

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.842-4*

Расчет надежности и совместимости ВЧ радиосистем

(1992-1994-1999-2005-2007)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлены методы для прогнозирования надежности и совместимости ВЧ радиосистем.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что надежность радиосистем определяется как вероятность того, что система обладает требуемыми рабочими характеристиками;
- b) что надежность определяется коэффициентом добротности;
- c) что совместимость является мерой ухудшения характеристики радиосистемы, вызванного помехами;
- d) что возможность прогнозирования различных видов надежности и совместимости является весьма ценным моментом при выборе предпочтительных комбинаций антенн (включая, в случае необходимости, их оптимальное проектирование), частот и мощности передатчика, которые необходимы для обеспечения заданных характеристик системы,

рекомендует,

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

1 Введение

Виды надежности, рассматриваемые в настоящей Рекомендации, формируют иерархию, иллюстрируемую на рис. 1. Основные виды надежности рассматриваются в пп. 2–5 и п. 9, общая надежность – в п. 6, надежность ВЧ сетей – в п. 7 и совместимость в п. 8. Расчет основной надежности линии (ОНЛ) для систем с цифровой модуляцией описывается в п. 9.

Конкретные определения различных видов надежности приводятся в Дополнении 1.

2 Исходные данные для расчета основной надежности

Для расчета ОНЛ необходимы следующие параметры: месячное медианное значение номинальной мощности принимаемых сигналов (Рекомендация МСЭ-R P.533); месячные медианные значения мощности атмосферных, промышленных и галактических шумов (Рекомендация МСЭ-R P.372); верхние и нижние децили отклонений от месячных медиан мощности полезного сигнала и шума – как долгосрочного (ото дня ко дню), так и краткосрочного характера (в течение часа); требуемое отношение сигнала к шуму (Рекомендация МСЭ-R F.339).

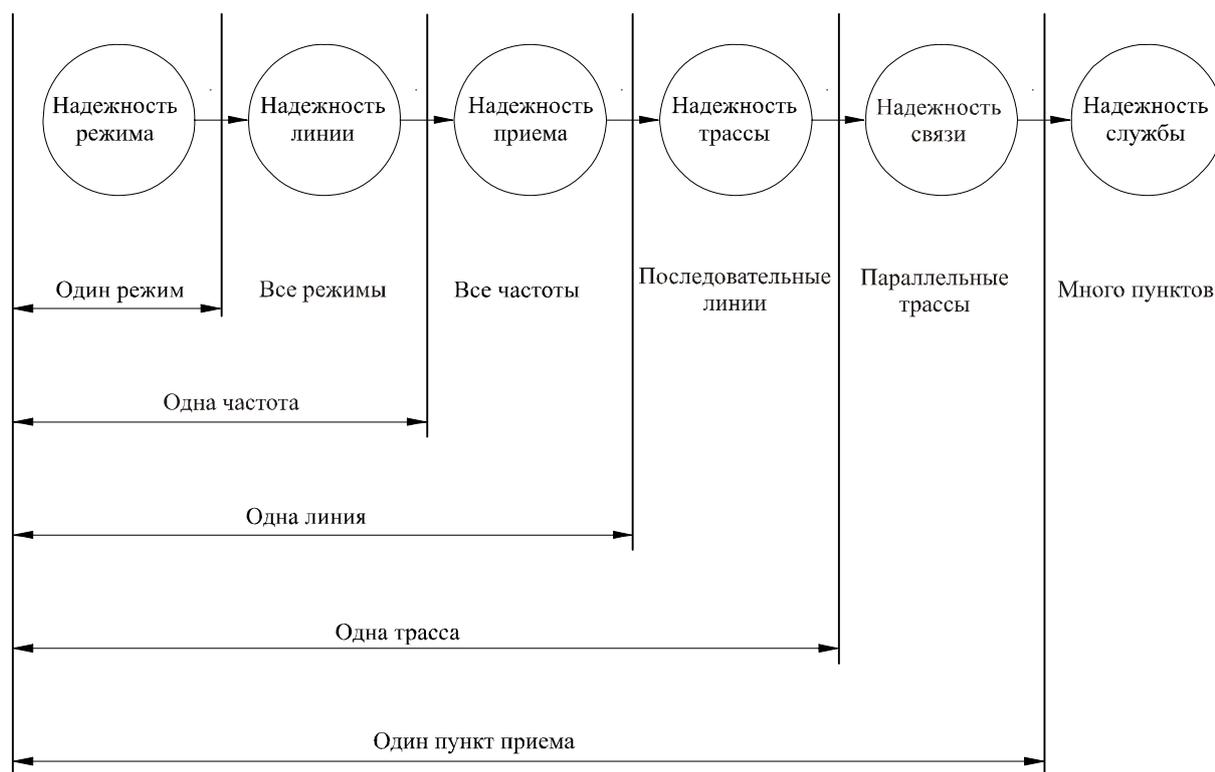
* В 2000 году 3-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла поправки редакционного характера в настоящую Рекомендацию в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 44.

