

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R ВО.1696

Методологии для определения показателей качества по готовности для цифровых систем многопрограммной радиовещательной спутниковой службы и их связанных фидерных линий, работающих в планируемых полосах

(Вопрос МСЭ-R 3/6)

(2005)

Сфера применения

Эта Рекомендация предлагает методологию для определения норм показателей качества для цифровых систем в полосе 11,7–12,7 ГГц и устанавливает нормы по готовности для цифровых систем, которые выше тех, что установлены для аналоговых систем. Приложение 1 к этой Рекомендации предоставляет примерные реализации рекомендованных методологий, а также точные и приближенные решения.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что цифровые многопрограммные системы сейчас уже используются в радиовещательной спутниковой службе (РСС);
- b) что показатели качества цифровых многопрограммных систем являются важными для администраций, реализующих такие системы;
- c) что показатели качества по готовности систем обеспечивают важную эталонную точку для оценки относительных показателей качества присвоения частот РСС администрации, если такое присвоение должно быть осуществлено с цифровой многопрограммной системой;
- d) что характеристики приема цифровой многопрограммной системы значительным образом отличаются от характеристик приема аналоговых систем ЧМ;
- e) что существующие Приложения 30 и 30А норм показателей качества из Регламента радиосвязи, содержащие отношение C/N , равное или лучше, чем 14 дБ для 99% наихудшего месяца, основаны на аналоговой ЧМ передаче;
- f) что из-за этих факторов желательно разработать нормы показателей качества по готовности конкретно для цифровых многопрограммных систем;
- g) что методология для определения показателей качества по готовности для цифровых многопрограммных систем РСС должна осознавать широкий диапазон пороговых отношений C/N , на которых работают эти различные системы;
- h) что разработка норм показателей качества цифровых многопрограммных систем является полезной не только для планируемой полосы РСС, но также и для других полос РСС, например, полоса 17/21 ГГц,

далее учитывая,

а) что показатели качества цифровых многопрограммных систем могут быть охарактеризованы путем оценки готовности системы, соответствующей точке, квази-свободной от ошибок (QEF)¹, которая соответствует приему изображения с высоким качеством,

признавая,

а) что хотя многие действующие цифровые многопрограммные линии РСС имеют готовность QEF линии лучше, чем 99,5% из наихудшего месяца (или около 99,86% среднего года для наиболее дождливых зон), требуемая готовность определяется нормами показателей качества конкретных систем;

б) что Рекомендация МСЭ-R ВО.1516 – Цифровые многопрограммные системы телевидения для использования спутниками, работающими в диапазоне частот 11/12 ГГц – рекомендует, среди прочего, что при осуществлении служб цифрового многопрограммного телевидения через спутник должна выбираться одна из четырех систем передачи, описанных в Приложении 1 к этой Рекомендации;

с) что Рекомендация МСЭ-R ВО.1516 показывает, что значения отношений C/N точки QEF для этих систем распространяются по широкому диапазону значений, и что компромиссы среди первичных параметров цифровых линий могут быть использованы для удовлетворения норм показателей качества,

рекомендует,

1 что администрациям следует использовать методологии, предоставленные в Приложении 1 к этой Рекомендации, чтобы определять показатели качества по готовности системы для цифровых многопрограммных систем РСС и их связанных фидерных линий, работающих в планируемых полосах;

2 что цифровым многопрограммным системам следует предоставлять, в качестве руководства, показатели качества QEF, по меньшей мере, для $X\%$ наихудшего месяца;

3 что при осуществлении цифровых многопрограммных систем следует поддерживать целевое значение C/N дБ (минимум $C/N + Z$) внутри области обслуживания или области покрытия, по меньшей мере, для $X\%$ наихудшего месяца. В качестве руководства можно взять 99,5% как значение по умолчанию для X . Значения минимальных C/N определяются в таблице 1 (также описанной в таблице 2 Рекомендации МСЭ-R ВО.1516). Значение Z является дополнительным запасом на ухудшение².

¹ Точка QEF обычно относится к коэффициенту ошибок по битам (КОБ) приблизительно в один бит в каждый час каждого дня. Когда цифровая многопрограммная система работает с коэффициентом КОБ, равным или лучше, чем QEF, качество изображения становится исключительно функцией степеней сжатия видео и используемых алгоритмов, а не функцией КОБ канала. Когда цифровая многопрограммная система работает при коэффициенте КОБ ниже или хуже, чем QEF, тогда качество видео становится функцией как степеней сжатия видео и алгоритмов, так и коэффициента КОБ канала.

² Значение Z является суммой Z_1 и Z_2 . В случае системы С и системы D в таблице 1, дополнительный запас Z_1 нужен для реализации аппаратных средств и искажений транспондеров (ретрансляторов) спутников. В качестве руководства, значение в 1,8–2,3 дБ, зависящее от модуляции, может быть использовано как значение по умолчанию для Z_1 . Параметр Z_2 есть запас, принимающий во внимание помехи от внутрирегиональных и межрегиональных спутников РСС, шум восходящей линии и помехи от других источников. Значение Z_2 нуждается в определении для каждого конкретного случая, принимая во внимание рабочую конфигурацию индивидуальной системы и окружающую среду помех.

ТАБЛИЦА 1

Минимальное отношение C/N для работы QEF (дБ) (взято из таблицы 2 Рекомендации МСЭ-R ВО.1516)

Модуляция и кодирование		Система А	Система В	Система С	Система D
Режимы модуляции, поддерживаемые индивидуально и на той же самой несущей частоте		ЧФМН	ЧФМН	ЧФМН	8-ФМН, ЧФМН и ОФМН
C/N требования показателей качества (дБ)		C/N для QEF ⁽¹⁾	C/N для QEF ⁽²⁾	C/N для QEF ⁽³⁾	C/N для QEF ⁽⁴⁾
Режимы Внутренний код					
ОФМН	Обычн. 1/2	Не используется	Не используется	Нет	0,2
ЧФМН	Обычн. 5/11	Не используется	Не используется	2,8/3,0	Не используется
	1/2	4,1	3,8	3,3/3,5	3,2
	3/5	Нет	Не используется	4,5/4,7	Не используется
	2/3	5,8	5	5,1/5,3	4,9
	3/4	6,8	Не используется	6,0/6,2	5,9
	4/5	Не используется	Не используется	6,6/6,8	Не используется
	5/6	7,8	Не используется	7,0/7,2	6,8
	6/7	Не используется	7,6	Не используется	Не используется
7/8	8,4	Не используется	7,7/7,9	7,4	
8-ФМН	Решетка	Не используется	Не используется	Не используется	8,4

⁽¹⁾ При КОБ $< 10^{-10}$. Значения C/N для системы А относятся к результатам компьютерного моделирования, полученным на гипотетической спутниковой цепи, включающей в себя входной мультиплекс (IMUX), усилитель на лампе бегущей волны (ЛБВ) и выходной мультиплекс (OMUX), со скатом модуляции порядка 0,35. Они основаны на предположении многоальтернативного декодирования Витерби в приемнике. Было принято отношение ширины полосы частот к скорости символов порядка 1,28. Рисунки для C/N включают в себя вычисляемое ухудшение порядка 0,2 дБ из-за ограничений ширины полосы частот на фильтрах IMUX и OMUX, нелинейное искажение 0,8 дБ на усилителе с ЛБВ при насыщении и ухудшение модема 0,8 дБ. Рисунки применяются к коэффициенту КОБ $= 2 \times 10^{-4}$ перед кодированием Рида-Соломона (RS) (204,188), которое соответствует QEF на выходе кодера RS. Ухудшение из-за помех не принимается во внимание.

⁽²⁾ При КОБ порядка 1×10^{-12} .

⁽³⁾ Теоретическая ЧФМН (2 бита на каждый символ) E_s/N_0 , т. е. отношение C/N , как измерено в ширине полосы частот Найквиста (скорость в бодах/2) соответственно для нормального и усеченного спектрального формирования. Не включает в себя запас по реализации аппаратных средств или запас по потерям транспондера спутника. Два значения отвечают соответственно нормальному и усеченному спектральному формированию системы С.

⁽⁴⁾ Эти значения были получены из компьютерного моделирования и рассматриваются как теоретические значения. Значения применяются к коэффициенту КОБ $= 2 \times 10^{-4}$ перед кодированием RS (204,188) и используют ширину полосы частот Найквиста. Не включает в себя запас по реализации аппаратных средств или запас по потерям транспондера спутника.

Приложение 1

Методологии, используемые для определения показателей качества по готовности для цифровых многопрограммных систем РСС и их связанных фидерных линий, работающих в планируемых полосах

1 Введение

1.1 Общие замечания

Цифровые многопрограммные системы передачи сейчас широко распространены для использования в службе РСС. Это использование было признано внутри Сектора радиосвязи МСЭ в нескольких областях. В частности, некоторые из параметров, используемых в перепланировании Плана РСС Районов 1 и 3, отражают введение таких цифровых многопрограммных систем передачи. Одним параметром системы, который в достаточной мере не был определен для цифровых многопрограммных передач, является показатель качества по готовности системы, принимая во внимание фидерную линию и статистику замираний распространения нисходящей линии, а также конкретные характеристики цифровой системы (например, окружающая среда помех). Поскольку цифровые многопрограммные системы передачи продолжают изучаться и осуществляться, это Приложение обеспечивает рекомендованные методологии для вычисления пороговых показателей качества по готовности современных цифровых систем и моделей распространения.

