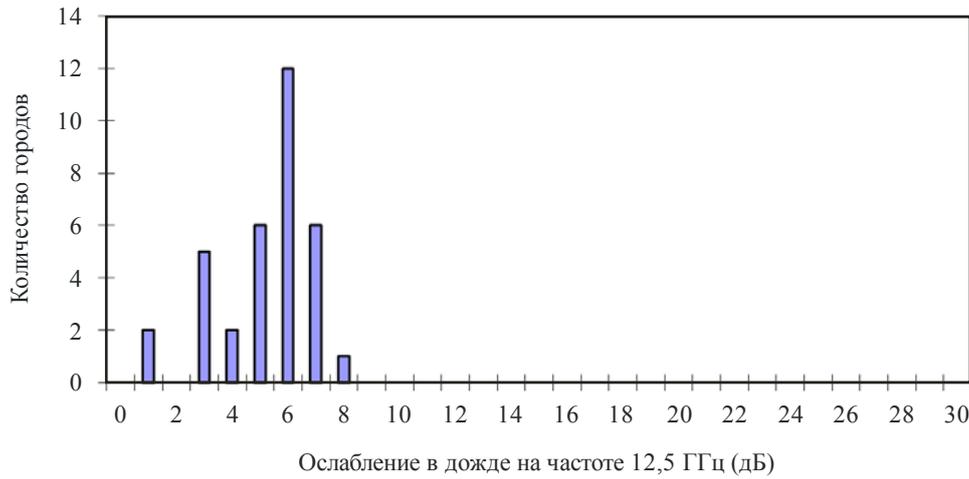
Ослабление в дожде для 0,3% года в столицах стран Района 1 на частоте 21,7 ГГц



ВО.1659-07d

РИСУНОК 8a

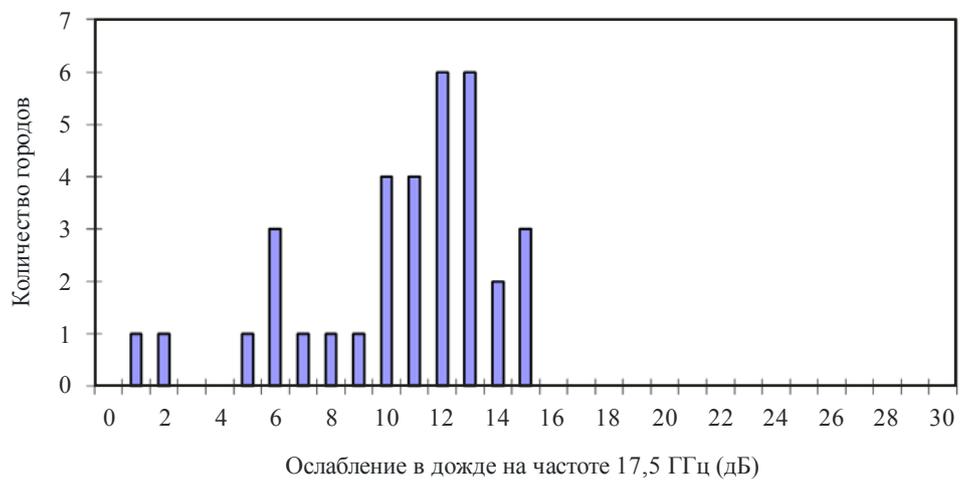
Ослабление в дожде для 0,1% года в столицах стран Района 2 на частоте 12,5 ГГц



