

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R F.1102-2

**Характеристики фиксированных беспроводных систем, работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц**

(Вопрос МСЭ-R 107/9)

(1994-2002-2005)

**Сфера применения**

Эта Рекомендация предоставляет характеристики фиксированных беспроводных систем, работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц. Дополнение 1 содержит возможные приложения, соображение о длине пролета, основные функции передатчиков и приемников, а также другие технические/эксплуатационные характеристики, требуемые для осуществления фиксированных беспроводных систем в этом диапазоне частот.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что полосы частот выше примерно 17 ГГц распределяются фиксированным и другим службам;
- b) что характеристики распространения выше примерно 17 ГГц преобладающим образом определяются замираниями и поглощением в осадках и подходят только для приложений систем радио сокращенного диапазона;
- c) что отличающиеся приложения различных администраций могут потребовать различных планов размещения частот радиостволов;
- d) что в той же самой полосе частот могут одновременно использоваться несколько служб с различными характеристиками сигналов передачи;
- e) что различные приложения могут требовать отличающуюся друг от друга ширину полос частот каналов;
- f) что в настоящее время в развертывании с высокой плотностью фиксированных беспроводных систем в полосах выше примерно 17 ГГц используются новые приложения и сетевые конфигурации,

*рекомендует,*

- 1** что при разработке систем следует принимать во внимание воздействие выпадения осадков, которое критически определяет длину пролета;
- 2** чтобы полосы частот выше примерно 17 ГГц использовались для приложений сокращенного диапазона, которые позволят оборудованию быть компактным с меньшими антеннами;
- 3** чтобы позволить использование смешанных служб, в то же время достигая экономии спектра, планам размещения частот радиостволов следует основываться на однородных шаблонах в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R F.746;
- 4** чтобы применялись как цифровые, так и широкополосные аналоговые методы модуляции;
- 5** чтобы для руководства при разработке системы ссылались на Дополнение 1.

## Дополнение 1

### Характеристики фиксированных беспроводных систем, работающих в полосах частот выше примерно 17 ГГц

#### 1 Введение

В полосах частот выше примерно 17 ГГц некоторые распределения для фиксированной службы обеспечены на всемирной основе. На этих частотах отказ возникает главным образом из-за замираний в осадках, длящихся более 10 секунд. Поэтому параметрами особой важности для осуществления таких систем являются готовность и длина тракта, которая может быть достигнута между передатчиком и приемником (длина пролета). Эти параметры рассматриваются в этом Дополнении для систем, которые обычно используются в местной сети.

#### 2 Соображения о приложениях

##### 2.1 Местный доступ/местные сети

Полосы частот выше примерно 17 ГГц в настоящее время используются главным образом для связей на короткие расстояния. Компактное и высоконадежное радиооборудование может поддерживать голос, данные, видео и широкополосную передачу данных.

Главными приложениями являются:

- взаимосвязь местных сетей (МС);
  - взаимосвязь между местными сетями (IEEE 802.3/Ethernet и IEEE 802.5/сеть типа "Маркерное кольцо") с пропускной способностью передачи порядка 10 Мбит/с;
  - взаимосвязь между местными сетями (Ethernet, включая местные радиосети типа IEEE 802.11a/IEEE 802.11b/HiperLAN2/HiSWANa) с пропускной способностью передачи порядка 100 Мбит/с;
- передача видео;
- абонентские линии;
- цифровая первичная группа или линии передачи данных более высокой скорости из конечного офиса к зданиям пользователей;
- приложения сотовой телефонии;
- взаимосвязь между коммутационными станциями сотовой телефонии и базовыми станциями;
- приложения по оказанию помощи;
- транспортабельное радиооборудование, используемое для запасных линий, когда волоконно-оптические системы или другие наземные цепи отказали;
- кольцевое включение или соединение типа "точка-точка" в сети доступа синхронной цифровой иерархии (СЦИ);
- сети доступа высокой плотности, например, в абонентских приложениях.

Таблица 1 распределяет вышеуказанные приложения по категориям.

ТАБЛИЦА 1  
Деление приложений на категории

	Конфигурация физического звена	Пропускная способность передачи	Содержимое сигнала	Длина пролета
Взаимосвязь МС	Между зданиями пользователей	Порядка 10 Мбит/с	Данные	От нескольких десятков метров до км
Абонентские линии	Из абонентского пункта до здания пользователя	Аналоговая или цифровая первичная группа или более высокая пропускная способность ПЦИ	Данные или видео	От нескольких км до десятков км
Приложения межсотовой телефонии	Между телефонной коммутационной станцией сотовой системы и базовой станцией радио	2 Мбит/с вплоть до STM-1	Голос или данные	От нескольких км до десятков км
Транспортабельное оборудование для операций по оказанию помощи (см. Примечание 1)	Резерв для волоконно-оптических линий	Аналоговая или цифровая первичная группа - или более высокая пропускная способность ПЦИ или СЦИ	Голос, данные или видео	От нескольких км до десятков км
Сеть доступа СЦИ	Кольцевое включение мультиплексоров ADM/взаимосвязь или дополнительное расширение	Иерархия СЦИ	Виртуальные контейнеры (Vc)	От нескольких км до десятков км
Абонентский доступ высокой плотности	Прямой доступ к абоненту	Вплоть до STM-1	Данные и голос	Часть км вплоть до нескольких км
Вертикально соединенное беспроводное звено	От здания пользователя до абонента	Порядка 100 Мбит/с	Данные и видео	Несколько десятков км