1.2 Конкретные характеристики цифровых многопрограммных систем РСС

Показатели качества работающих цифровых систем РСС можно охарактеризовать путем рассмотрения двух различающихся порогов показателей качества цифровой модуляции. Первый, иногда называемый порогом QEF, характеризуется работой при коэффициенте ошибок по битам (КОБ) приблизительно одна ошибка бита в час или в день (КОБ от 10^{-9} до 10^{-12}). Второй порог, иногда упоминаемый как точка "стоп-кадра", или точка, где теряется целостность изображения видео, имеет место тогда, когда коэффициент КОБ становится достаточно высоким, и декодер сжатия видео оказывается неспособным выстроить кадр изображения. Эта точка стоп-кадра обычно очень близка к полному деблокированию несущей частоты демодулятора и шлейфов отслеживания синхронизации по битам.

Выше точки QEF цифровое качество изображения остается по существу постоянным для всех значений C/N . Фактически, уровень качества изображения видео в этой области независим от отношения C/N линии, т. е. он зависит исключительно от качества и коэффициента сжатия используемого кодера видео сжатия, а также от информационной скорости битов, назначенной каналу видео.

Качество видео быстро ухудшается от точки QEF до точки стоп-кадра из-за лавинообразного количества ошибок битов, представленных декодеру видео, которое больше не может быть уменьшено путем связанного прямого исправления ошибок. При пороге блокирования исправления ошибок, видео прекращается резко, обычно заканчиваясь зафиксированным показом самого недавнего расшифрованного кадра видео.

Согласно Примечанию 2 к пункту 1.2 раздела *рекомендует* в Рекомендации МСЭ-R ВО.1444, различие в отношениях C/N между точкой стоп-кадра и точкой QEF предполагается равным 1,5 дБ, если администрация не определяет иначе. В этой Рекомендации пороговая готовность рассчитывается в точке QEF.

2 Описание рекомендуемых методологий

2.1 Введение значимых параметров

Показатели качества цифровой линии РСС зависят от технического проектирования линии, включая выбор цифрового кодирования, мультиплексирования и методов модуляции, эквивалентной изотропно излучаемой мощности (э.и.и.м.) спутника и добротности (G/T) приемника РСС. Другие параметры, которые будут воздействовать на готовность системы, включают в себя замирания распространения, деполяризацию из-за дождя, нарушение регулировки поляризации, нарушение точности наведения приемной антенны, управление мощностью фидерной восходящей линии (УРС), автоматическую регулировку усиления (АРУ) на борту спутника и помехи от соседних систем РСС.

Таблица 2 предоставляет перечень Рекомендаций МСЭ-R, используемых в последующих секциях. Рассматриваются методы, упомянутые в Рекомендации МСЭ-R ВО.794, чтобы свести к минимуму на фидерной линии воздействие затухания из-за дождя, и в конкретном УРС, а также в бортовой АРУ: УРС позволяет фидерной линии поддерживать заданный уровень мощности в спутнике в присутствии замираний распространения, в то время как бортовая АРУ поддерживает суммарную принимаемую мощность спутника до такого уровня, что усилитель мощности работает на постоянном уровне, т. е. спутник поддерживает уровень э.и.и.м. нисходящей линии независимо от состояния канала восходящей линии. Учитывая, что обычно предполагают, что сигналы помех восходящей линии не замирают в то же самое время, как на желательной линии, использование бортовых АРУ приводит к увеличению мощности сигнала помех восходящей линии, которое уменьшает отношение C/I восходящей линии. К разнесению местоположений, также обсуждаемому в Рекомендации МСЭ-R ВО.794, в полной мере обращаются в Рекомендации МСЭ-R Р.618, где обеспечивается преобразование из готовности для одной линии в готовность многократного разнесения местоположений; если подходит, это преобразование может быть применено к результатам, полученным с использованием методологии, представленной ниже.

2.2 Показатели качества системы

Общие показатели качества системы определяются общим отношением составной мощности несущей частоты к шуму вместе с помехами, $C/(N + I)$, которое определяется с помощью:

$$C/(N + I) = C/(N + I)_u \oplus C/(N + I)_d \quad \text{дБ}, \quad (1)$$

где:

$$C/(N + I)_u = C/N_u \oplus C/I_u \quad \text{дБ} \quad (1a)$$

$$C/(N + I)_d = C/N_d \oplus C/I_d \quad \text{дБ} \quad (1b)$$

и

C/N_u : отношение мощности несущей частоты восходящей линии к тепловому шуму (дБ)

C/I_u : отношение мощности несущей частоты восходящей линии к помехам (дБ)

C/N_d : отношение мощности несущей частоты нисходящей линии к тепловому шуму (дБ)

C/I_d : отношение мощности несущей частоты нисходящей линии к помехам (дБ)

Оператор \oplus : $A \oplus B = -10 \log (10^{-A/10} + 10^{-B/10})$.

ТАБЛИЦА 2
Значимые Рекомендации МСЭ-R

Рекомендация МСЭ-R	Название	Применение	
P.618	Данные о распространении и методы предсказания, требуемые для разработки систем электросвязи "Земля–космос"	Затухание распространения	
P.676	Ослабление атмосферными газами		
P.837	Характеристики атмосферных осадков для моделирования распространения		
P.839	Модель высоты слоя осадков для методов предсказания		
P.840	Затухание из-за облачности и тумана		
P.841	Преобразование ежегодной статистики в статистику наихудшего месяца		
P.838	Конкретная модель затухания для дождя для использования в методах предсказания		
P.1511	Топография моделирования распространения "Земля–космос"		
P.453	Преломляющий индекс радио: его формула и данные преломляемости		
P.835	Эталонные стандартные атмосферы		
P.679	Данные о распространении для разработки радиовещательных спутниковых систем		
ВО.790	Характеристики приемного оборудования и вычисление добротности приемника (G/T) для радиовещательной спутниковой службы		Вычисление добротности приемника (G/T)
ВО.793	Разделение шума между фидерными линиями для радиовещательной спутниковой службы (РСС) и нисходящими линиями РСС		Разделение шума
ВО.794	Методы для минимизации воздействия на общие показатели качества системы РСС из-за дождя вдоль тракта "фидер–линия"	Методы уменьшения замираний из-за дождя	
ВО.1212	Вычисление суммарных помех между геостационарными спутниковыми сетями в радиовещательной спутниковой службе	Вычисление C/I	
ВО.1516	Цифровые многопрограммные телевизионные системы для использования спутниками, работающими в полосе частот 11/12 ГГц	Параметры модуляции и кодирования	

2.2.1 Вычисление отношения C/N_u

Отношение мощности несущей частоты восходящей линии к тепловому шуму (C/N_u) дается с помощью:

$$C/N_u = EIRP_u - L_{su} - A_{pu}(p_u) + UPC(p_u) - BW_{effu} - k + G/T_s \quad \text{дБ}, \quad (2)$$

где:

$EIRP_u$: эффективная изотропная излучаемая мощность восходящей линии (дБВт) в ясном небе

L_{su} : затухание в свободном пространстве восходящей линии (дБ), вычисляемое как:
 $20 \log (4\pi R_u / \lambda_u)$,

где:

R_u : интервал (м) между станцией фидерной линии и спутником

λ_u : длина волны восходящей линии (м)

$A_{pu}(p_u)$: суммарное затухание распространения восходящей линии (дБ), превышаемое p_u % времени; определено МСЭ-R Р.618, п. 2.5 как

$$= A_{gu} + A_u(p_u),$$

где:

A_{gu} : газовое поглощение для восходящей линии (дБ) (Рекомендация МСЭ-R Р.676)

$$A_u(p_u) = \sqrt{(A_{ru}(p_u) + A_{cu}(p_u))^2 + A_{su}^2(p_u)}$$

$A_{ru}(p_u)$: затухание из-за дождя для восходящей линии (дБ), превышаемое p_u % времени (Рекомендация МСЭ-R Р.618)

$A_{cu}(p_u)$: затухание из-за облачности и тумана для восходящей линии (дБ), превышаемое p_u % времени

$A_{su}(p_u)$: замирания мерцаний для восходящей линии (дБ), превышающие p_u % времени

P_u : превышение или неготовность восходящей линии (%)

$UPC(p_u)$: коэффициент управления мощностью восходящей линии (дБ), вычисленный как:
 $= 0$, в условиях ясного неба или когда управление мощностью восходящей линии не используется

$=$ минимум ($A_u(p_u)$, UPC_{max}) $- \epsilon$, в условиях замираний,

где:

UPC_{max} : максимальное увеличение передаваемой мощности (дБ) в присутствии затухания распространения тракта

ϵ : пиковая положительная ошибка управления мощностью линии восходящего направления (дБ)

Bw_{effu} : эффективная ширина полосы частот шума восходящей линии (дБ/Гц) для цифровой несущей частоты

k : постоянная Больцмана $= -228,6$ (дБ(Вт/К · Гц))

G/T_s : добротность приемника спутника (дБ/К).