ВО.1659-08a

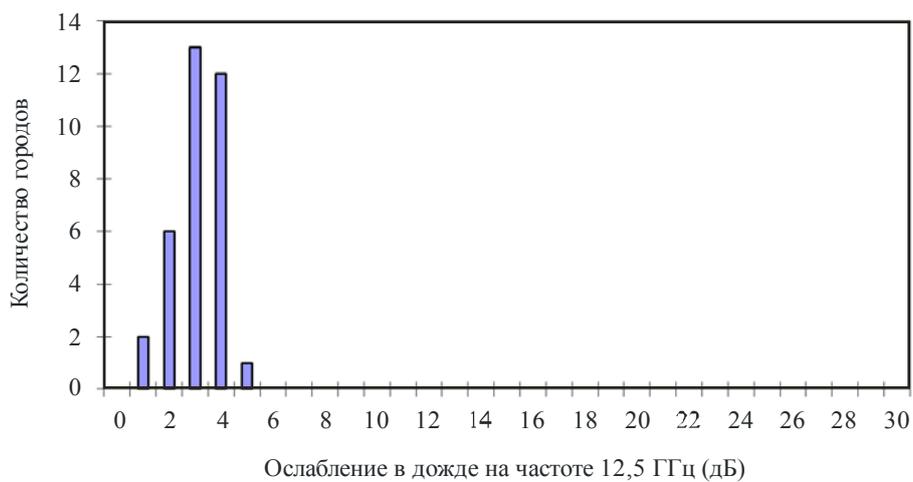
РИСУНОК 8b

Ослабление в дожде для 0,1% года в столицах стран Района 2 на частоте 17,5 ГГц



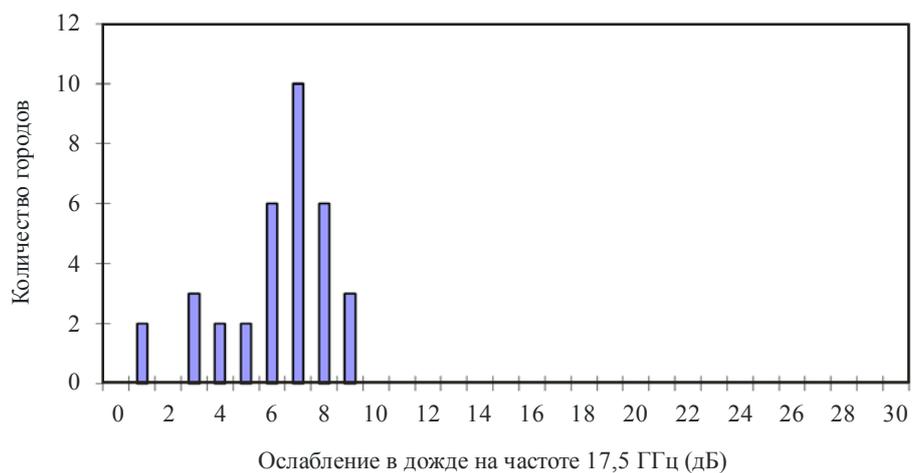
ВО.1659-08b

РИСУНОК 8с

**Ослабление в дожде для 0,3% года в столицах стран Района 2 на частоте 12,5 ГГц**

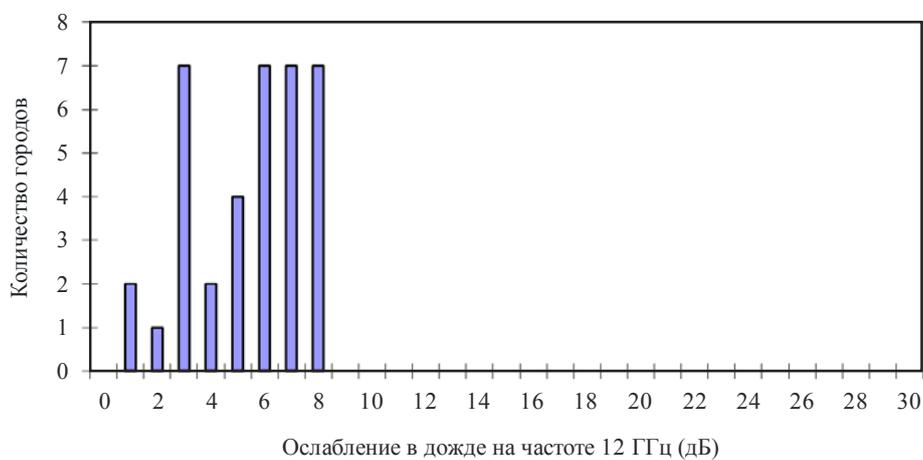
ВО.1659-08с

РИСУНОК 8d

**Ослабление в дожде для 0,3% года в столицах стран Района 2 на частоте 17,5 ГГц**

ВО.1659-08d