ADM: Мультиплексер ввода/вывода

ПЦИ: Плездохронная цифровая иерархия

STM-1: Синхронный транспортный модуль уровня 1

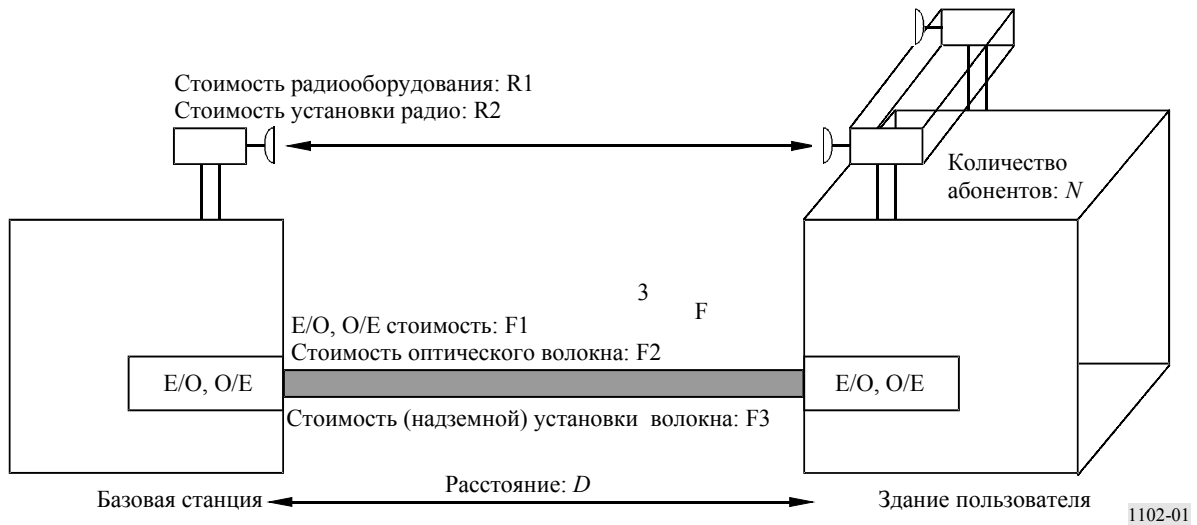
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – См. Рекомендацию МСЭ-R F.1105.

## 2.2 Сравнение по стоимости между волоконно-оптическими линиями и радиолиниями в доле доступа

Волоконно-оптическая система требует проведения строительных работ непрерывно вдоль маршрута кабеля. С другой стороны, радиосистемы требуют таких работ только на передающих и приемных станциях. По этой причине, чем больше расстояние между местоположениями, тем больше будет увеличиваться стоимость волоконно-оптической системы (ВОС). Стоимости сравниваются в следующей простой модели, показанной на рисунке 1.

РИСУНОК 1

## Предполагаемая модель



Стоимость  $R$  для введения радиосистемы дается выражением:

$$R = (R1 + R2) N$$

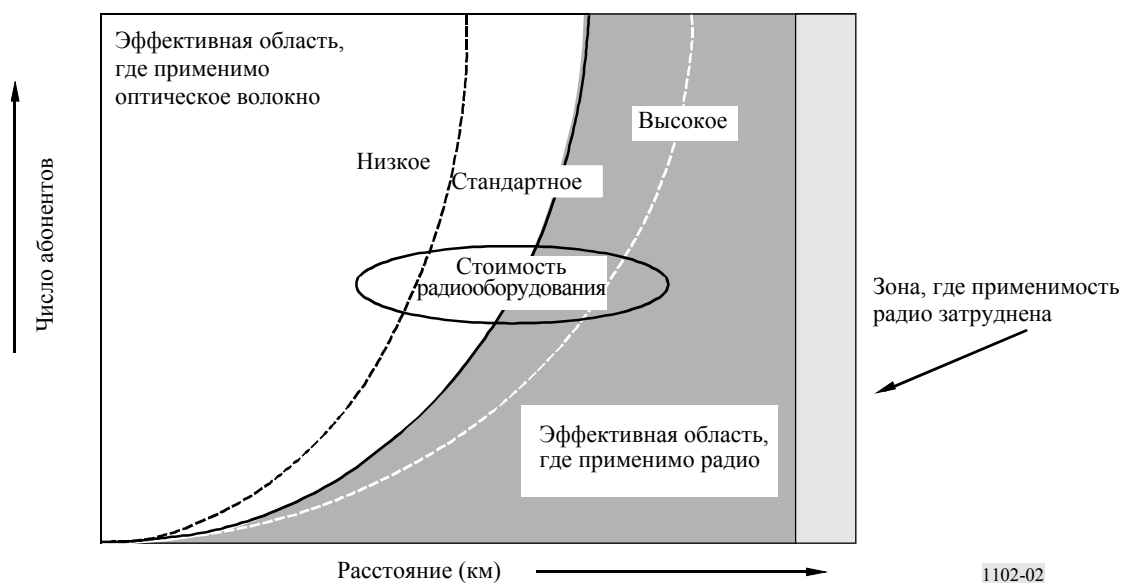
Стоимость  $F$  для введения волоконно-оптической системы дается выражением:

$$F = F1 N + (F2 + F3) N D$$

Рисунок 2 показывает результат сравнения по стоимости. Согласно рисунку 2, с одинаковым количеством абонентов, любое увеличение расстояния уменьшает стоимость радио по отношению к стоимости волоконно-оптической системы. Более того, при одинаковом расстоянии радиосистемы являются более выгодными, когда количество абонентов является малым. Кроме того, применимая область для радио резко расширяется, когда расстояние становится больше.

РИСУНОК 2

## Результаты сравнения стоимости между волокном и радио



Если в расчет принимается только стоимость, то чем больше расстояние, тем больше будет расширяться зона применимости радио. Однако необходимо принимать во внимание тот факт, что расстояние для распространения радиосистем, использующих полосы частот выше примерно 17 ГГц, ограничивается затуханием при дожде. Обеспечение многопролетных линий сокращенного диапазона поэтому склонило бы чашу весов пользу волоконно-оптических систем, но в общем случае в пределах местных шлейфов многопролетные системы являются редкими. На практике использовалась бы смесь стекловолокна и радио, в зависимости от того, какая система является наиболее эффективной по стоимости и практичной для такой конкретной части приложения.

### 2.3 Быстрое развертывание

Одной из характеристик радиосистем является скорость, с которой они могут быть подготовлены. Волоконные системы требуют установки волокон между местоположениями, где должна быть осуществлена связь, приводя к долгому периоду строительства, пока линии могут быть введены в обслуживание. В частности, период строительства резко увеличивается, когда оптическое стекловолокно укладывается под землей по сравнению с установкой на опорах. Более того, могут быть случаи, когда установка волокна невозможна из-за неспособности получить право пути. Использование радиосвязи для облегчения установки системы кабельного телевидения в таких ситуациях является известной реализацией этого свойства. Однако время начального развертывания для радиосистем является очень коротким, так как требуется монтаж только в местоположениях, где должны быть осуществлены связи. Это позволяет открыть цепи в течение нескольких часов. Хотя планирование связи, лицензирование и процедуры разрешений для стройплощадок практически увеличивают время начального развертывания, похоже, что время начального развертывания все еще будет значительно короче, чем время для волоконной линии.

В радиосистемах необходимо подтверждать условие прямой видимости. Были выполнены исследования, касающиеся подтверждения линии прямой видимости на основе компьютеров, подготавливающие базы данных географических особенностей и зданий, и может быть полезной быстрая процедура центровки антенны.

Относительная легкость повторного развертывания радиооборудования является одной из его привлекательных характеристик. Передвижные радиосистемы являются более подходящими для быстрой помощи средствами связи во время бедствия, отказов линий и волокон и т. п.

## 3 Соображения относительно длины пролета

Никакие универсальные характеристики длины/частоты пролета не могут быть построены, однако следующие параметры вносят вклад в нормы готовности по длине пролета:

- *Конкретное затухание свободного пространства:*  $A_0$  (дБ/км)
  - Зависит от частоты, из Рекомендации МСЭ-R P.525.
- *Зависящее от  $O_2$  и  $H_2O$  газообразное поглотительное затухание:*  $A_\alpha$  (дБ/км)
  - Зависит от частоты в уместных частотных диапазонах из Рекомендации МСЭ-R P.676.
- *Изотропное усиление антенны:*  $G_i$  (дБ)
  - Константа, зависящая от геометрических размеров антенн, без теоретической верхней границы, но практически ограниченная, чтобы дать возможность реального выравнивания опорного направления, с эксплуатационной работоспособностью ширины угла главного луча 3 дБ (обычно не уже, чем  $1^\circ$ ).

Это ведет к практическому пределу для  $G \cong 44$  дБ.