2.2.2 Вычисление отношения C/N_d

При использовании на борту АРУ и/или UРС, системы РСС разрабатываются так, что транспондер спутника работает на постоянном уровне вплоть до точки, где отношение $C/(N + I)$ восходящей линии падает ниже порога, порождая выход системы независимо от состояния канала нисходящей линии. Соответственно, мощность э.и.и.м. спутника поддерживается постоянной, и тем самым показатели качества по готовности нисходящей линии являются, для всех практических целей, развязанными от показателей качества восходящей линии. При этих условиях отношение мощности несущей частот нисходящей линии к тепловому шуму C/N_d дается с помощью:

$$C/N_d = EIRP_d - L_{sd} - A_{pd}(p_d) - BW_{effd} - k + G/T_g - Z_1 - dT(p_d) \quad \text{дБ}, \quad (3)$$

где:

$EIRP_d$: эффективная изотропная излучаемая мощность нисходящей линии (дБВт)

L_{sd} : затухание в свободном пространстве для нисходящей линии (дБ), вычисляемое как:

$$= 20 \log(4\pi R_d/\lambda_d),$$

где:

R_d : интервал (м) между спутником и терминалом приемника

λ_d : длина волны нисходящей линии (м)

$A_{pd}(p_d)$: суммарное затухание распространения нисходящей линии (дБ), превышаемое $p_d\%$ времени; которое определено Рекомендацией МСЭ-R Р.618, п. 2.5 как

$$= A_{gd} + A_d(p_d),$$

где:

A_{gd} : газовое поглощение для нисходящей линии (дБ) (Рекомендация МСЭ-R Р.676)

$$A_d(p_d) = \sqrt{(A_{rd}(p_d) + A_{cd}(p_d))^2 + A_{sd}^2(p_d)}$$

$A_{rd}(p_d)$: затухание из-за дождя для нисходящей линии (дБ), превышаемое $p_d\%$ времени (Рекомендация МСЭ-R Р.618)

$A_{cd}(p_d)$: затухание из-за облачности и тумана нисходящей линии (дБ), превышаемое $p_d\%$ времени

$A_{sd}(p_d)$: замирания мерцаний нисходящей линии (дБ), превышающие $p_d\%$ времени

P_d : превышение или неготовность нисходящей линии (%)

BW_{effd} : эффективная ширина полосы частот шума нисходящей линии (дБ/Гц) для цифровой несущей частоты, такая же, как BW_{effu} для спутника-ретранслятора типа "коленчатой трубы"

G/T_g : используемая добротность терминала приемника (дБ/К) в условиях ясного неба, включая только воздействие газового поглощения (Рекомендация МСЭ-R ВО.790, Приложение 1, п. 1, без затухания из-за дождя и облачности)

Z_1 : коэффициент настройки (дБ) для искажения транспондера спутника

$dT(p_d)$: увеличение шумовой температуры (дБ/К) из-за затухания тракта от дождя и облачности, превышаемое $p_d\%$ времени (например, разность в G/T при использовании Рекомендации МСЭ-R ВО.790, Приложение 1, п. 1 с:

1. затухание тракта установлено в значение $A_{gd} + A_{rd} + A_{cd}$,
2. затухание тракта установлено только в значение A_{gd} .

2.2.3 Вычисление общего отношения C/I

Общее совокупное отношение мощности несущей частоты к помехам, C/I , дается выражением:

$$C/I = C/I_u \oplus C/I_d \quad \text{дБ}, \quad (4)$$

где:

C/I_u : отношение мощности несущей частоты восходящей линии к помехам (дБ)

C/I_d : отношение мощности несущей частоты нисходящей линии к помехам (дБ).

Рекомендация МСЭ-R ВО.1212 используется для вычисления отношений C/I восходящей и нисходящей линий в условиях ясного неба, включая помехи внутри системы РСС и между системами РСС. При замираниях канала сигналы помех между системами предполагаются не замирающими. В сочетании с использованием URC и/или бортовой АРУ межсистемные отношения C/I при замираниях эквивалентны отношениям C/I для ясного неба, уменьшенные на уровень замираний канала так, что:

$$C/I_u = [C/I_{cu} - A_u(p_u) + UPC(p_u)] \oplus CI_{intra}^u(p_u) \quad \text{дБ} \quad (4a)$$

$$C/I_d = [C/I_{cd} - A_d(p_d)] \oplus CI_{intra}^d(p_d) \quad \text{дБ}, \quad (4b)$$

где:

C/I_{cu} : межсистемное отношение C/I (дБ) восходящей линии при ясном небе согласно Рекомендации МСЭ-R ВО.1212, при рассмотрении только атмосферного газообразного поглощения (Рекомендация МСЭ-R Р.676) как для линий, подверженных помехам, так и для желаемых линий, и без учета URC

C/I_{cd} : межсистемное отношение C/I (дБ) нисходящей линии при ясном небе согласно Рекомендации МСЭ-R ВО.1212, при рассмотрении только атмосферного газообразного поглощения (Рекомендация МСЭ-R Р.676) как для линий, подверженных помехам, и для желаемых линий

$$C/I_{intra} = CI_{intra}^u(p_u) \oplus CI_{intra}^d(p_d) \quad \text{дБ}$$

C/I_{intra} : общее отношение совокупной несущей частоты к межсистемным помехам (дБ)

$CI_{intra}^u(p_u)$: отношение несущей частоты восходящей линии к внутрисистемным помехам (дБ) согласно Рекомендациям МСЭ-R ВО.1212 и МСЭ-R Р.618 для деполяризации из-за дождя

$CI_{intra}^d(p_d)$: отношение несущей частоты нисходящей линии к внутрисистемным помехам (дБ) согласно Рекомендациям МСЭ-R ВО.1212 и МСЭ-R Р.618 для деполяризации из-за дождя.

2.3 Общая готовность системы

Общая готовность системы определяет способность системы поддерживать ее общее совокупное отношение $C/(N + I)$ выше заданного порога во времени. Замирания распространения тракта в линиях определяют эти показатели качества по готовности во времени.

При условии, что использование UРС и/или бортовой АРУ поддерживает постоянным мощность э.и.и.м. спутника независимо от замираний фидерной линии, отношения $C/(N + I)$ восходящей и нисходящей линий тем самым развязываются. Определяя:

$$\left(\frac{n+i}{c}\right) = 10^{-0,1C/(N+I)}; \left(\frac{n+i}{c}\right)_u = 10^{-0,1C/(N+I)_u}; \left(\frac{n+i}{c}\right)_d = 10^{-0,1C/(N+I)_d}$$

так, что $\left(\frac{n+i}{c}\right) = \left(\frac{n+i}{c}\right)_u + \left(\frac{n+i}{c}\right)_d$

и при условии, что замирания фидерной линии и тракта линии службы можно считать некоррелированными, общее совокупное отношение $\left(\frac{n+i}{c}\right)$ есть функция суммы двух независимых случайных переменных. Таким образом, функция плотности вероятности (PDF) общего совокупного отношения $\left(\frac{n+i}{c}\right)$ (и тем самым $(C/N + I)$) является сверткой функций PDF соотношения $\left(\frac{n+i}{c}\right)$ восходящей и нисходящей линий.

Могут быть использованы приближения для получения верхней границы и аппроксимированной нижней границы по общей готовности системы, тем самым избегая несколько сложных вычислений, требуемых для точного решения. Эти подходы описаны в следующих секциях.

Ежегодная вероятность готовности, полученная ниже, может быть преобразована в готовность худшего месяца, используя метод преобразования из Рекомендации МСЭ-R Р.841, для среднего ежегодного глобального климата (для целей планирования) или другого климата.

2.3.1 Процент превышения как функция уровня замираний

В осуществлении вычисления в следующих секциях нужно получать вероятность превышения как функцию уровня замираний. Рекомендация МСЭ-R Р.618 не обеспечивает прямую методологию, чтобы это сделать. Ниже представлены две методологии.

Процент превышения для заданного уровня замираний может быть найден непосредственно из графика кривой затухания для изучаемой линии РСС. Принимая в качестве примера линию РСС, определенную в таблице 3, суммарное затухание распространения нисходящей линии $A_{pd}(p_d)$ показано на рисунке 1 как функция вероятности ежегодного превышения p_d , вычисленная в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R Р.618. Этот график показывает, например, что 3 дБ суммарного затухания распространения нисходящей линии соответствуют приблизительно 0,025% превышения, или готовности 99,975%. В осуществлении машинного кода, точки данных, описывающие кривую, могут храниться в таблице, а когда требуемый уровень замираний распространения попадает между двумя точками данных, то для оценки связанной вероятности превышения могут быть использованы методы интерполяции.

Альтернативная методология для использования подготовленных/сведенных в таблицу кривых затухания должна развить машинный код, который будет:

- вычислять уровень замираний распространения для заданного процента превышения времени, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.618; и
- осуществлять итерацию для различных значений процента превышения времени, пока не получено желаемое значение замираний. Этот последний метод используется для порождения результатов для примера в п. 3.

Отметим, что как только взаимоотношение между процентом времени превышения и уровнем затухания достигнуто, уравнения с (1) по (4) могут быть использованы для получения соответствующего взаимоотношения между $C/(N + I_u)$ или $C/(N + I_d)$ и процента превышения времени.

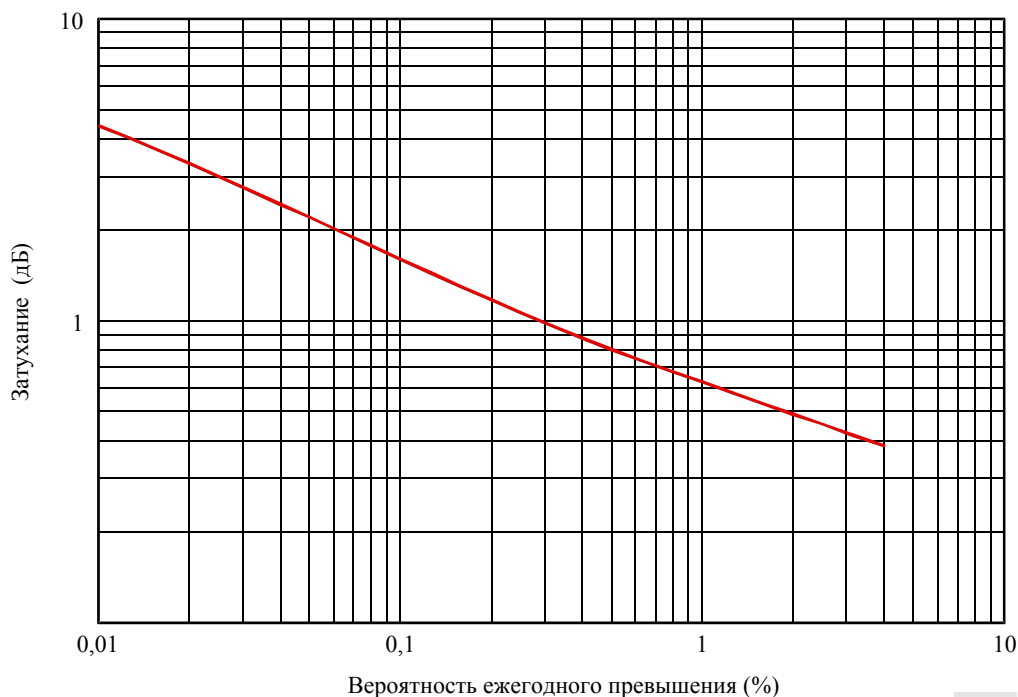
ТАБЛИЦА 3

Примерная система

Частота нисходящей линии (ГГц)	12
Поляризация	Круговая
Угол возвышения (градусы)	30
Широта терминала (° с. ш.)	50
Долгота терминала (° в. д.)	10
Высота над средним уровнем моря (км)	0 (Вычислена, Рекомендация МСЭ-R P.1511)
Диаметр антенны терминала (см)	60
Эффективность антенны терминала (%)	70
Сезон	Глобальный средний ежегодный климат