3 Расчет основной надежности линии (ОНЛ)

ОНЛ можно оценить в соответствии с процедурой, описанной в таблице 1, с использованием данных, содержащихся в таблице 2.

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

РИСУНОК 1
Карта надежностей



0842-01

Требуемое отношение сигнал/шум (этап 10) определяется пользователем (в Рекомендации МСЭ-R F.339 приводится таблица отношений сигнал/шум, требуемых для обеспечения конкретных уровней качества). Затем оценивается ОНЛ с использованием статистического распределения, показанного на этапе 11.

4 Основная надежность приема (ОМП)

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

где $\text{ОНЛ}(f_i)$ – основная надежность линии в процентах для частоты f_i .

Для единственной рабочей частоты ОМП равна ОНЛ.

ТАБЛИЦА 1
Расчет ОНЛ

Этап	Параметр	Описание параметра	Способ получения значения параметра
1	S	Средняя мощность полезного сигнала на входе приемника (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 шума для атмосферного шума Медианное значение шума для искусственного шума Медианное значение шума для галактического шума	Рекомендация МСЭ-R P.372
3	S/N	Медианное результирующее отношение сигнал/шум (дБ) в полосе частот 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 (день ото дня) (дБ) Отклонение верхней децили сигнала (в течение часа) (дБ)	Таблица 2 с использованием МПЧ для трассы 5
5	$D_l A$ $D_l M$ $D_l G$	Отклонение нижней децили (дБ): атмосферного шума искусственного шума галактического шума	Рек. МСЭ-R P.372 Рек. МСЭ-R P.372 2
6	$D_u SN$	Отклонение верхней децили результирующего отношения сигнал/шум (дБ)	Корень квадратный из суммы квадратов $D_u S_d, D_u S_h$ $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}}}{10^{\frac{F_a A - D_l A}{10}} + 10^{\frac{F_a M - D_l M}{10}} + 10^{\frac{F_a G - D_l G}{10}}} \right]$

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Этап	Параметр	Описание параметра	Способ получения значения параметра
7	$D_l S_d$ $D_l S_h$	Отклонение нижней децили сигнала (день ото дня) (дБ) Отклонение нижней децили сигнала (в течение часа) (дБ)	Таблица 2 с использованием МПЧ для трассы 8
8	$D_u A$ $D_u M$ $D_u G$	Отклонение верхней децили (дБ): атмосферного шума искусственного шума галактического шума	Рек. МСЭ-R P.372 Рек. МСЭ-R P.372 2
9	$D_l SN$	Отклонение нижней децили результирующего отношения сигнал/шум (дБ)	Корень квадратный из суммы квадратов $D_l S_d$, $D_l S_h$ и $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{F_a A + D_u A}{10}} + 10^{\frac{F_a M + D_u M}{10}} + 10^{\frac{F_a G + D_u G}{10}}}{10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}}} \right]$
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, выбирается меньшая из величин
		Основная надежность линии для $S/N < S/N_r$ (%)	$80 / (1 + (S/N_r - S/N) / D_u SN) - 30$ или 0, выбирается большая из величин

ТАБЛИЦА 2

Отклонения нижней (НД) и верхней (ВД) децилей от предсказуемого месячного значения медианы принимаемого полезного сигнала и помехи, 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 расположения 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, рис. 2).