- *Передаваемая мощность:*  $P_T$  (дБм)
  - Относится к доступной технологии для генерации/усиления несущей радиочастоты и к требованиям линейности для формата модуляции.
- *Порог коэффициента ошибок по битам (КОБ):*  $P_{Th}$  (дБм)
  - Относится к уместному коэффициенту КОБ, при котором определяется норма готовности. Этот параметр относится к коэффициенту шума приемника, скорости передаваемых битов и к характеристике “несущая частота/шум” для формата модуляции.
- *Затухание из-за дождя для нормированного процентного отношения времени:*  $R_{| \%}$  (дБ)
  - Оценивается на основе интенсивности степени дождя для уместного процентного отношения времени неготовности с помощью метода, о котором сообщается в Рекомендациях МСЭ-R P.530 и МСЭ-R P.838, используя статистику, полученную из Рекомендации МСЭ-R P.837.

Вышеуказанные параметры могут быть разделены на два блока (см. Примечание 1):

- Фиксированная константа, зависящая от осуществления, “усиление пролета” (HG):

$$HG = 2Gi + |P_{Th}| + P_T \quad \text{дБ} \quad (1)$$

- Зависящее от степени дождя/частоты “затухание пролета” ( $HA| \%$ ) для заданного процентного отношения времени по длине  $\ell$  (км) пролета, как предсказано Рекомендацией МСЭ-R P.530:

$$HA| \% = R_{| \%} + (A_0 + A_\alpha) \ell \quad \text{дБ} \quad (2)$$

Используя вышеуказанный подход, можно получить графики, подобные тем, о которых сообщается на рисунках 3, 4 и 5 (вычисленные в качестве примера для климатических зон В, G и К при использовании частоты и процентного соотношения неготовности ( $U\%$ ) как параметров), из которых можно получить максимальную длину пролета для заданного осуществления/частоты/климатической зоны/нормированного процентного соотношения времени.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Поскольку, в общем случае, радиосистемы выше примерно 17 ГГц поставляются с неотъемлемыми антеннами, в этих предположениях потерями фидера пренебрегают; в случае фидерного соединения между оборудованием и антенной потери в фидере будут снижать усиление пролета (HG).

#### 4 Реализации цифрового радио

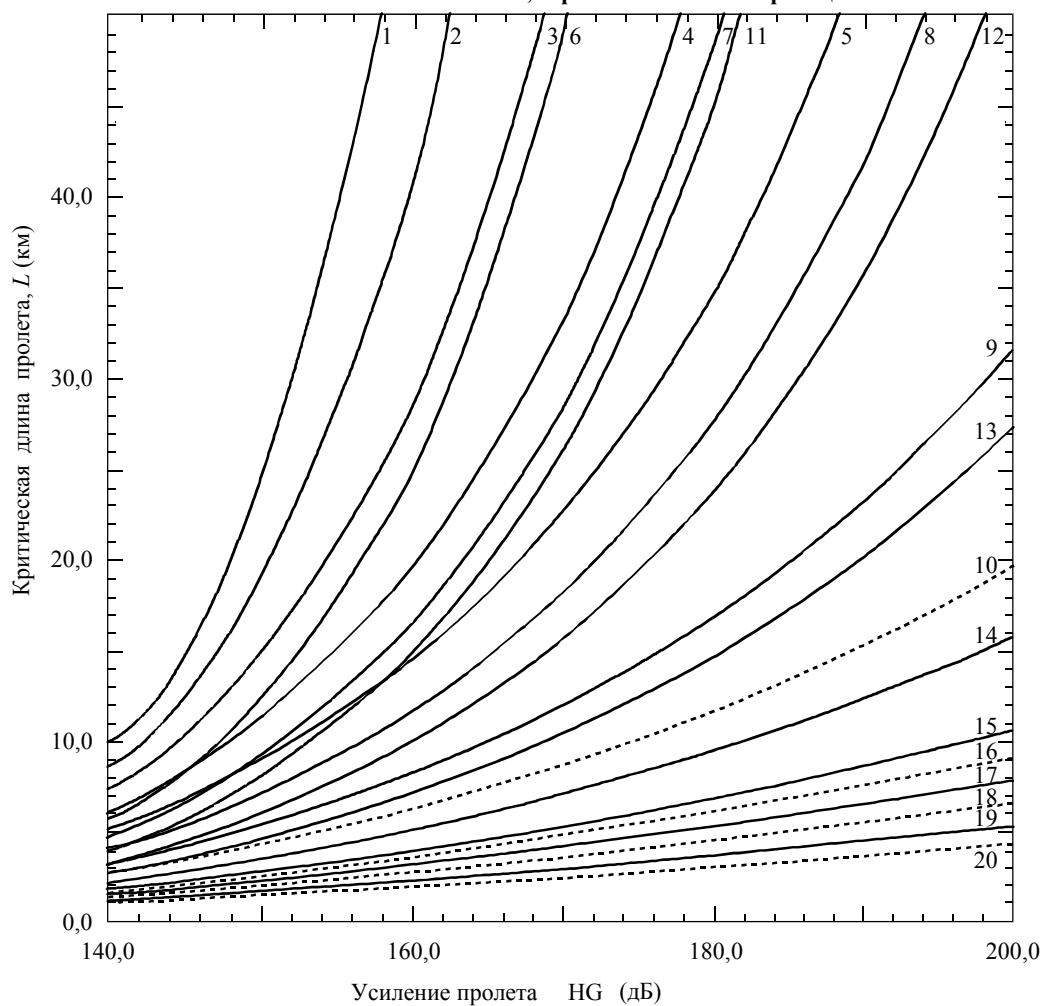
Требования приложений, доступность спектра, условия распространения и доступные технологии выше примерно 17 ГГц приводят к реализациям оборудования, которые существенно отличаются от тех, которые преобладают ниже примерно 17 ГГц. Тем не менее, нет резкого перехода, а имеется постепенный переход, начинающийся от полосы 13 ГГц.