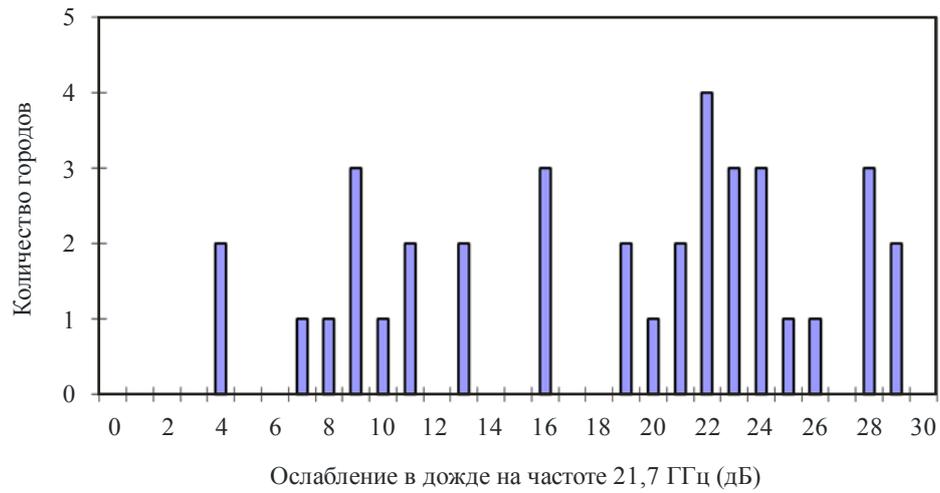
РИСУНОК 9а

**Ослабление в дожде для 0,1% года в столицах стран Района 3 на частоте 12 ГГц**

ВО.1659-09а

РИСУНОК 9б

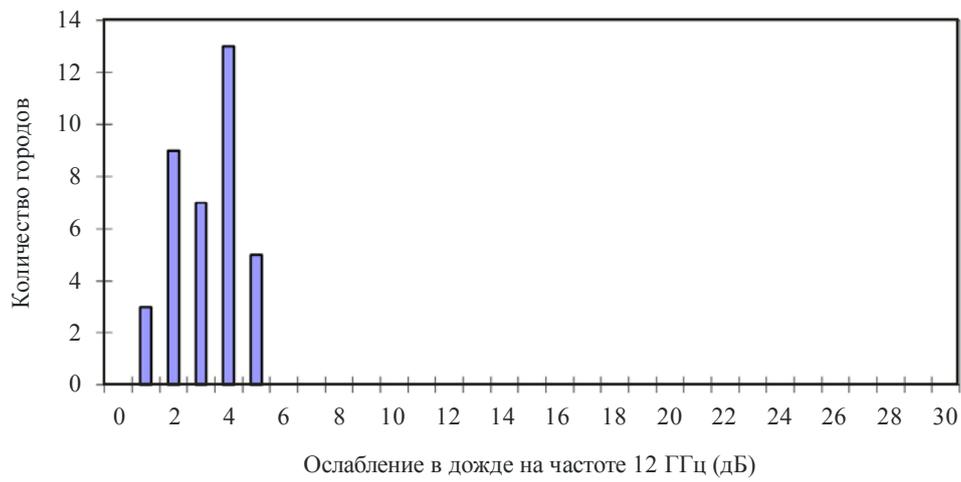
Ослабление в дожде для 0,1% года в столицах стран Района 3 на частоте 21,7 ГГц



ВО.1659-09б

РИСУНОК 9с

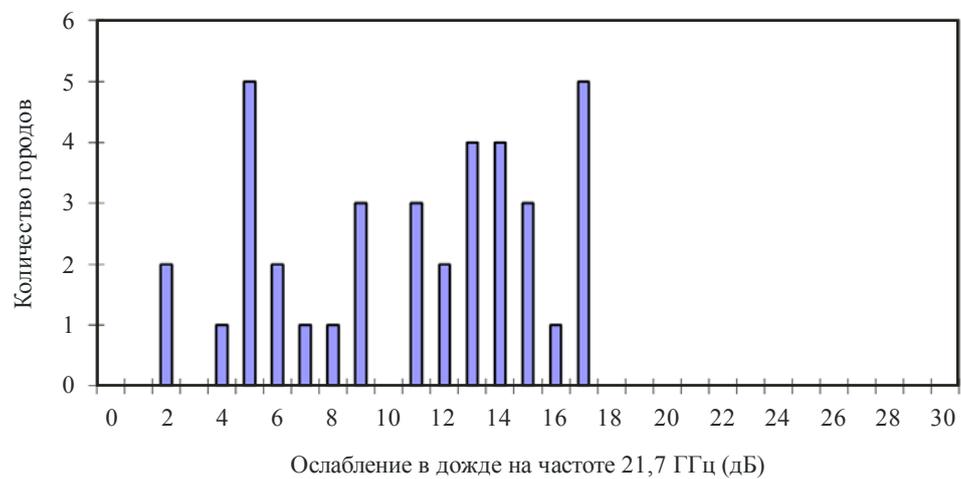
Ослабление в дожде для 0,3% года в столицах стран Района 3 на частоте 12 ГГц



