

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.842-3*

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ И СОВМЕСТИМОСТИ ВЧ РАДИОСИСТЕМ

(1992-1994-1999-2005)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что надежность радиосистемы определяется как вероятность того, что система обладает требуемыми рабочими характеристиками;
- b) что надежность является критерием качества рабочей характеристики;
- c) что совместимость является мерой ухудшения рабочей характеристики радиосистемы, вызванного помехами;
- d) что прогнозируемые показатели надежности и совместимости являются весьма важным моментом при выборе предпочтительных комбинаций антенн (включая, при необходимости, их оптимальное проектирование), частот и необходимой мощности передатчика для обеспечения заданных характеристик системы,

рекомендует,

чтобы следующие методы расчета различных видов надежности и совместимости использовались при планировании и проектировании радиосистем.

1 Введение

Иерархия различных видов надежности, обсуждаемых в настоящей Рекомендации, показана на рисунке 1. Основные виды надежности обсуждаются в пп. 2–5 и 9, общая надежность системы – в п. 6, надежность ВЧ сетей – в п. 7, а совместимость – в п. 8. Расчет основной надежности линии (ОНЛ) для систем с цифровой модуляцией описан в п. 9.

В Добавлении 1 приводятся конкретные определения различных видов надежности.

2 Исходные данные для расчета основной надежности

Для расчета основной надежности линии (ОНЛ) необходимы следующие параметры: месячное медианное значение номинальной мощности принимаемых сигналов (Рекомендация МСЭ-R P.533); месячные медианы атмосферик; мощность промышленных и галактических шумов (Рекомендация МСЭ-R P.372); верхние и нижние децили отклонений от месячных медиан мощности полезного сигнала и шумов – как в долгосрочном масштабе (ото дня ко дню), так и в краткосрочном (в течение часа); требуемое отношение сигнал/шум (Рекомендация МСЭ-R F.339).

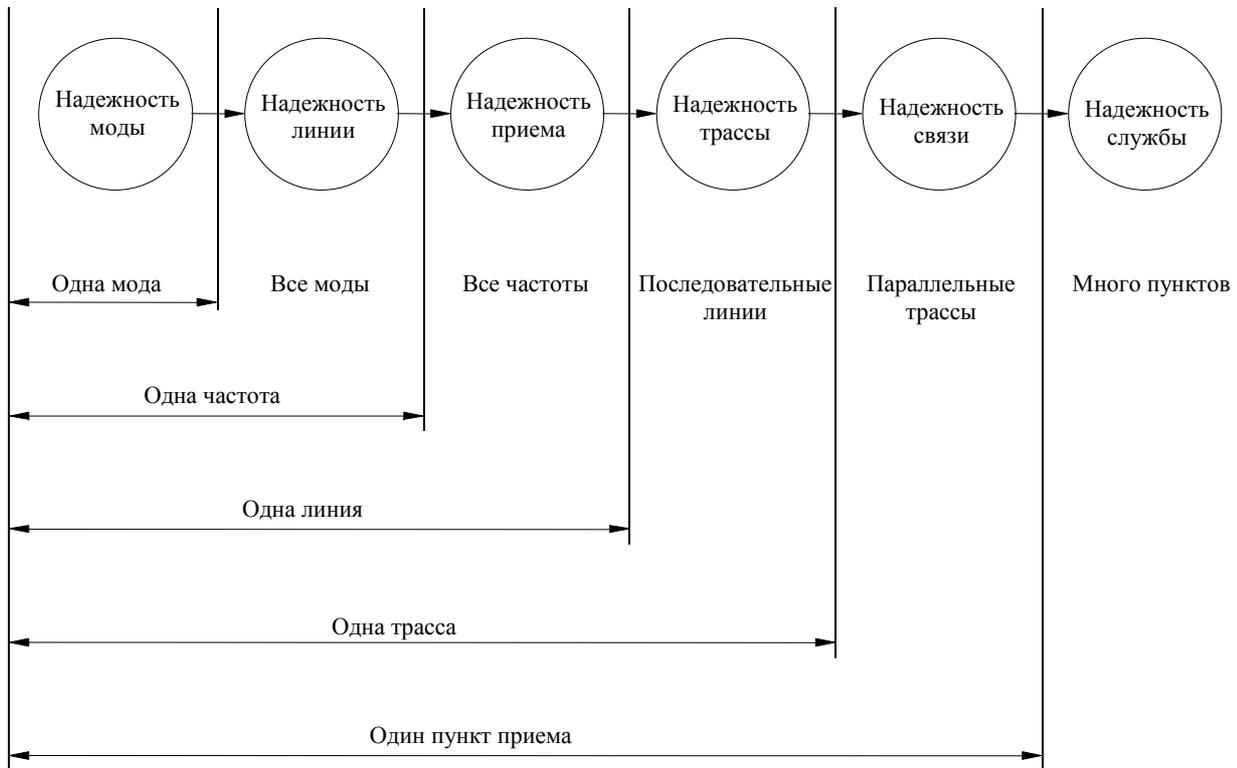
3 Вычисление основной надежности линии (ОНЛ)