Преобладающими отличительными характеристиками приложений цифрового радио выше примерно 17 ГГц являются:

- широкий диапазон пропускной способности передачи;
- разделение оборудования на внешний блок, состоящий из наружного радиоинтерфейса, прикрепленного к антенне, и на внутренний блок, содержащий субблоки основной полосы и во многих случаях также и субблоки промежуточной частоты (ПЧ). Тем самым фактически избегают потерь в фидере волновода, которые могли быть непомерно высокими, и обеспечивают большую гибкость монтажа оборудования с помощью соединения с низкими потерями на основной и/или промежуточной частотах;
- новые приложения имеют тенденцию к использованию модуляции более высоких порядков и более высокой технической спектральной эффективности.

РИСУНОК 3

Критическая длина пролета в сравнении с усилением пролета для климатической зоны В, горизонтальная поляризация



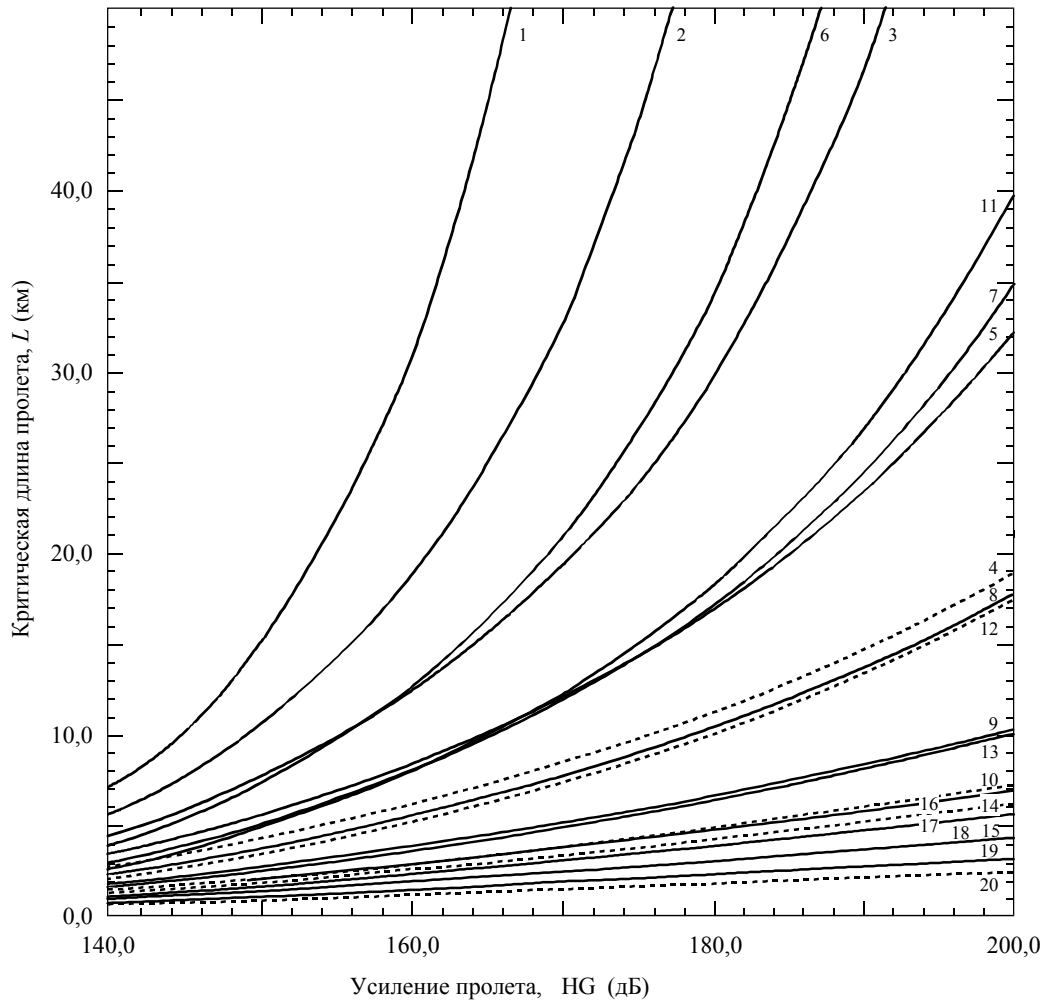
Кривая	$f$ (ГГц)	$U$ %	Кривая	$f$ (ГГц)	$U$ %
1	18	0,1	11	38	0,1
2	18	0,03	12	38	0,03
3	18	0,01	13	38	0,01
4	18	0,003	14	38	0,003
5	18	0,001	15	38	0,001
6	28	0,1	16	55	0,1
7	28	0,03	17	55	0,03
8	28	0,01	18	55	0,01
9	28	0,003	19	55	0,003
10	28	0,001	20	55	0,001