ВО.1659-09с

РИСУНОК 9д

Ослабление в дожде для 0,3% года в столицах стран Района 3 на частоте 21,7 ГГц



ВО.1659-09д

ТАБЛИЦА 6

**Поглощение в атмосферных газах и ослабление в дожде  
в некоторых городах Района 1 на частоте 41,5 ГГц**

	Процент годового времени	Москва	Лондон	Париж	Стамбул
		41,5 ГГц			
Поглощение в атмосфере	–	1,7 дБ	1,7 дБ	1,3 дБ	1,2 дБ
Ослабление в дожде	3,0%	2,4 дБ	2,3 дБ	2,1 дБ	2,5 дБ
	1,0%	4,9 дБ	4,8 дБ	4,5 дБ	5,2 дБ
	0,3%	10,1 дБ	9,9 дБ	9,2 дБ	10,6 дБ
	0,1%	17,9 дБ	17,6 дБ	16,4 дБ	18,7 дБ

ТАБЛИЦА 7

**Поглощение в атмосферных газах и ослабление в дожде  
в некоторых городах Района 2 на частоте 41,5 ГГц**

	Процент годового времени	Майами	Рио-де-Жанейро
		41,5 ГГц	
Поглощение в атмосфере	–	1,1 дБ	1,0 дБ
Ослабление в дожде	3,0%	6,2 дБ	4,6 дБ
	1,0%	12,5 дБ	9,4 дБ
	0,3%	27,0 дБ	21,6 дБ
	0,1%	45,4 дБ	36,5 дБ

ТАБЛИЦА 8

**Поглощение в атмосферных газах и ослабление в дожде  
в некоторых городах Района 3 на частоте 41,5 ГГц**

	Процент годового времени	Токио	Куала-Лумпур	Сеул	Бангкок
		41,5 ГГц			
Поглощение в атмосфере	–	1,4 дБ	0,9 дБ	1,3 дБ	1,0 дБ
Ослабление в дожде	3,0%	4,0 дБ	8,0 дБ	3,8 дБ	7,6 дБ
	1,0%	8,1 дБ	15,9 дБ	7,7 дБ	15,2 дБ
	0,3%	16,3 дБ	45,2 дБ	15,5 дБ	38,1 дБ
	0,1%	28,3 дБ	72,6 дБ	26,9 дБ	62,2 дБ

#### 4 Ослабление в дожде и поглощение в газах в диапазонах частот фидерных линий РСС

Подобный расчет производился для диапазонов 18 и 28 ГГц, которые рассматриваются в качестве возможных диапазонов для фидерных линий во всех Районах, а также для диапазона 25 ГГц, рассматриваемого в качестве другого возможного диапазона для Районов 2 и 3. Результаты приведены в таблицах 9, 10 и 11.

ТАБЛИЦА 9

##### Поглощение в атмосферных газах и ослабление в дожде в некоторых городах Района 1

	Процент годового времени	Москва		Лондон	
		18,1 ГГц	27,8 ГГц	18,1 ГГц	27,8 ГГц
Поглощение в атмосфере	–	0,6 дБ	1,1 дБ	0,6 дБ	1,1 дБ
Ослабление в дожде	0,3%	2,4 дБ	5,4 дБ	2,4 дБ	5,3 дБ
	0,1%	4,5 дБ	9,8 дБ	4,5 дБ	9,7 дБ
		Париж		Стамбул	
		18,1 ГГц	27,8 ГГц	18,1 ГГц	27,8 ГГц
Поглощение в атмосфере	–	0,5 дБ	0,9 дБ	0,4 дБ	0,8 дБ
Ослабление в дожде	0,3%	2,2 дБ	4,9 дБ	2,5 дБ	5,6 дБ
	0,1%	4,1 дБ	9,0 дБ	4,6 дБ	10,2 дБ