Основную надежность линии можно оценить с помощью процедуры, описанной в таблице 1 с использованием данных из таблицы 2.

Эта процедура в качестве промежуточных этапов включает расчет совокупного медианного значения номинальной мощности принимаемого полезного сигнала (Шаг 1), медианного значения отношения сигнал/шум (Шаги 2 и 3), результирующей верхней децили отношения сигнал/шум (Шаги 4–6) и результирующей нижней децили отношения сигнал/шум (Шаги 7–9).

* В 2000 году в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 44 3-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла в настоящую Рекомендацию редакционные поправки.

РИСУНОК 1
Схема надежностей



0842-01

Требуемое отношение сигнал/шум (Шаг 10) определяется пользователем (В Рекомендации МСЭ-R F.339 в табличном виде приведены значения отношений сигнал/шум, необходимые для обеспечения конкретных характеристик системы). Далее с помощью статистического распределения, указанного в Шаге 11, оценивается основная надежность линии.

4 Основная надежность приема (ОНП)

Для n частот

$$ОНП = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{ОНЛ(f_i)}{100} \right) \right] \quad \%,$$

где $ОНЛ(f_i)$ – основная надежность линии в процентах для частоты f_i .

Для единственной рабочей частоты ОНП равна ОНЛ.

5 Основная надежность службы (ОНС)

Для определения основной надежности службы необходимо выбрать совокупность контрольных точек в пределах требуемой зоны обслуживания. Основная надежность службы – это значение ОНП, превышенное в некотором требуемом проценте контрольных точек.

ТАБЛИЦА 1
Расчет основной надежности линии (ОНЛ)

Шаг	Параметр	Описание параметра	Способ получения численного значения параметра
1	S	Медианное значение номинальной принимаемой мощности полезного сигнала (дБВт)	Метод прогнозирования P_r в п. 6 Рекомендации МСЭ-R P.533
2	$F_a A$ $F_a M$ $F_a G$	Медианное значение коэффициента шума для атмосферного шума Медианное значение коэффициента шума для промышленного шума Медианное значение коэффициента шума для галактического шума	Рекомендация МСЭ-R P.372
3	S/N	Медиана результирующего отношения сигнал/шум (дБ) для полосы шириной b (Гц)	$S - 10 \log_{10} \left[10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}} \right] - 10 \log_{10} b + 204$
4	$D_u S_d$ $D_u S_h$	Отклонение верхней децили сигнала (от дня ко дню) (дБ) Отклонение верхней децили сигнала (в течение часа) (дБ)	Таблица 2, где используется основная МПЧ для трассы 5
5	$D_l A$ $D_l M$ $D_l G$	Отклонение нижней децили (дБ): атмосферного шума промышленного шума галактического шума	Рекомендация МСЭ-R P.372 Рекомендация МСЭ-R P.372 2
6	$D_u SN$	Отклонение верхней децили результирующего отношения сигнал/шум (дБ)	Среднее квадратическое из $D_u S_d, D_u S_h$ и $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}}}{10^{\frac{F_a A - D_l A}{10}} + 10^{\frac{F_a M - D_l M}{10}} + 10^{\frac{F_a G - D_l G}{10}}} \right]$