$U$ : неготовность (%)

1102-03

РИСУНОК 4

Критическая длина пролета в сравнении с усилением пролета для климатической зоны G, горизонтальная поляризация



Кривая	$f$ (ГГц)	$U$ %	Кривая	$f$ (ГГц)	$U$ %
1	18	0,1	11	38	0,1
2	18	0,03	12	38	0,03
3	18	0,01	13	38	0,01
4	18	0,001	14	38	0,001
5	18	0,003	15	38	0,003
6	28	0,1	16	55	0,1
7	28	0,03	17	55	0,03
8	28	0,01	18	55	0,01
9	28	0,001	19	55	0,001
10	28	0,003	20	55	0,003

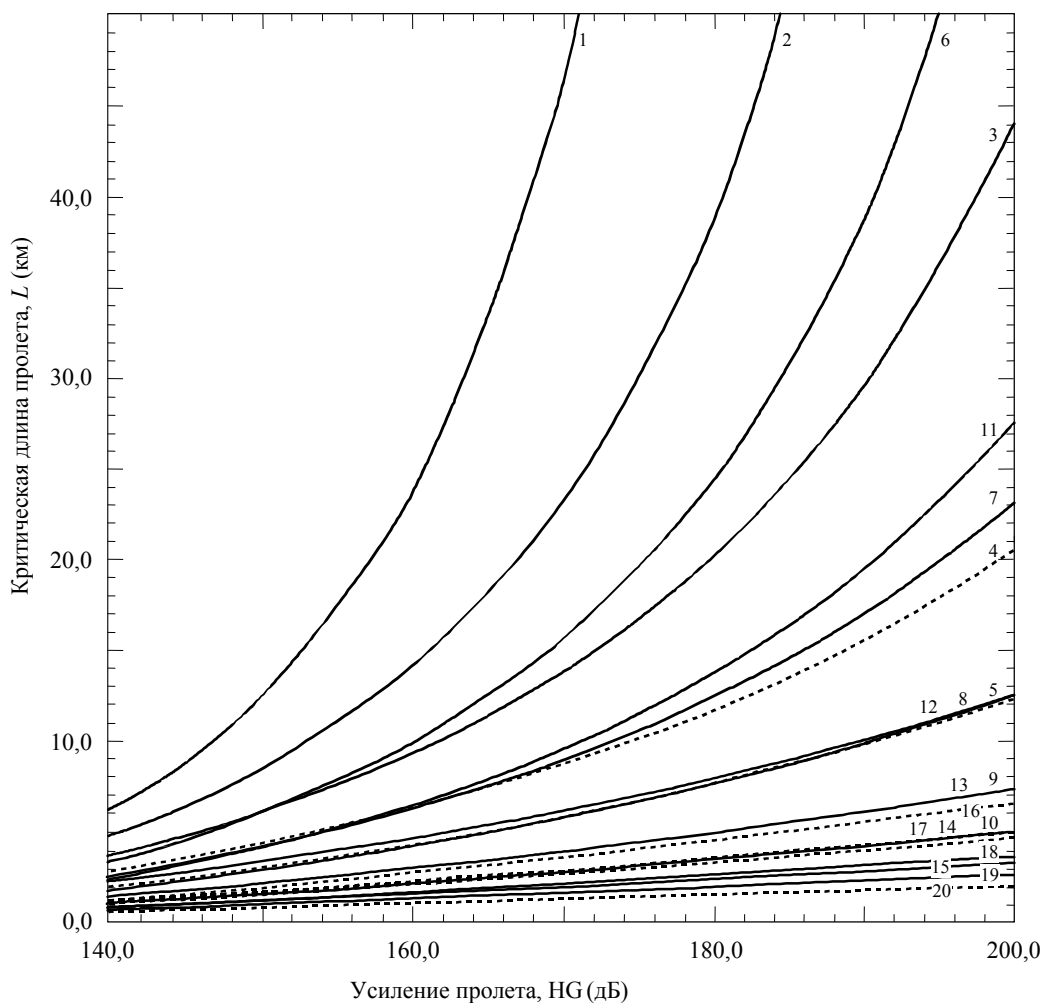
$U$ : неготовность (%)