5 Основная надежность службы (ОНС)

Определение ОНС связано с использованием контрольных точек в пределах требуемой зоны обслуживания. ОНС представляет собой значение ОНП, превышаемое на требуемую процентную долю контрольных точек.

6 Расчет полной надежности, надежности линии, надежности приема и надежности службы

Расчет полной надежности линии (ПНЛ) аналогичен расчету основной надежности линии (ОНЛ) за исключением того, что принимаемые мощности от потенциально мешающих передатчиков суммируются и сравниваются с имеющимся сигналом для того, чтобы определить распределение медианы отношения (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, чтобы определить долю 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 тому, как основные надежности приема и службы рассчитываются по отношению S/N , полные надежности приема и службы (ПНС) можно рассчитать по предполагаемым распределениям часовых медиан отношения S/I (см. таблицу 3). Требуемый коэффициент защиты для РЧ можно получить на этапе 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 для конкретной сети известно, то можно использовать такие понятия, как надежность трассы и надежность связи (см. рис. 1).

ТАБЛИЦА 3
Расчет полной надежности линии (ПНЛ)

Этап	Параметр	Описание параметра	Способ получения значения параметра
1	S	Медианная мощность полезного сигнала на входе приемника (дБВт)	Метод прогнозирования P_r в п. 6 Рек. МСЭ-R P.533
2	I_1, I_2, \dots, I_i	Медианная мощность мешающих сигналов на входе приемника (дБВт)	Метод прогнозирования P_r в п. 6 Рек. МСЭ-R P.533
3	R_1, R_2, \dots, R_i	Относительный защитный интервал для мешающих сигналов (дБ)	Определяется пользователем
4	S/I	Медианное результирующее отношение 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 Отклонение нижней децилы мешающих сигналов (день ото дня) (дБ)	Таблица 2 с использованием 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 Отклонение нижней децилы мешающих сигналов (в течение часа) (дБ)	5 8
7	$D_u SI$	Отклонение верхней децилы результирующего отношения сигнал/помеха (дБ)	Корень квадратный из суммы квадратов $D_u S_d, D_u S_h,$ $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1 - D_l I_{1d}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 - D_l I_{2d}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i - D_l I_{id}}{10}}} \right]$ 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 (продолжение)

Этап	Параметр	Описание параметра	Способ получения значения параметра
8	$D_l S_d$ $D_u I_{1d}$ $D_u I_{2d}$... $D_u I_{id}$	Отклонение нижней децилы полезного сигнала Отклонение верхней децилы мешающих сигналов (день ото дня) (дБ)	Таблица 2 с использованием 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 Отклонение верхней децилы мешающих сигналов (в течение часа) (дБ)	8 5
10	$D_l SI$	Отклонение нижней децилы результирующего отношения сигнал/помеха (дБ)	Корень квадратный из суммы квадратов $D_l S_d, D_l S_h,$ $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1 + D_u I_{1d}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 + D_u I_{2d}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i + D_u I_{id}}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}} \right]$ и $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1 + D_u I_{1h}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 + D_u I_{2h}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i + D_u I_{ih}}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}} \right]$
11	S/I_r	Требуемое отношение сигнал/шум (дБ)	Определяется пользователем
12	НЛП	Надежность линии в присутствии только помех (без шума) для $S/I \geq S/I_r$ (%)	$130 - 80 / (1 + (S/I - S/I_r) / D_l SI)$ или 100, выбирается меньшая из величин
		Надежность линии в присутствии только помех (без шума) для $S/I < S/I_r$ (%)	$80 / (1 + (S/I_r - S/I) / D_u SI) - 30$ или 0, выбирается большая из величин
13	ОНЛ	Основная надежность линии (%)	Таблица 1
14	ПНЛ	Полная надежность линии (%)	Min (НЛП, ОНЛ)

7.1 Основная надежность трассы (ОНТ)

Если сеть включает в себя несколько линий, то наименьшая ОНТ будет равна произведению ОНП для всех линий на трассе: т. е.