ТАБЛИЦА 10

##### Поглощение в атмосферных газах и ослабление в дожде в некоторых городах Района 2

	Процент годового времени	Майами			Рио-де-Жанейро		
		18,1 ГГц	25,0 ГГц	27,8 ГГц	18,1 ГГц	25,0 ГГц	27,8 ГГц
Поглощение в атмосфере	–	0,5 дБ	1,1 дБ	0,8 дБ	0,4 дБ	1,0 дБ	0,7 дБ
Ослабление в дожде	0,3%	6,2 дБ	12,0 дБ	14,6 дБ	4,7 дБ	9,2 дБ	11,3 дБ
	0,1%	11,1 дБ	20,9 дБ	25,1 дБ	8,5 дБ	16,2 дБ	19,6 дБ

ТАБЛИЦА 11

**Поглощение в атмосферных газах и ослабление в дожде  
в некоторых городах Района 3**

	Процент годового времени	Токио			Куала-Лумпур		
		18,1 ГГц	25,0 ГГц	27,8 ГГц	18,1 ГГц	25,0 ГГц	27,8 ГГц
Поглощение в атмосфере	–	0,5 дБ	1,4 дБ	1,0 дБ	0,3 дБ	0,9 дБ	0,6 дБ
Ослабление в дожде	0,3%	3,8 дБ	7,2 дБ	8,7 дБ	9,9 дБ	19,6 дБ	24,0 дБ
	0,1%	7,0 дБ	12,9 дБ	15,5 дБ	17,0 дБ	32,6 дБ	39,5 дБ
		Сеул			Бангкок		
		18,1 ГГц	25,0 ГГц	27,8 ГГц	18,1 ГГц	25,0 ГГц	27,8 ГГц
Поглощение в атмосфере	–	0,5 дБ	1,3 дБ	0,9 дБ	0,4 дБ	1,0 дБ	0,7 дБ
Ослабление в дожде	0,3%	3,6 дБ	6,8 дБ	8,3 дБ	8,2 дБ	16,3 дБ	20,0 дБ
	0,1%	6,6 дБ	12,2 дБ	14,8 дБ	14,3 дБ	27,6 дБ	33,5 дБ

### 5 Готовность службы на линии вниз в диапазоне 21 ГГц

Готовность службы системы РСС была рассчитана в предположении различных значений п.п.м. Диаметр приемной антенны был принят равным 45 см. В качестве сигналов в данной системе для участия в исследовании были выбраны сигналы DVB-S, DVB-S2 и ISDB-S со схемами модуляции QPSK, 8-PSK и 16-QAM. Требуемое отношение  $C/N$  данной системы варьируется в зависимости от модуляции и кодирования, что предусматривает достижение компромисса между готовностью службы и эффективностью использования частоты.

Проценты времени усредненного года, для которых значения отношений  $C/N$  превышают уровни 5,6 дБ, 7,5 дБ, 10,7 дБ и 17,0 дБ, показаны вместе с примерами для уровня п.п.м., равного  $-105$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)),  $-115$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)) и  $-120$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)), в таблице 12 и равного  $-105$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)) в таблице 13.

Бюджет линии включает потери на ослабление в дожде, в облаках, в газах, на мерцание и на наведение антенн.