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Шаг	Параметр	Описание параметра	Способ получения численного значения параметра
7	$D_l S_d$ $D_l S_h$	Отклонение нижней децили сигнала (ото дня ко дню) (дБ) Отклонение нижней децили сигнала (в течение часа) (дБ)	Таблица 2, где используется основная МПЧ для трассы 8
8	$D_u A$ $D_u M$ $D_u G$	Отклонение верхней децили (дБ): атмосферного шума промышленного шума галактического шума	Рекомендация МСЭ-R P.372 Рекомендация МСЭ-R P.372 2
9	$D_l SN$	Отклонение нижней децили результирующего отношения сигнал/шум (дБ)	Среднее квадратическое из $D_l S_d$, $D_l S_h$ и $10 \log_{10} \left[\frac{\frac{F_a A + D_u A}{10^{10}} + \frac{F_a M + D_u M}{10^{10}} + \frac{F_a G + D_u G}{10^{10}}}{\frac{F_a A}{10^{10}} + \frac{F_a M}{10^{10}} + \frac{F_a G}{10^{10}}} \right]$
10	S/N_r	Требуемое отношение сигнал/шум (дБ)	Определяется пользователем
11	ОНЛ	Основная надежность линии для $S/N \geq S/N_r$ (%)	$130 - 80 / (1 + (S/N - S/N_r) / D_l SN)$ или 100, в зависимости от того, что меньше
		Основная надежность линии для $S/N < S/N_r$ (%)	$80 / (1 + (S/N_r - S/N) / D_u SN) - 30$ или 0, в зависимости от того, что больше

ТАБЛИЦА 2

Отклонения нижней децили (НД) и верхней децили (ВД) от прогнозируемого месячного значения медианы номинальной мощности принимаемого полезного сигнала и мешающих сигналов, возникающие вследствие изменчивости ото дня ко дню

Геомагнитная широта (1)	<60°		≥60°	
	НД	ВД	НД	ВД
≤0,8	8	6	11	9
1,0	12	8	16	11
1,2	13	12	17	12
1,4	10	13	13	13
1,6	8	12	11	12
1,8	8	9	11	9
2,0	8	9	11	9
3,0	7	8	9	8
4,0	6	7	8	7
≥5,0	5	7	7	7

(1) Если любая точка на этой части дуги большого круга, которая проходит через пункты размещения передатчика и приемника и которая лежит между контрольными точками, расположенными на расстоянии 1000 км от каждого конца трассы, находится на геомагнитной широте 60° или выше, то следует использовать значения ≥60° (см. Рекомендацию МСЭ-R P.1239, рисунок 2).

6 Расчет полной надежности линии, приема и службы

Вычисление полной надежности линии (ПНЛ) аналогично вычислению основной надежности линии, за исключением того, что принимаемые мощности от потенциально мешающих передатчиков суммируются и сравниваются с имеющимся сигналом для определения распределения медианы отношения сигнал/помеха (S/I) в пределах часа и часовой медианы этого отношения ото дня ко дню. В это распределение подставляется значение часовой медианы отношения S/I , необходимое для обеспечения заданных характеристик с целью определения доли времени в течение месяца, когда можно ожидать, что линия будет успешно работать при наличии только помех. Этот процент сравнивается с основной надежностью линии, и за полную надежность линии принимается наименьшая из этих величин.

Аналогично методам, используемым при расчете основной надежности приема и службы из отношений S/N , полная надежность приема и службы можно также рассчитать по предполагаемым распределениям часовых медиан отношений S/I (см. таблицу 3). Требуемый коэффициент защиты по РЧ можно получить в Шаге 3 из Рекомендации МСЭ-R F.240 для фиксированной службы или из Рекомендации МСЭ-R BS.560 для радиовещательной службы.

7 Оценка надежности ВЧ сетей

Если число линий между терминалами в сетях известно, то можно использовать такие понятия, как надежность трассы и надежность связи (см. рисунок 1).

7.1 Основная надежность трассы (ОНТ)

Если сеть включает более одной линии, то нижняя оценка ОНТ будет равна произведению ОНП для всех линий на трассе: то есть

$$ОНТ = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{ОНП_i}{100} \right) \right] \quad \%,$$

где $ОНП_i$: основная надежность приема для i -ой трассы, а верхней оценкой будет минимальное значение ОНП.