1102-04



РИСУНОК 5

Критическая длина пролета в сравнении с усилением пролета  
для климатической зоны К, горизонтальная поляризация



Кривая	$f$ (ГГц)	$U$ %	Кривая	$f$ (ГГц)	$U$ %
1	18	0,1	11	38	0,1
2	18	0,03	12	38	0,03
3	18	0,01	13	38	0,01
4	18	0,001	14	38	0,001
5	18	0,003	15	38	0,003
6	28	0,1	16	55	0,1
7	28	0,03	17	55	0,03
8	28	0,01	18	55	0,01
9	28	0,001	19	55	0,001
10	28	0,003	20	55	0,003

$U$ : неготовность (%)

1102-05

#### 4.1 Компромиссы при разработке

Компромиссы при разработке являются довольно сложными из-за множества взаимозависимостей. Однако для упрощения задачи критерии компромисса могут быть подразделены различными способами, в зависимости от конкретных целей оптимизации.

Например, значимым является проведение различия между качеством обслуживания и критерием дружелюбности по отношению к пользователю, как иллюстрируется в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Качество обслуживания	Дружественность по отношению к пользователю
Характеристики передачи Усиление системы Спектральная эффективность Эффективность мощности	Изменчивость приложения Ремонтопригодность Размер и вес Экологическая устойчивость

Эти критерии компромисса могут быть перегруппированы нужным образом. Например, для выбранного сочетания пропускной способности передачи и характеристик, первоначальный компромисс качества обслуживания существует между усилением системы и спектральной эффективностью. Если доступны такие усовершенствованные варианты выбора, как исправление ошибок, то поднабор критериев компромисса расширяется и увеличивает гибкость разработки.

Некоторые критерии компромиссов при разработке могут принадлежать обеим категориям. Например, среднее время между отказами (СВМО) воздействует как на качество обслуживания, так и на дружественность по отношению к пользователю.

Во многих случаях хорошо осведомленный пользователь будет способен распознавать основные компромиссы разработки из листа данных оборудования, но в некоторых случаях для того, чтобы полностью оценить рассматриваемое оборудование, может потребоваться дополнительная информация.

Разработчик оборудования, с другой стороны, имеет трудную задачу перевода требуемых рабочих характеристик в соответствующий набор параметров для проектирования оборудования. К этому вопросу обращаются в Рекомендации МСЭ-Т М.2100.

#### 4.2 Обработка сигнала основной полосы

Реализация радиосредств для полос частот выше примерно 17 ГГц обычно включает в себя необходимые функции обработки сигналов основной полосы во внутреннем блоке.

Это включает групповое мультиплексирование на пропускных способностях выше функциональных возможностей первичной группы ПЦИ или СЦИ. Наиболее общим случаем является включение служебной линии; значительным образом меняются конкретные реализации.

Для улучшения характеристик передачи и выигрыша системы используется исправление ошибок.

#### 4.3 Генерация и стабилизация несущей частоты

В принципе, для простоты предпочитается непосредственная, основная генерация частоты. Однако доступность активных микроволновых приборов для непосредственной генерации уменьшается с увеличением частоты, и возрастает стоимость. В некоторый момент, который зависит от статуса технологического развития, становится предпочтительным осуществлять генерацию суб-гармоник и умножать их до значения несущей частоты.

Выбор метода стабилизации несущей частоты зависит от приложения. Реализации радиосредств самой низкой стоимости с наиболее умеренными допустимыми отклонениями по частоте могут быть удовлетворены с помощью генераторов свободных колебаний, стабилизированных резонаторами. Добавление управления температурой гарантирует более строгие, но еще умеренные допустимые отклонения по частоте для приложений, являющихся до некоторой степени более требовательными. Категория наиболее требовательного приложения в понятиях стабилизации частоты требует генератор с кварцевой стабилизацией. Как для производителей радиосредств, так и для пользователей, предпочитаемой реализацией является синтезатор частот.

#### 4.4 Форматы модуляции несущей частот

Использование более простых форматов модуляции (с 2 или 4 состояниями) обеспечивает более высокие коэффициенты передачи систем, что является важным для длинных пролетов из-за преобладания замираний в осадках в диапазоне частот выше примерно 17 ГГц. Однако по техническим и/или регуляторным причинам имеется тенденция использовать форматы модуляции более высоких состояний в сочетании с более короткими пролетами, чтобы получить сети высокой плотности.