ТАБЛИЦА 12

Годовая готовность службы на линии вниз РСС в диапазоне 21 ГГц  
в некоторых городах Района 1

		Москва			Лондон		
Угол места (в градусах)		26,5			23,2		
Уровень п.п.м. (дБ(Вт/(м <sup>2</sup> · МГц)))		-105,0	-115,0	-120,0	-105,9	-115,0	-120,0
Суммарное отношение C/N	5,6 дБ	99,99%	99,96%	99,89%	99,99%	99,97%	99,90%
	7,5 дБ	99,99%	99,95%	99,81%	99,99%	99,95%	99,84%
	10,7 дБ	99,98%	99,89%	99,38%	99,99%	99,90%	99,53%
	17,0 дБ	99,93%	98,48%	NA <sup>1</sup>	99,92%	99,04%	NA <sup>1</sup>
$R_{0,01}$ (мм/ч)		31,7			30,9		
Ослабление в дожде <sup>2</sup> (дБ)		6,5			6,6		
		Претория			Стамбул		
Угол места (в градусах)		59,9			40,7		
Уровень п.п.м. (дБ(Вт/(м <sup>2</sup> · МГц)))		-105,0	-115,0	-120,0	-105,0	-115,0	-120,0
Суммарное отношение C/N	5,6 дБ	99,97%	99,87%	99,69%	99,99%	99,96%	99,88%
	7,5 дБ	99,97%	99,84%	99,50%	99,99%	99,94%	99,79%
	10,7 дБ	99,95%	99,67%	98,63%	99,98%	99,88%	99,30%
	17,0 дБ	99,82%	95,80%	NA <sup>1</sup>	99,94%	98,35%	NA <sup>1</sup>
$R_{0,01}$ (мм/ч)		31,8			38,9		
Ослабление в дожде <sup>2</sup> (дБ)		5,8			6,7		
		Александрия					
Угол места (в градусах)		35,8					
Уровень п.п.м. (дБ(Вт/(м <sup>2</sup> · МГц)))		-105,0	-115,0	-120,0			
Суммарное отношение C/N	5,6 дБ	99,99%	99,99%	99,99%			
	7,5 дБ	99,99%	99,99%	99,99%			
	10,7 дБ	99,99%	99,99%	99,94%			
	17,0 дБ	99,99%	99,60%	NA <sup>1</sup>			
$R_{0,01}$ (мм/ч)		5,4					
Ослабление в дожде <sup>2</sup> (дБ)		1,4					

ПРИМЕЧАНИЕ – Местоположения, приведенные в таблице 12, служат исключительно примерами готовности службы в Районе 1. Готовность службы зависит от угла места, а также от конкретного местоположения в пределах Района 1. Поэтому уровни п.п.м. ниже чем -120 дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)) могут также использоваться в зонах с меньшими значениями ослабления в дожде, чем указаны в таблице 12.

<sup>1</sup> NA: Неприменимо, поскольку уровень п.п.м. не позволяет достичь требуемого уровня отношения C/N.

<sup>2</sup> Значение ослабления в дожде, вычисленное для 99,9% года.

ТАБЛИЦА 13

**Годовая готовность службы на линии вниз РСС в диапазоне 21 ГГц  
в некоторых городах Района 3**

		Токио	Куала-Лумпур	Сеул	Бангкок	Веллингтон
Угол места (в градусах)		38,0	77,4	44,9	73,5	42,3
Уровень п.п.м. (дБ(Вт/(м <sup>2</sup> · МГц)))		-105,0	-105,0	-105,0	-105,0	-105,0
Суммарное отношение C/N	5,6 дБ	99,98%	99,81%	99,98%	99,88%	99,99%
	7,5 дБ	99,97%	99,77%	99,97%	99,85%	99,99%
	10,7 дБ	99,95%	99,68%	99,95%	99,78%	99,99%
	17,0 дБ	99,80%	99,36%	99,83%	99,44%	99,94%
$R_{0,01}$ (мм/ч)		48,0	93,6	50,6	87,1	41,7
Ослабление в дожде <sup>2</sup> (дБ)		10,0	26,3	14,2	21,5	6,4

ПРИМЕЧАНИЕ. – Города, упомянутые в таблице 13, служат исключительно примерами готовности службы в Районе 3. Готовность службы зависит от угла места, а также от конкретного местоположения в пределах Района 3.

Для будущих систем РСС могут применяться дополнительные схемы модуляции, эффективные с точки зрения использования частот, такие как 16-QAM. Требуемое отношение C/N схем модуляции, тем не менее, выше, чем у TC8-PSK. Кроме того, оно подвержено влиянию нелинейности спутниковых ретрансляторов. В порядке эксперимента предполагается, что требуемое отношение C/N составляет 17,0 дБ.