РИСУНОК 1

Кривая потерь распространения для примерной линии



2.3.2 Точная готовность системы

Для точного определения общей готовности системы P_s , необходимо получить функции PDF для каждого из отношений $\left(\frac{n+i}{c}\right)_u$ и $\left(\frac{n+i}{c}\right)_d$ и свернуть эти две функции PDF для порождения функции PDF из совокупного соотношения $\left(\frac{n+i}{c}\right)$. Уравнения с (1) по (4) используются для нахождения взаимоотношения между процентом времени превышения (или неготовности p_u и p_d) и связанного отношения $\left(\frac{n+i}{c}\right)$ восходящей или нисходящей линии. Этими взаимоотношениями являются функции совокупного распределения (CDF) отношения $\left(\frac{n+i}{c}\right)$ восходящей или нисходящей линий. Взятие производных от этих функций обеспечивает требуемые функции PDF. После свертывания двух функций PDF получаем общую функцию PDF, которая после интеграции, приводит к функции CDF общего совокупного отношения $\left(\frac{n+i}{c}\right)$, которое затем легко может быть преобразовано в готовность системы, соответствующую заданному порогу $C/(N+I)$.

Раздел 1 Дополнения 1 к этому Приложению предоставляет пример осуществления этих вычислений в машинном коде. Очевидно, имеются другие многочисленные подходы, которые могут быть разработана для получения тех же самых результатов.

2.3.3 Приближенная готовность системы

2.3.3.1 Верхняя граница

Верхняя граница общей готовности системы P_s может быть получена путем предположения, что отказ будет иметь место тогда, когда *любое* из отношений $C/(N+I)$ восходящей или нисходящей линии будет падать ниже соответствующих порогов QEF, при этом такие пороги определяются как точка, где отказ будет иметь место при условиях, что другая линия не испытывает замираний из-за дождя. В этом случае готовность системы ($P_s = 100 - p_s$) получается из выражения:

$$p_s = p'_u + p'_d - \frac{p'_u p'_d}{100}, \quad (5)$$

где:

p_s : общая неготовность системы (%)

p'_u : превышение или неготовность восходящей линии: вероятность (%), что отношение $C/(N+I)$ восходящей линии ниже порога QEF восходящей линии

p'_d : превышение или неготовность нисходящей линии: вероятность (%), что отношение $C/(N+I)$ нисходящей линии ниже порога QEF нисходящей линии.

Определение готовности системы, когда только одна из линий имеет замирания из-за дождя, является сложным процессом из-за необходимости рассматривать зависящие от готовности замирания от облачности и мерцаний в общей линии. Для фидерной линии можно предположить, что запас восходящей линии на дождь будет уменьшать замирания из-за облачности и мерцаний во время периодов времени без дождя. Кроме того, при дожде на восходящей линии, замирания из-за облачности и мерцаний будут малыми вкладчиками для суммарных замираний тракта распространения. Таким образом, замирания из-за облачности и мерцаний в фидерной линии могут быть проигнорированы. Однако нисходящие линии РСС имеют меньший запас, так что замирания из-за облачности и мерцаний следует учитывать. Соответственно, требуется итеративный подход для определения полной готовности системы, для указания зависимости некоторых таких параметров, как замирания из-за облачности и мерцаний, а также увеличение шумовой температуры приемника, на готовность системы. Дополнения 1 и 2 к этому Приложению представляют такой подход.

2.3.3.2 Приближенная нижняя граница

В обычных системах РСС отношение $C/(N+I)_u$ для ясного неба обычно разрабатывается так, чтобы быть намного выше, чем отношение для нисходящей линии. Даже тогда, когда существует высокое затухание для распространения на восходящей линии, оказывается возможным поддерживать отношение $C/(N+I)_u$, которое во много больше порога QEF, путем осуществления таких методов уменьшения замираний восходящей линии, как UPC и/или разнесение местоположений. Поэтому, предполагая постоянное минимальное отношение $C/(N+I)_u$ находящееся много раз выше порога QEF и, если воздействием p'_u можно пренебречь, общую неготовность системы p_s непосредственно получают из превышения или из неготовности нисходящей линии ($p_s = p'_d$), принимая во внимание постоянное отношение $C/(N + I)_u$.

3 Пример

Рассматривается гипотетическая система для сравнения полученных результатов показателей качества по готовности системы, используя две методологии, представленные в п. 2.3.

Технические требования для этой системы представлены в таблице 4. В этом примере используется постоянное общее совокупное отношение, C/I_{intra} , внутрисистемной несущей частоты к помехам. Вычисленные результаты показателей качества по готовности представлены в таблице 5 для точного решения и методологий приближения, осуществленных согласно Дополнению 1. Рисунок 2 представляет функцию совокупного распределения превышения нисходящей и восходящей линий в зависимости от $C/(N + I)$, игнорируя вклад C/I_{intra} , в то время как рисунок 3 представляет функцию CDF общего совокупного отношения $C/(N + I)$.

ТАБЛИЦА 4
Технические требования систем

Поляризация	Круговая
Долгота спутника (° в. д.)	-130
Мощность э.и.и.м. нисходящей линии спутника в ясном небе (дБВт)	50
Добротность G/T приемника спутника (дБ/К)	4
Частота восходящей линии (ГГц)	17,3
Частота нисходящей линии (ГГц)	12,2
Коэффициент Z_1 настройки искажений транспондера спутника (дБ)	0
Эффективная ширина полосы шума восходящей линии для цифровой несущей частоты (МГц)	24
Эффективная ширина полосы шума нисходящей линии для цифровой несущей частоты (МГц)	24
$C/(N + I)$ порога QEF (дБ)	7,6
Широта (° с. ш.), долгота (° в. д.) фидерной станции	50, -90
Управление мощностью восходящей линии: UPC_{max} (дБ) ϵ (дБ)	3 0,25
Мощность э.и.и.м. восходящей линии фидерной станции в ясном небе (дБВт)	80
Размер антенны фидерной станции (м)	7
Эффективность антенны фидерной станции (%)	65
Широта (с. ш.)/долгота (в. д.) терминала	60, -110
Добротность терминала G/T (дБ/К), вычисленная из Рекомендации МСЭ-T ВО.790	12,5
Входные данные Рекомендации МСЭ-R ВО.790: $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ (градусы)	0,4, 0,01, 0,05
Входные данные Рекомендации МСЭ-R ВО.790: шумовая температура антенны в ясном небе (К)	50
Входные данные Рекомендации МСЭ-R ВО.790: общие потери связности α	1
Входные данные Рекомендации МСЭ-R ВО.790: ширина луча приемной антенны на уровне 3 дБ (градусы)	3,8
Входные данные Рекомендации МСЭ-R ВО.790: коэффициент шума приемника в ясном небе (дБ)	0,91
Диаметр антенны терминала (см)	45
Эффективность антенны терминала (%)	70
Межсистемное отношение C/I (C/I_{cd}) при ясном небе для нисходящей линии (дБ)	21
Межсистемное отношение C/I (C/I_{cd}) при ясном небе для восходящей линии (дБ)	25
Общее групповое межсистемное отношение C/I (C/I_{intra}) (дБ)	18
Сезон (например, глобальный средний ежегодный климат)	Глобальный средний ежегодный