В том случае наличия одной линии ОНТ равна ОНП.

ТАБЛИЦА 3

Расчет полной надежности линии (ПНЛ)

Шаг	Параметр	Описание параметра	Способ получения численного значения параметра
1	S	Медианное значение номинальной принимаемой мощности полезного сигнала (дБВт)	Метод прогнозирования P_r в п. 6 Рекомендации МСЭ-R P.533
2	I_1, I_2, \dots, I_i	Медианное значение номинальной принимаемой мощности мешающих сигналов (дБВт)	Метод прогнозирования P_r в п. 6 Рекомендации МСЭ-R P.533
3	R_1, R_2, \dots, R_i	Относительный коэффициент защиты для мешающих сигналов (дБ)	Определяется пользователем
4	S/I	Медиана результирующего отношения сигнал/помеха (дБ)	$S - 10 \log_{10} \left[10^{\frac{I_1+R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2+R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i+R_i}{10}} \right]$
5	$D_u S_d$ $D_l I_{1d}$ $D_l I_{2d}$... $D_l I_{id}$	Отклонение верхней децилы полезного сигнала Отклонения нижних децил мешающих сигналов (ото дня ко дню) (дБ)	Таблица 2, где используется основная МПЧ для трассы
6	$D_u S_h$ $D_l I_{1h}$ $D_l I_{2h}$... $D_l I_{ih}$	Отклонение верхней децилы полезного сигнала Отклонения нижних децил мешающих сигналов (в пределах часа) (дБ)	5 8
7	$D_u SI$	Отклонение верхней децилы результирующего отношения сигнал/помеха (дБ)	Среднее квадратическое из $D_u S_d, D_u S_h,$ $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1+R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2+R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i+R_i}{10}}}{10^{\frac{I_1+R_1-D_l I_{1d}}{10}} + 10^{\frac{I_2+R_2-D_l I_{2d}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i+R_i-D_l I_{id}}{10}}} \right]$ и $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1+R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2+R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i+R_i}{10}}}{10^{\frac{I_1+R_1-D_l I_{1h}}{10}} + 10^{\frac{I_2+R_2-D_l I_{2h}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i+R_i-D_l I_{ih}}{10}}} \right]$

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Шаг	Параметр	Описание параметра	Способ получения численного значения параметра
8	$D_l S_d$ $D_u I_{1d}$ $D_u I_{2d}$... $D_u I_{id}$	Отклонение нижней децилы полезного сигнала Отклонения верхних децил мешающих сигналов (ото дня ко дню) (дБ)	Таблица 2, где используется основная МПЧ для трассы
9	$D_l S_h$ $D_u I_{1h}$ $D_u I_{2h}$... $D_u I_{ih}$	Отклонение нижней децилы полезного сигнала Отклонения верхних децил мешающих сигналов (в пределах часа) (дБ)	8 5
10	$D_l SI$	Отклонение нижней децилы результирующего отношения сигнал/помеха (дБ)	Среднее квадратическое из $D_l S_d, D_l S_h$, $10 \log_{10} \left[\frac{\frac{I_1+R_1+D_u I_{1d}}{10} + \frac{I_2+R_2+D_u I_{2d}}{10} + \dots + \frac{I_i+R_i+D_u I_{id}}{10}}{\frac{I_1+R_1}{10} + \frac{I_2+R_2}{10} + \dots + \frac{I_i+R_i}{10}} \right]$ и $10 \log_{10} \left[\frac{\frac{I_1+R_1+D_u I_{1h}}{10} + \frac{I_2+R_2+D_u I_{2h}}{10} + \dots + \frac{I_i+R_i+D_u I_{ih}}{10}}{\frac{I_1+R_1}{10} + \frac{I_2+R_2}{10} + \dots + \frac{I_i+R_i}{10}} \right]$
11	S/I_r	Требуемое отношение сигнал/помеха (дБ)	Определяется пользователем
12	НЛП	Надежность линии в присутствии только помехи (но не шума) для $S/I \geq S/I_r$ (%)	$130 - 80 / (1 + (S/I - S/I_r) / D_l SI)$ или 100, в зависимости от того, что меньше
		Надежность линии в присутствии только помехи (но не шума) для $S/I < S/I_r$ (%)	$80 / (1 + (S/I_r - S/I) / D_u SI) - 30$ или 0, в зависимости от того, что больше
13	ОНЛ	Основная надежность линии (%)	Таблица 1
14	ПНЛ	Полная надежность линии (%)	Минимальное значение из НЛП и ОНЛ