В системе РСС, использующей диапазон 21 ГГц, требуется компенсация намного большего уровня ослабления в дожде, чтобы готовность службы была сравнима с таковой в диапазоне 12 ГГц. В спутнике обычной конструкции уровень э.и.и.м. определяется с учетом энергетического запаса, соответствующего величине ослабления. Следовательно, система требует весьма избыточных характеристик спутника и высоких уровней п.п.м. в условиях ясного неба, что нерационально с экономической точки зрения. Таким образом, для введения в эксплуатацию РСС с приемлемым по стоимости решением спутниковой системы в конкретной зоне, требуется принятие эффективных мер по компенсации ослабления в дожде.

Годовая готовность службы на линии вниз в диапазоне 21 ГГц РСС, приведенная в качестве примера в таблице 12 для некоторых городов Района 1, существенно выше, чем годовая готовность службы для Плана в диапазоне 12 ГГц в Приложении 30 Регламента радиосвязи, а именно 99% худшего месяца, что эквивалентно годовой доступности службы в 99,7%. Основываясь на задачах спутникового оператора и планируемой зоне обслуживания, и если уровень готовности при значении плотности потока мощности у поверхности Земли, равный  $-105$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)), намного выше ожидаемого уровня готовности, что можно рассмотреть вопрос о снижении уровня плотности потока мощности у поверхности Земли, создаваемого излучениями космических станций, для достижения требуемых показателей готовности. Такое снижение мощности может напрямую повлиять на конструкцию спутников (т. е. более работоспособные ретрансляторы с той же самой огибающей потребления мощности) или на сопутствующие затраты (т. е. снижение суммарного уровня потребления мощности, которое окажет непосредственное влияние на стоимость спутника).

Для Района 1, в отношении пониженной плотности потока мощности у поверхности Земли:

- 1) При п.п.м., равной  $-115$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)) (т. е. снижение на 10 дБ), годовая готовность службы для отношений C/N 7,5 и 10,7 дБ на примере некоторых городов Района 1, перечисленных в таблице 12, выше, чем годовая готовность службы для некоторых других городов Района 1, перечисленных в таблице 12, при плотности потока мощности у поверхности Земли, равной  $-105$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)).

- 2) При п.п.м., равной  $-120$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)) (т. е. снижение на 15 дБ), годовая готовность службы для отношения  $C/N$  5,6 дБ на примере некоторых городов Района 1, перечисленных в таблице 12, выше, чем годовая готовность службы для некоторых других городов Района 1, перечисленных в таблице 12, при плотности потока мощности у поверхности Земли, равной  $-105$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)).

В отношении Района 1 следует понимать, что величина плотности потока мощности у поверхности Земли, равная  $-105$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)), позволяет повысить годовую готовность службы для некоторых городов Района 1, как показано в таблице 12. Например, следует отметить, что пример одного из городов с интенсивностью дождя,  $R_{0,01}\%$  ниже 31 мм/ч в Районе 1 показывает возможность рассмотрения вопроса об уровне п.п.м. у поверхности Земли, равном  $-105$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)) вместо  $-115$  дБ(Вт/(м<sup>2</sup> · МГц)), для увеличения годовой готовности службы при значении  $C/N = 10,7$  дБ с 99,90% до 99,99%.

Как показано в таблицах 12 и 13, требуемое значение плотности потока мощности у поверхности Земли для конкретной спутниковой сети непосредственно связано с несколькими факторами (например, суммарным ослаблением в линии связи, наблюдаемым в планируемой зоне, требуемой готовностью, схемой модуляции и т. д.).

## 6 Заключение

Настоящее Дополнение показывает, что:

- ослабление в дожде и поглощение в атмосферных газах в полосах частот между 17,3 ГГц и 42,5 ГГц существенно выше, чем в диапазоне 12 ГГц;
- если речь идет о проектировании обычной спутниковой системы, уровень э.и.и.м. определяется с учетом требований энергетического запаса в линии для обеспечения надлежащих показателей готовности. В некоторых случаях требуемая э.и.и.м. может быть слишком высокой и не подходить для применения в обычной спутниковой системе;
- при заданных условиях распространения могут потребоваться соответствующие методы снижения влияния ослабления в дожде для облегчения внедрения технически осуществимых систем РСС в более высоких полосах частот.

---