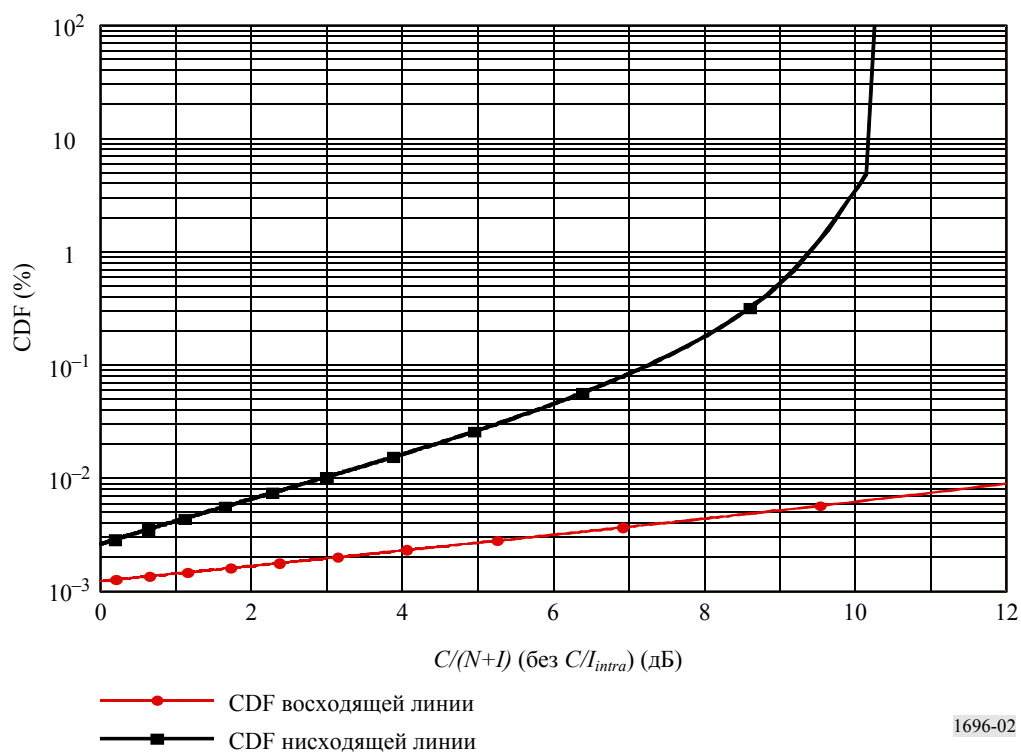
ТАБЛИЦА 5

Вычисленные показатели качества по готовности

Аппроксимированная готовность системы	
Превышение восходящей линии p'_u (%)	0,001
Превышение нисходящей линии p'_d (%)	0,2
Ежегодная статистика системной готовности p_s (%)	99,79
Точная готовность системы	
Ежегодная статистика системной готовности p_s (%)	99,774

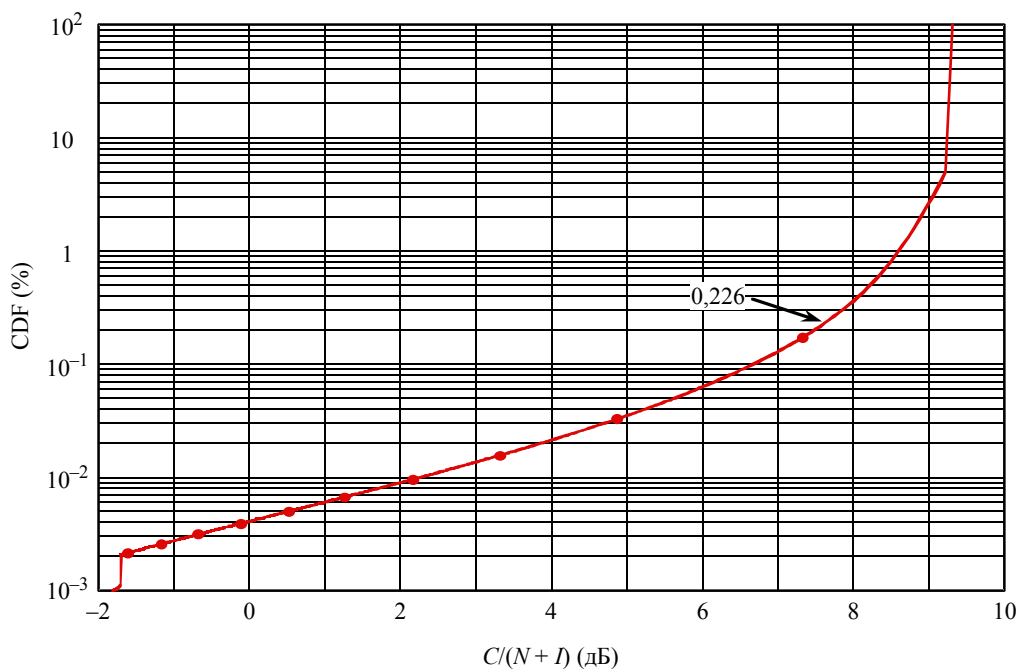
РИСУНОК 2

Превышение (CDF) для восходящей и нисходящей линий



1696-02

РИСУНОК 3
Общее групповое CDF



1696-03

Дополнение 1 к Приложению 1

Примерные осуществления рекомендованных методологий

Предложенные методологии, описанные в пп. 2.3.2 и 2.3.3 Приложения 1, могут быть осуществлены различными путями. Следующие секции описывают один подход к осуществлению каждой из этих методологий.

1 Точная готовность системы

Следующий алгоритм описывает один возможный подход к осуществлению методологии точного решения, описанной в п. 2.3.2, чтобы определить полную готовность системы P_s .

Отметим, что модели распространения в Рекомендации МСЭ-R Р.618-8 для замираний из-за облачности, дождя и мерцаний действительны только по объединенному диапазону превышения (p_u или p_d) порядка от 0,01% до 5%, при этом нижняя граница налагается моделью замираний из-за мерцания. В следующей процедуре этот диапазон расширяется вниз до 0,001%, предполагая, что замирания из-за мерцания в 0,01% сохраняются для более низких процентных отношений.

Шаг 1: Установить $p_u = p_d = 0,001\%$ и соответственно вычислить связанные отношения $C/(N+I)_u$ и $C/(N+I)_d$, используя уравнения (1a), (1b), (2), (3), (4a) и (4b). Обозначить эти отношения как $Y_u = C/(N+I)_u$ и $Y_d = C/(N+I)_d$. Эти отношения представляют минимальное интересующее отношение $C/(N+I)$ в каждой линии.

Шаг 2: Установить $p_u = p_d = 5\%$ и соответственно вычислить связанные отношения $C/(N+I)_u$ и $C/(N+I)_d$, используя те же самые уравнения, что и в шаге 1. Обозначить эти отношения как $X_u = C/(N+I)_u$ и $X_d = C/(N+I)_d$. Эти отношения представляют максимальное интересующее отношение $C/(N+I)$ в каждой линии.

Шаг 3: Установить $X = \max(X_u, X_d)$ и $Y = \min(Y_u, Y_d)$.

Шаг 4: Определить количество точек, M , в требуемых PDF восходящей и нисходящей линий. M следует выбирать так, чтобы было достигнуто требуемое решение на заключительной PDF. В качестве руководства, $M > \text{округление} [(X-Y)/0,1]$ должно быть достаточно, где округление (x) является следующим целым числом, которое больше x .

Шаг 5: Определить M равноудаленных значений в интервале $[10^{-X/10} - dw, 10^{-Y/10}]$ и обозначить их как $w(n)$, где для $n = M - j + 1$ получают $w(M - j + 1) = 10^{-Y/10} - (j - 1) * dw$; $dw = (10^{-Y/10} - 10^{-X/10}) / (M - 2)$ и $j = 1, \dots, M$. Матрица $w(n)$ определяет значения $\left(\frac{n+i}{c}\right)$, через которые будут определяться PDF восходящей и нисходящей линий.

Шаг 6: Для $j = \text{от } 1 \text{ до } M$

если $w(j) < 10^{-X} u^{10}$

установить $P_u(j) = 1$;

иначе, если $w(j) > 10^{-Y} u^{10}$

установить $P_u(j) = 0$;

иначе,

вычислить $A_{pu}(p_u)$, требуемое для достижения $C/(N+I)_u = -10 \log w(j)$;

вычислить p_u , связанное с этим A_{pu} , используя Рекомендацию МСЭ-R P.618-8;

установить $P_u(j) = p_u/100$;

конец.

Конец для цикла.

В конце этого шага имеют матрицу $P_u(j)$, определяющую CDF для интересующих значений $\left(\frac{n+i}{c}\right)_u$ (т. е. $w(j)$).

Шаг 7: Повторить шаг (5) для нахождения $P_d(j)$ заданных $C/(N+I)_d$, X_d и Y_d . В конце этого шага имеют матрицу $P_d(j)$, определяющую CDF для интересующих значений

$\left(\frac{n+i}{c}\right)_d$ (т. е. $w(j)$).

Шаг 8: Обозначить PDF $\left(\frac{n+i}{c}\right)_u$ как $f_u(\cdot)$ и $\left(\frac{n+i}{c}\right)_d$ как $f_d(\cdot)$, определяемые с помощью:

$$f_u(j-1) = \text{Prob}\left\{\left(\frac{n+i}{c}\right)_u = w(j-1)\right\} = P_u(j-1) - P_u(j) \quad j = 2, 3, \dots, M$$

$$f_d(j-1) = \text{Prob}\left\{\left(\frac{n+i}{c}\right)_d = w(j-1)\right\} = P_d(j-1) - P_d(j) \quad j = 2, 3, \dots, M$$

Шаг 9: Определить $k = m + j - 1$, затем $z(k) = w(m) + w(j)$ для $m, j = 1, \dots, M - 1$ и, соответственно, $k = 1, 2, \dots, 2 * M - 3$.

Шаг 10: Применить свертку индивидуальных PDF следующим образом:

$$f(z(k)) = \sum_{j=1}^{M-1} f_u(j) f_d(k-j) \quad k=1, \dots, 2 * M - 3.$$

Отметить, что если n не находится в интервале $[1, M - 1]$, тогда $f_u(n) = 0$ и $f_d(n) = 0$.

Шаг 11: PDF общего группового отношения $C/(N + I)$ тогда дается выражением:

$$\text{Prob}(C/(N + I) = -10 \log z(k)) = f(z(k)).$$

Шаг 12: Готовность системы P_s , которая является вероятностью того, что общее групповое отношение $C/(N + I)$ больше, чем порог (Z), дается выражением:

$$P_s = \sum_{k=1}^L f(z(k)),$$

где L таково, что $-10 \log z(L) \geq Z$ и $-10 \log z(L + 1) < Z$.

2 Аппроксимированная готовность системы

Следующий алгоритм описывает один возможный подход к осуществлению методологии приближения, описанной в п. 2.3.3 Приложения 1, чтобы определить верхнюю границу и приближенную нижнюю границу полной готовности системы P_s .