7.2 Основная надежность связи (R)

Если в сети имеется более одной трассы, то нижняя оценка R определяется максимальной надежностью трассы, а верхняя оценка – выражением:

$$R = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{OHT_i}{100} \right) \right] \quad \%,$$

где OHT_i : основная надежность трассы для i -ой трассы.

В случае одной трассы R равна ОНТ.

8 Расчет совместимости

Совместимость является мерой ухудшения характеристик рассматриваемой линии или службы, вызванного помехами. В случае единственной линии связи пункта с пунктом совместимость линии (СЛ) определяется процентом времени, в течение которого в месте расположения приемника в присутствии помехи (ПНЛ) удовлетворяется заранее определенный критерий качества работы службы, по отношению к значению, которое было бы получено в присутствии только шума (ОНЛ):

$$СЛ = 100 \frac{ПНЛ}{ОНЛ} \quad \%,$$

что идентично отношению полной надежности линии к основной надежности линии.

Если полезная служба охватывает более одной точки приема, совместимость можно определить одним из следующих способов:

- временная совместимость службы (ВСС) – это процент времени, в течение которого заданный процент намеченной зоны, p_A , может быть обслужен в присутствии помехи (полная надежность службы (ПНС)), относительно значения, которое могло бы быть получено при наличии лишь фонового шума (ОНС):

$$ВСС = 100 \frac{ПНС(p_A)}{ОНС(p_A)} \quad \%,$$

что идентично отношению полной надежности службы к основной надежности службы;

- зональная совместимость службы (ЗСС) – это процент намеченной зоны, который может быть обслужен в течение заданного процента времени, p_T , в присутствии помехи (A_I), относительно значения, которое было бы получено при наличии лишь фонового шума (A_N):

$$ЗСС = 100 \frac{A_I(p_T)}{A_N(p_T)} \quad \%,$$

где зону A можно представить числом контрольных точек приема, удовлетворяющих требуемым условиям.

9 ОНЛ для систем с цифровой модуляцией

Для систем с цифровой модуляцией для временного использования доступен упрощенный приближенный метод. Он дает следующие результаты:

$$ОНЛ (\%) = R_{SN} \cdot R_T \cdot R_F,$$

где:

R_{SN} : вероятность того, что достигается требуемое отношение сигнал/шум, SN_0 ,

R_T : вероятность того, что разброс по времени, T_0 , на уровне -10 дБ относительно пиковой амплитуды сигнала, не превышает,

R_F : вероятность того, что требуемая дисперсия частоты, f_0 , на уровне -10 дБ относительно пиковой амплитуды сигнала, не превышает.

Может возникнуть необходимость в выборе соответствующих значений для этих относительных уровней согласно используемому методу модуляции.

Эти три отдельные вероятности оцениваются как:

$$\begin{aligned}
 R_{SN}(\%) &= 130 - 80/[1 + (SN_m - SN_0)/D_l] \text{ или } 100, \text{ в зависимости от} && \text{для } SN_m \geq SN_0 \\
 &\text{того, что меньше,} && \\
 &= 80/[1 + (SN_0 - SN_m)/D_u] - 30 \text{ или } 0, \text{ в зависимости от} && \text{для } SN_m < SN_0 \\
 &\text{того, что больше,} && \\
 R_T(\%) &= 130 - 80/[1 + (T_0 - T_m)/D_{Tu}] \text{ или } 100, \text{ в зависимости от} && \text{для } T_m \leq T_0 \\
 &\text{того, что меньше,} && \\
 &= 80/[1 + (T_m - T_0)/D_{Tl}] - 30 \text{ или } 0, \text{ в зависимости от того,} && \text{для } T_m > T_0 \\
 &\text{что больше,} && \\
 R_F(\%) &= 130 - 80/[1 + (F_0 - F_m)/D_{Fu}] \text{ или } 100, \text{ в зависимости от} && \text{для } F_m \leq F_0 \\
 &\text{того, что меньше,} && \\
 &= 80/[1 + (F_m - F_0)/D_{Fl}] - 30 \text{ или } 0, \text{ в зависимости от того,} && \text{для } F_m > F_0 \\
 &\text{что больше,} &&
 \end{aligned}$$