Обзор форматов цифровой модуляции представлен в Дополнении 1 Рекомендации МСЭ-R F.1101.

#### 4.5 Основные функции передачи/приема радиосредств

Осуществление функций передачи и приема является результатом компромиссов разработки, которые основываются на соображениях, представленных в § 4.1. Различия, с которыми сталкиваются в осуществлении аппаратных средств для того же самого приложения, отражают различные рыночные ориентации изготовителей, ассортименты изделий, внутренние технологические возможности, поставщиков компонентов и, наконец, но не в последнюю очередь, субъективные предпочтения разработки.

Основные различия в разработке радиосредств для того же самого приложения существуют в выборе между непосредственной и косвенной модуляцией несущей частоты передатчика и в количестве преобразований промежуточной частоты приемника. В принципе, чем более простой формат модуляции, тем легче осуществить непосредственную модуляцию несущей частоты. Количество преобразований промежуточной частоты приемника, прежде всего, получают из требований селективности, доступности компонента интегральной схемы и требуемой стабильности канала радиочастоты (например, с синтезатором).

Большинство приложений цифрового радио выше примерно 17 ГГц находятся в местных распределительных системах и требуют немногих ретрансляторов, если это имеет место. Встречно-параллельное включение терминалов является простым, но пассивные или активные ретрансляторы радиочастоты доступны и представляют эффективное решение по стоимости, где нет нужды в возможности выделения/вставления. Активные ретрансляторы радиочастоты могут или не могут использовать преобразование частоты, как требуется.

#### 4.6 Функции наблюдения и меры защиты

Последовательные поколения реализаций цифрового радио как никогда включают в себя усовершенствованные контролирующие функции и такие возможности административного управления сетью, как наблюдение за коэффициентом КОБ, местный и дистанционный шлейф и местное отображение дистанционного наблюдения. В качестве альтернативы специальным реализациям существуют портативные, переносные терминалы. Для централизованного административного управления сетью применяются персональные компьютеры и ноутбуки, использующие собственное программное обеспечение.

При необходимости предусматриваются меры защиты, чтобы дать желаемую надежность и/или готовность. Примерами этих возможных мер являются:

- разнесение маршрутов;
- контролируемый горячий резерв;
- контролируемый горячий резерв с разнесением частоты, поляризации и пространства.

#### **4.7 Новые приложения для абонентских сетей с высокой плотностью и высокой готовностью**

Последние усовершенствования в использовании цифровых радиосистем для обеспечения непосредственного абонентского доступа для сетей с высокой готовностью в соревновании с волоконными системами доступа, привели к развитию архитектуры сети, которая налагает различные требования на характеристики индивидуальных передатчиков и приемников, используемых в сети. Традиционные параметры, используемые в разработке индивидуальных пролетов, обычно использовали достаточный запас по замираниям, чтобы преодолеть изменения, которые следуют из условий распространения, затухания из-за дождя и других явлений распространения, которые имеют место на типичных трактах, оптимизированным для максимальной длины пролета. В новых сетях высокой плотности, где повторное использование частоты становится одним из наиболее существенных соображений, есть потребность в уменьшении передаваемой мощности до минимума, необходимого для достижения желаемой готовности, чтобы минимизировать воздействия помех внутри систем. В сетях высокой плотности индивидуальные длины пролета уменьшаются до минимума, допустимого для достижения желаемой готовности с минимальной передаваемой мощностью. До некоторой степени из-за того, что длины пролетов уменьшаются, воздействия распространения также сводятся к минимуму, поэтому затухание из-за дождя становится меньшим компонентом ухудшения. Чистым результатом является то, что индивидуальные тракты могут быть разработаны со значительно уменьшенными запасами по замираниям. К тому же для сведения к минимуму восприимчивости к помехам, абонентские терминалы используют антенны с более высоким усилением и более низкие коэффициенты шума приемника, которые также разрешают более низкие уровни передачи. Это соображение также очень важно для сетей, обслуживающих клиентов с ожиданиями высокой готовности. Эти новые характеристики, которые были использованы для того, чтобы увеличить до предела повторное использование частоты, повышают потенциал для приемных помех, которые могли поступить в приемник непосредственно в пеленге антенны абонента.

#### **4.8 Заключение**

Растущий спрос на цифровые радиосистемы выше примерно 17 ГГц стимулируют непрерывное развитие новых поколений оборудования, которые обеспечивают улучшенное качество обслуживания и дружелюбность по отношению к пользователю всегда при более низких затратах. Кроме того, эффективные по стоимости реализации становятся доступными для более высоких полос частот.

Этот прогресс стал возможным благодаря непрерывным технологическим усовершенствованиям в активных микроволновых устройствах, особенно в полевых транзисторах, монолитных интегральных схемах СВЧ и в реализациях интегральных схем промежуточной частоты, основной полосы и вспомогательных функций.

---