2.1 Верхняя граница

Подход состоит в решении сначала p'_d и затем p'_u , предполагая, что когда в интересующей линии действуют замирания из-за дождя, в других линиях замираний нет.

Для решения p'_d , определяется целевое отношение $C/(N + I)_d$, требуемое для удовлетворения отношения $C/(N + I)$ порога QEF для восходящей линии в ясном небе, из которого получается верхняя граница на потерях распространения нисходящей линии, с которым система может закрыть нисходящую линию. Итеративный алгоритм затем определяет увеличение шумовой температуры приемника как функцию неготовности системы и потери распространения нисходящей линии, осуществляя схождение к полной неготовности системы, которая, будучи примененной как к восходящей линии в ясном небе, так и к нисходящей линии с замираниями из-за дождя, удовлетворяет отношению $C/(N + I)$ порога QEF.

Для решения p'_u , вычисляется первая оценка общей неготовности системы p_s , предполагая идеальную нисходящую линию, т. е. без замираний из-за дождя, облачности и мерцаний. Значение p'_u затем итеративно вычисляется повторно, предполагая, что предыдущее p_s должно определять воздействия замираний из-за облачности и мерцаний на отношение $C/(N + I)_d$, которое оказывает воздействие на p'_u . Эта итерация в итоге сходится к заключительному решению для p_s и p'_u .

Как было упомянуто в предыдущей секции, модели распространения в Рекомендациях МСЭ-R P.618-8 для замираний из-за облачности, дождя и мерцаний являются действительными только по составному диапазону превышения (p_u или p_d) от 0,01% до 5%, при этом нижняя граница налагается моделью замираний из-за мерцаний. В следующей процедуре этот диапазон расширяется вниз до 0,001% путем предположения, что замирания из-за мерцаний на значении 0,01% поддерживаются для более низких процентных отношений.

2.1.1 Вычисление p'_d

Вычисление p'_d осуществляется по следующему алгоритму.

Шаг 1: Используя уравнения с (1) по (4), вычислить целевое отношение $C/(N+I)_d$ в котором общее отношение $C/(N+I) =$ пороговому отношению $C/(N+I)$ для QEF, предполагая восходящую линию в ясном небе ($A_{pu} = 0$; $UPC = 0$).

Шаг 2: Установить $p_d = 0,001\%$ и вычислить A_{pd} и dT .

Шаг 3: Вычислить самое низкое отношение $C/(N+I)_d$, используя вышеуказанные значения A_{pd} и dT .

Шаг 4: Если самое низкое отношение $C/(N+I)_d$ находится выше целевого отношения $C/(N+I)_d$, тогда установить $p'_d = p_d = 0$ и пропустить остающиеся шаги.

Шаг 5: Вычислить A_{pd} для удовлетворения целевого отношения $C/(N+I)_d$, предполагая $dT = 0$.

Шаг 6: Используя Рекомендацию МСЭ-R P.618, определить неготовность нисходящей линии p_d , связанную с A_{pd} .

Шаг 7: Вычислить dT , связанное с p_d .

Шаг 8: Повторно вычислить A_{pd} для удовлетворения целевого отношения $C/(N+I)_d$, задав вышеуказанное dT .

Шаг 9: Повторить шаги с 6 по 8, пока повторно вычисленное A_{pd} не сойдется с приемлемой ошибкой (дельта) в точке, в которой $p'_d = p_d$ было решено для сценария восходящей линии в ясном небе и нисходящей линии с замираниями из-за дождя.

2.1.2 Вычисление p'_u и p_s

Как обсуждалось выше, замирания из-за облачности и мерцаний восходящей линии можно игнорировать для этого вычисления. Поэтому $A_u = A_{ru}$.

Шаг 1: Используя уравнения с (1) по (4), вычислить A_{ru} , в котором общее отношение $C/(N+I) =$ отношению $C/(N+I)$ порога QEF, предполагая: на нисходящей линии нет замираний из-за дождя ($A_{rd} = A_{cd} = A_{sd} = 0$), и управление максимальной мощностью восходящей линии ($UPC = UPC_{max}$), если применяется. Это начальное значение A_{ru} представляет верхнюю границу затухания восходящей линии из-за дождя, с которым система может закрыть линию.

Шаг 2: Используя Рекомендацию МСЭ-R P.618, определить неготовность восходящей линии p_u , связанную с A_{ru} . Это представляет нижнюю границу неготовности.

Шаг 3: Вычислить общую неготовность p_s , используя уравнение (5) с $p'_u = p_u$ и p'_d , вычисленным в п. 2.1 выше.

Шаг 4: Установить p_d в дробную величину p_s в первой итерации или после этого увеличить p_d на эту дробную величину. Дробная величина относится к требуемой точности. В качестве примера, установить дробную величину в десять раз меньше, чем запрашиваемая точность. Учитывая, что процедура действительна для процентных отношений превышения выше 0,001%, размер шага не может быть менее 0,001%.

Шаг 5: вычислить A_{pd} и $C/(N+I)_d$ для p_d и без затухания нисходящей линии из-за дождя ($A_{rd} = 0$), т. е. включая только замирания из-за газового поглощения, облачности и мерцаний.

Шаг 6: Повторно вычислить A_{ru} , при котором общее отношение $C/(N+I) =$ отношению $C/(N+I)$ порога QEF, задав $C/(N+I)_d$ из шага 5.

Шаг 7: Используя Рекомендацию МСЭ-R Р.618, определить новую неготовность восходящей линии p_u , задав A_{ru} .

Шаг 8: Повторно вычислить p_s , используя $p'_u = p_u$ и p'_d , вычисленное в п. 2.1, выше.

Шаг 9: Повторить шаги с 4 по 8, пока повторно вычисленное p_s не сойдется в пределах приемлемой ошибки (т. е. изменения на величину меньше, чем эта допустимая ошибка с последующими итерациями).

2.2 Аппроксимированная нижняя граница

Следующий далее алгоритм осуществляет методологию, описанную в п. 2.3.3.2 Приложения 1, для определения приблизительной нижней границы общей неготовности системы P_s .

Шаг 1: Используя уравнения (1), (3) и (4), вычислить целевое отношение $C/(N+I)_d$, на котором общее отношение $C/(N+I) =$ отношению $C/(N+I)$ порога QEF, предполагая, что постоянное отношение $C/(N+I)_u$ значительно выше QEF.

Шаг 2: Установить $p_d = 0,001\%$ и вычислить A_{pd} и dT .

Шаг 3: Вычислить самое низкое отношение $C/(N+I)_d$, используя вышеуказанные значения A_{pd} и dT .

Шаг 4: Если самое низкое отношение $C/(N+I)_d$ находится выше целевого отношения $C/(N+I)_d$, тогда установить $p_d = 0$ и пропустить остающиеся шаги до шага 10.

Шаг 5: Вычислить A_{pd} для удовлетворения целевого отношения $C/(N+I)_d$, предполагая $dT = 0$.

Шаг 6: Используя Рекомендацию МСЭ-R Р.618, определить неготовность нисходящей линии p_d , связанной с A_{pd} .

Шаг 7: Вычислить dT , связанное с p_d .

Шаг 8: Повторно вычислить A_{pd} для удовлетворения целевого отношения $C/(N+I)_d$, задав вышеуказанное dT .

Шаг 9: Повторять шаги с 6 по 8, пока повторно вычисленное A_{pd} не сойдется в пределах приемлемой ошибки (дельта).

Шаг 10: Общая неготовность системы $P_s = 100 - p_d$.

Дополнение 2 к Приложению 1

Дополнительная информация по готовности цифровых многопрограммных РСС в полосах 12 ГГц

1 Влияние текущих данных по распространению на готовность цифровых систем РСС

Эта секция обращается к текущим данным по распространению, а также их влиянию на готовность цифровых линий РСС.

Анализ был проведен для определения воздействия данных распространения, содержащихся в Рекомендациях МСЭ-R P.618 и МСЭ-R P.837³, на готовность цифровых несущих частот РСС, передаваемых к городам в Районах 1, 2 и 3. Главное различие с предыдущими данными распространения состоит в использовании непрерывных кривых для интенсивностей дождевых осадков, основанных на данных измерений на фактических участках, в противоположность интенсивностям ливней, основанным на дискретном количестве дождевых климатических зон.

При проведении анализа была использована следующая формула:

$$(C/N)_p = (C/N)_{cs} - A_p,$$

где:

$(C/N)_p$: уровень несущей частоты к шуму, превышаемый для $p\%$ времени

$(C/N)_{cs}$: уровень несущей частоты к шуму в условиях ясного неба

A_p : уровень ослабления, не превышаемый для $p\%$ времени

P : процент времени, используемого для определения целевой готовности.

В случае Районов 1 и 3 предполагались цифровые линии РСС с характеристиками, приведенными в таблице 6, которые передавались к 600 главным городам из орбитальных местоположений согласно Плану Районов 1 и 3. Орбитальное местоположение, связанное с передачей к каждому городу, было выбрано таким, что соответствовало распределению Плана администрации.

Предполагалось, что для Района 2 цифровые несущие частоты РСС с характеристиками, приведенными в таблице 7, передавались к 158 городам.

Интенсивности дождевых осадков, полученные для каждой из несущей частот, нанесены на график на рисунках 4–7. Эти рисунки указывают интенсивности дождевых осадков между 1 мм/ч и 159,44 мм/ч.

Были получены отношения C/N , превышаемые для различных процентов времени, изменяющихся от 99,9% до 99%, а статистическое распределение уровней C/N , приобретенных для различных процентов времени, дается в таблицах 8 и 9. Распределение в таблицах 8 и 9 показывает, что приблизительно 90% несущих частот удовлетворяют готовности 99,86% (99,5% наихудшего месяца) на более низких уровнях C/N . На средней мощности э.и.и.м. внутри области обслуживания ожидается, что даже более высокое процентное значение способно удовлетворять готовности 99,86%.