SN_m , D_l и D_u – это, соответственно, месячная медиана отношения S/N , отклонения нижней и верхней децилей от медианы, оцениваемые, как описано в п. 3 согласно этапам, приведенным в таблицах 1 и 2. Значения T_m , D_{Tu} и D_{Tl} являются соответствующими параметрами разброса по времени, а F_m , D_{Fu} и D_{Fl} – аналогичным образом определяемые параметры дисперсии частоты.

При $D_{Tu} = D_{Tl} = 0,15 T_m$, $D_{Fu} = D_{Fl} = 0,10 F_m$, значения T_m (мс) и F_m (Гц) для распространения по трассе длиной D (км) на частоте f (МГц) над трассой с основной МПЧ, равной f_b , определяется как:

$$\begin{aligned}
 T_m &= 2,5 \times 10^7 D^{-2} (1 - f/f_b)^2 \text{ или } 7 - 0,00175D, \text{ в зависимости от} && \text{для } D \leq 2000 \text{ км} \\
 &\text{того, что меньше,} && \\
 &= 4,27 \times 10^{-2} D^{0,65} \text{ или } 3,5, \text{ в зависимости от того, что меньше,} && \text{для } D > 2000 \text{ км} \\
 \text{и } F_m &= 0,02 f T_m
 \end{aligned}$$

Дополнение 1

Для целей настоящей Рекомендации приводятся следующие определения:

1 Термины, относящиеся к эксплуатации и разработке ВЧ радиосистем

Надежность

Вероятность того, что обеспечивается заданная характеристика.

Надежность линии

Вероятность того, что для той или иной линии на одной частоте обеспечивается заданная характеристика.

Надежность приема

Вероятность того, что для той или иной линии обеспечивается заданная характеристика с учетом всех частот передачи полезного сигнала.

Надежность трассы

Вероятность того, что для пары терминалов заданная характеристика обеспечивается на одной трассе между терминалами, состоящей из одной или более следующих друг за другом линий, с учетом всех передаваемых частот.

Надежность связи

Вероятность того, что для пары терминалов заданная характеристика обеспечивается с учетом всех трасс между ними и всех частот, на которых передается полезный сигнал.

Надежность службы

Вероятность того, что на обслуживаемой территории заданная характеристика обеспечивается с учетом всех передаваемых частот.

Надежность в зоне

Процент контрольных точек приема в зоне обслуживания, для которых основная надежность приема превышает заранее заданную величину.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В терминах, приведенных выше, линия означает линию передачи от местоположения одного передатчика до местоположения одного приемника с разнесением или без него.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Термины, приведенные выше, предваряются словом "основная", когда фон состоит только из шума, и "полная", когда фон состоит из шума и помех.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Когда фон состоит из шума и помех, перечисленные выше термины могут относиться к влиянию либо одной помехи, либо многих помех от передач по совмещенному или соседним каналам.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Для многих применений в качестве заданной характеристики удобно использовать данное отношение сигнал/фон.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Перечисленные выше термины (то есть типы надежности) относятся к одному или нескольким периодам времени, что должно быть оговорено.

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Для применений в радиовещании термин надежность службы заменяется термином надежность радиовещания, которая рассчитывается для заданного числа контрольных точек в пределах зоны обслуживания.

2 Термины, относящиеся к методам прогнозирования

Надежность моды

Вероятность того, что на той или иной линии заданная характеристика обеспечивается на одной частоте посредством одной моды.

Готовность моды

Вероятность того, что на одной линии одна мода на одной частоте может распространяться только посредством ионосферной рефракции.

Достижимость характеристики моды

Вероятность того, что на одной линии заданная характеристика достигается посредством одной моды на одной частоте при условии, что мода может распространяться только за счет ионосферной рефракции.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Применимы примечания 4 и 5 из п. 1.