³ Эти вычисления основаны на прежних версиях Рекомендаций МСЭ-R P.618 и МСЭ-R P.837, т. е. они использовали модель дождя Рекомендации МСЭ-R P.618-6 и связанной Рекомендации МСЭ-R P.837-2.

ТАБЛИЦА 6

**Номинальные характеристики распределений
Плана цифровых РСС Районов 1 и 3**

Минимальная мощность э.и.и.м в пределах области обслуживания (дБВт)	55,9 ⁽¹⁾
Полоса частот (ГГц)	12
Диаметр антенны Rx (см)	60
Усиление антенны Rx (дБи)	35,5

⁽¹⁾ Эквивалентно номинальной максимальной мощности э.и.и.м = 58,9 дБВт.

ТАБЛИЦА 7

**Характеристики примерных цифровых систем, которые могут быть
реализованы с распределениями Плана Района 2**

Мощность э.и.и.м (дБВт)	55,5
Полоса частот (ГГц)	12,5
Диаметр антенны Rx (см)	45
Усиление антенны Rx (дБи)	33,5
Угол возвышения (градусы)	40

ТАБЛИЦА 8

**Статистическое распределение уровней C/N, достигаемых для различных
процентных значений времени для цифровых линий РСС Районов 1 и 3**

Превышаемый уровень C/N	Процентное значение несущих частот, для которых уровень C/N превышает для 99,9% времени	Процентное значение несущих частот, для которых уровень C/N превышает для 99,7% времени	Процентное значение несущих частот, для которых уровень C/N превышает для 99,5% времени
6	95,1	100	100
7	90,5	100	100
8	85,2	99,7	100
9,6	71,6	95,5	100
10	68,1	92,8	99,7

ТАБЛИЦА 9

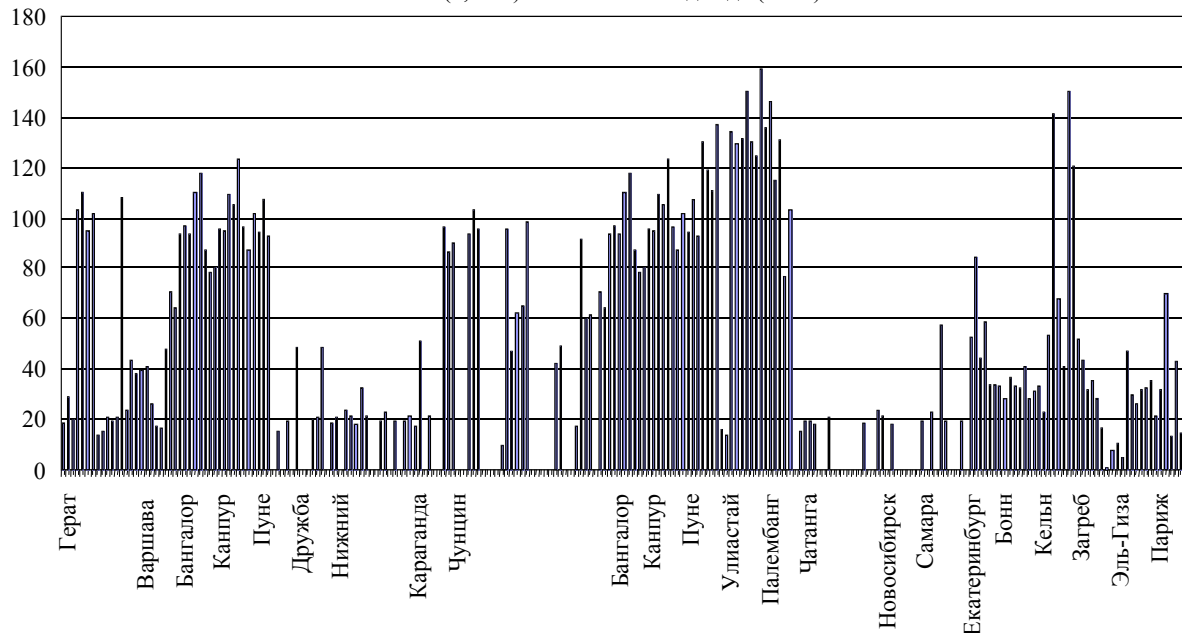
Статистическое распределение уровней C/N , достигаемых для различных процентных значений времени для цифровых линий РСС Района 2

Превышаемый уровень C/N	Процентное значение несущих частот, для которых уровень C/N превышает для 99,9% времени	Процентное значение несущих частот, для которых уровень C/N превышает для 99,7% времени	Процентное значение несущих частот, для которых уровень C/N превышает для 99,5% времени
5	81,6	100	100
7	67,1	91,8	100
7,6	63,3	88,6	100
8	62,0	84,2	98,7
9	53,8	74,7	89,9
9,6	50,0	69,0	84,2

РИСУНОК 4

Интенсивности дождевых осадков, связанные с несущими с 1 по 212

(0,01%) интенсивности дождя (мм/ч)



1696-04

РИСУНОК 5

Интенсивности дождевых осадков, связанные с несущими с 213 по 435

(0,01% интенсивности дождя (мм/ч))

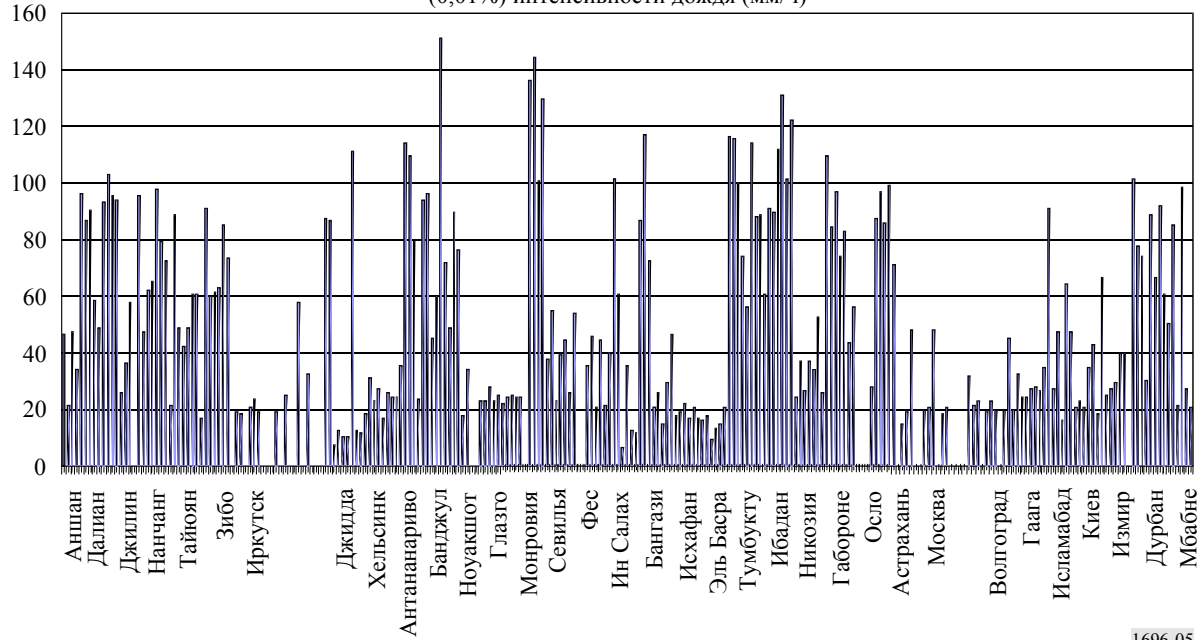


РИСУНОК 6

Интенсивности дождевых осадков, связанные с несущими с 436 по 617

(0,01% интенсивности дождя (мм/ч))

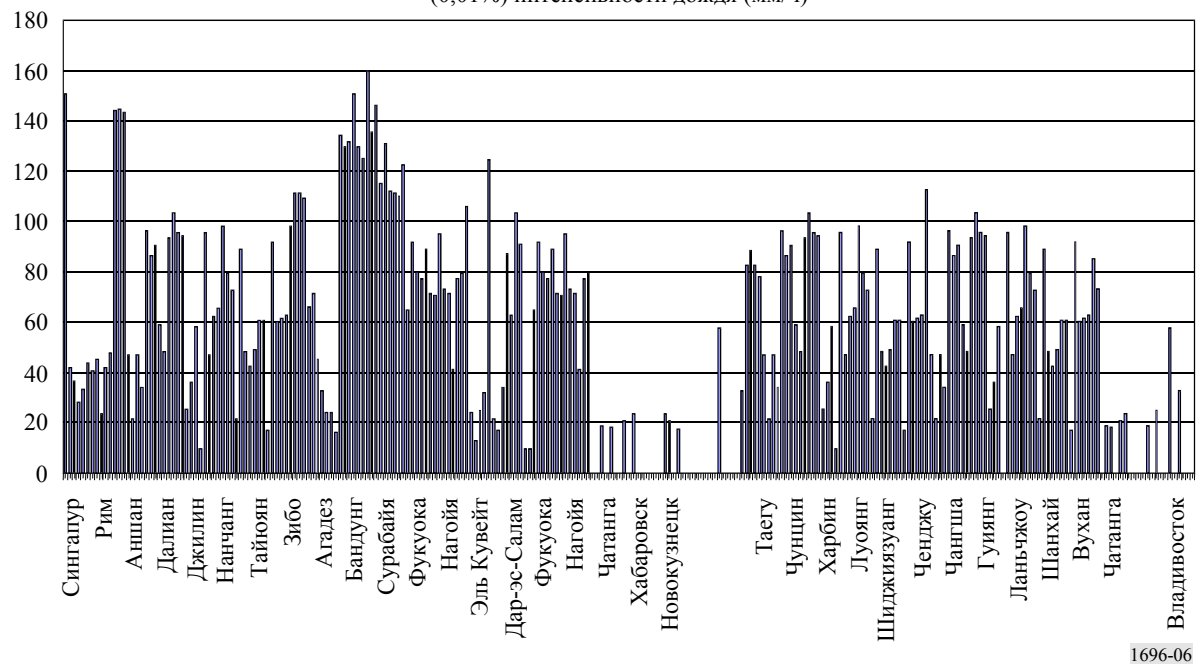


РИСУНОК 7

Интенсивности дождевых осадков, связанные с несущими Района 2

(0,01%) интенсивности дождя (мм/ч)

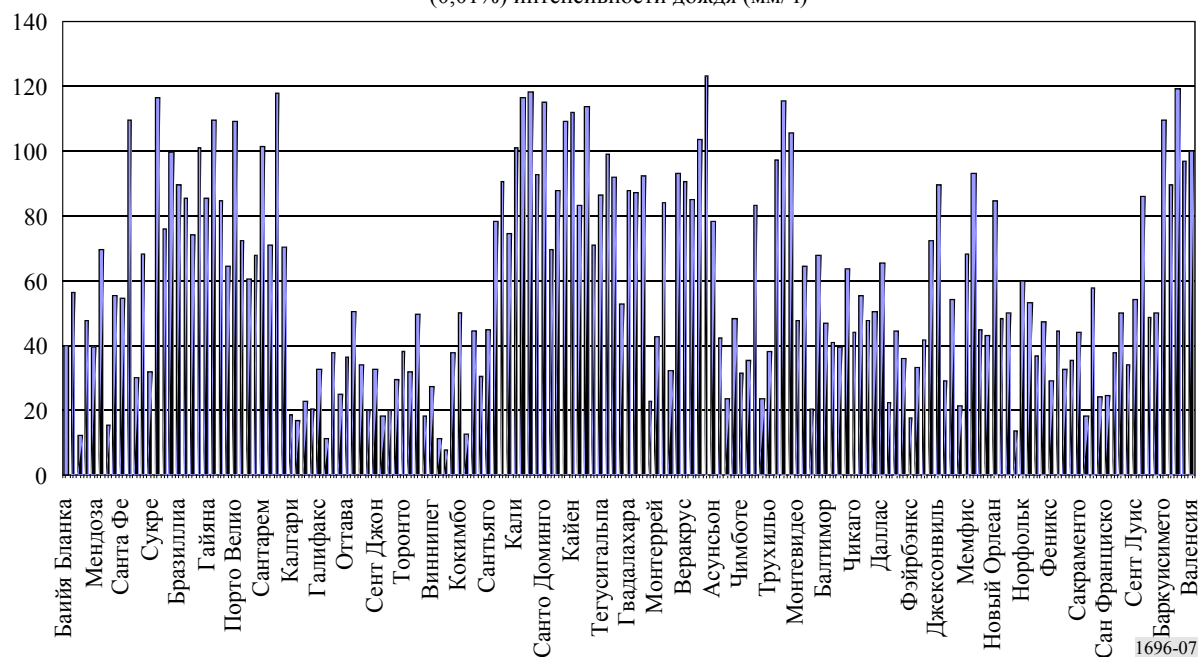
**2 Примерные показатели по готовности для нескольких городов Районов 1 и 3**

Таблица 11 показывает наихудшие показатели качества по готовности цифровых линий для нескольких городов Районов 1 и 3, использующих параметры систем, показанные в таблице 10. Рассмотренными схемами модуляции являются ЧФМН и 8-ФМН.

ТАБЛИЦА 10

Примерные характеристики цифровой системы РСС Района 1 или 3

Область	Граница покрытия	Ближний пеленг
Мощность э.и.и.м. (дБВт)	55,9	58,4
Полоса частот (ГГц)	12	
Диаметр антенны Rx (см)	60	45
Усиление антенны Rx (дБи)	35,5	33,0
C/N (ясное небо) (ширина полосы частот 27 МГц) ⁽¹⁾ (дБ)	18,2	18,2

⁽¹⁾ Местоположение приема: Женева, орбитальное местоположение: 18,8° з. д., затухание из-за атмосферных газов: 0,2 дБ, потери из-за наведения приемной антенны: 0,3 дБ, приемник NF: 1.0.

Отметим, что все линии с модуляцией ЧФМН в таблице 11 превышают готовность 99,5% наихудшего месяца.

Таблица 11 сравнивает увеличение продолжительности отказов с нарастающими увеличениями 0,5 дБ в требуемом отношении C/N . Этот тип таблицы является полезным для исследования суммарного предела ухудшения желаемого сигнала в присутствии помех, шума и дождя.

ТАБЛИЦА 11

Наихудшие показатели качества по готовности примерных цифровых линий непосредственного спутникового вещания (НСВ) для городов Районов 1 и 3*

		Проценты/минуты отказа во время наихудшего месяца (увеличение (%)) по отношению к основной линии C/I в 7,6 дБ)			
Модуляция	Требуемое C/N (дБ)	Москва	Лондон	Париж	Стамбул
ЧФМН	7,6	0,023/10 (-)	0,025/11 (-)	0,022/10 (-)	0,019/8 (-)
	7,6 + 0,5	0,026/11 (13)	0,029/13 (16)	0,025/11 (14)	0,022/10 (16)
	7,6 + 1,0	0,031/13 (35)	0,034/15 (36)	0,029/13 (32)	0,026/11 (37)
	7,6 + 1,5	0,036/16 (57)	0,040/17 (60)	0,034/15 (55)	0,030/13 (58)
	7,6 + 2,0	0,042/18 (83)	0,047/20 (88)	0,040/17 (82)	0,036/16 (89)
		Проценты/минуты отказа во время наихудшего месяца (увеличение (%)) по отношению к основной линии C/I в 11 дБ)			
Модуляция	Требуемое C/N (дБ)	Москва	Лондон	Париж	Стамбул
8-ФМН	11,0	0,68/29 (-)	0,076/33 (-)	0,064/28 (-)	0,057/25 (-)
	11,0 + 0,5	0,082/35 (21)	0,091/39 (20)	0,077/33 (20)	0,068/29 (19)
	11,0 + 1,0	0,099/43 (46)	0,110/48 (45)	0,093/40 (45)	0,082/35 (44)
	11,0 + 1,5	0,120/52 (76)	0,135/58 (78)	0,113/49 (77)	0,100/43 (75)
	11,0 + 2,0	0,148/64 (118)	0,166/72 (118)	0,139/60 (117)	0,122/53 (114)

ТАБЛИЦА 11

**Наихудшие показатели качества по готовности примерных цифровых линий
непосредственного спутникового вещания (НСВ) для городов Районов 1 и 3***

		Проценты/минуты отказа во время наихудшего месяца (увеличение (%)) по отношению к основной линии C/I либо 7,6 дБ (ЧФМН), либо 11,0 дБ (8-ФМН))			
Модуляция	Требуемое C/N (дБ)	Токио	Кагошима	Сеул	Бангкок
ЧФМН	7,6	0,080/35 (-)	0,109/47 (-)	0,032/14 (-)	0,231/100 (-)
	7,6 + 0,5	0,091/39 (14)	0,123/53 (13)	0,037/16 (16)	0,263/114 (14)
	7,6 + 1,0	0,103/44 (29)	0,140/60 (28)	0,043/19 (34)	0,299/129 (29)
	7,6 + 1,5	0,118/51 (48)	0,159/69 (46)	0,050/22 (56)	0,341/147 (48)
	7,6 + 2,0	0,136/59 (70)	0,182/79 (67)	0,058/25 (81)	0,390/168 (66)
8-ФМН	11,0	0,205/89 (-)	0,272/118 (-)	0,090/39 (-)	0,574/248 (-)
	11,0 + 0,5	0,240/103 (17)	0,318/137 (17)	0,106/46 (18)	0,662/286 (15)
	11,0 + 1,0	0,283/122 (38)	0,373/161 (37)	0,127/55 (41)	0,765/330 (33)
	11,0 + 1,5	0,336/145 (64)	0,440/190 (62)	0,152/66 (69)	0,885/382 (54)
	11,0 + 2,0	0,403/174 (97)	0,525/227 (93)	0,185/80 (106)	1,026/443 (79)

* Предполагается, что спутник, излучающий на каждый город, должен располагаться на орбитальной позиции распределения своего Плана. Потери из-за наведения приемной антенны предполагаются равными 0,3 дБ. Для вычисления затухания из-за атмосферных газов были использованы Рекомендации МСЭ-R P.676-5, МСЭ-R P.836 и МСЭ-R P.1510. Для вычисления затухания из-за дождя были использованы Рекомендации МСЭ-R P.618-7 и МСЭ-R P.837-3.

3 Модуляции, отличающиеся от ЧФМН

Рекомендация МСЭ-R ВО.1516 и отклик на Циркулярное письмо CR/116 показывают, что для цифровых линий непосредственного спутникового вещания (НСВ) будут использоваться не только ЧФМН, но и 8-ФМН и ОФМН. Технические усовершенствования приведут к увеличенному использованию схем высокой спектральной эффективности (например, 8-ФМН, 16-КАМ, 16-АФМН и т. д.). Методология для получения показателей качества по готовности для систем, отличающихся от ЧФМН, является одинаковой с той, что обсуждена в Приложении 1. Поскольку 8-ФМН и другие схемы модуляции/кодирования, отличающиеся от ЧФМН, становятся широко принятыми, ожидается, что таблица 2 Приложения 1 будет расширена.