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

где $ОНП_i$ представляет собой основную надежность приема для i -й трассы, а наибольшей оценкой является минимальное значение ОНП.

Для единственной линии ОНТ равна ОНП.

7.2 Основная надежность связи (R)

Если в сети имеется несколько трасс, то наименьшая оценка R определяется максимальной надежностью трассы, а наивысшая оценка – выражением:

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

где $ОНП_i$ представляет собой основную надежность приема для i -й трассы.

В случае единственной трассы R равняется ОНП.

8 Расчет совместимости

Совместимость является мерой ухудшения характеристик рассматриваемой линии или службы, вызванного помехами. В случае единственной линии из точки в точку 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 рассматриваемая система обслуживает некоторую область, т. е. имеет не одну точку приема, совместимость можно определить одним из следующих двух способов:

- временная совместимость службы (ВСС) – это процент времени, в течение которого заданный процент площади охвата p_A может быть обслужен при наличии 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 (ПНС) к основной надежности службы (ОНС);

- пространственная совместимость службы (ПСС) – это процент площади цели, который может быть обслужен в течение заданного процента времени p_T в присутствии помехи A_I по отношению к значению, которое было бы получено при наличии лишь фонового шума A_N :

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

где площадь A можно представить множеством контрольных точек приема, удовлетворяющих требуемым условиям.

9 ОНЛ для систем с цифровой модуляцией

Для систем с цифровой модуляцией имеется 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:

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

$$\text{и } F_m = 0,02 f T_m.$$

Дополнение 1

В настоящей Рекомендации используются следующие определения:

1 Термины, относящиеся к эксплуатации и проектированию ВЧ радиосистем

Надежность

Вероятность того, что обеспечиваются заданные параметры качества.

Надежность линии

Вероятность того, что для данной линии на одной частоте обеспечиваются заданные параметры качества.

Надежность приема

Вероятность того, что для данной линии обеспечиваются заданные параметры качества с учетом всех частот передачи полезного сигнала.

Надежность трассы

Вероятность того, что для пары терминалов заданные параметры качества обеспечиваются на одной трассе между терминалами, состоящей из одной или нескольких последовательно соединенных линий, с учетом всех частот передачи.

Надежность связи

Вероятность того, что для пары терминалов обеспечиваются заданные параметры качества с учетом всех трасс между ними и всех частот, на которых передается полезный сигнал.

Надежность службы

Вероятность того, что на обслуживаемой территории обеспечиваются заданные параметры качества с учетом всех частот передачи.

Пространственная надежность

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

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В вышеприведенных определениях термин "линия" означает линию передачи от места, где расположен один передатчик, до места, где расположен один приемник, как с использованием разнесения, так и без него.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Вышеприведенным терминам предшествует слово "основная" в тех случаях, когда фон состоит только из шума, и слово "полная", когда фон состоит из шума и помех.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В тех случаях, когда фон состоит из шума и помех, перечисленные выше термины могут относиться к воздействию либо одной помехи, либо нескольких помех, создаваемых передачами в совмещенных или соседних каналах.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Для многих приложений в качестве заданных параметров качества удобно использовать данное отношение сигнал/фоновый шум.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Перечисленные выше термины (т. е. виды надежности) могут относиться к одному или нескольким периодам времени, что должно быть оговорено.

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Для радиовещательной службы 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 режима

Вероятность того, что на данной линии заданные параметры качества обеспечиваются на одной частоте посредством одного режима.

Готовность режима

Вероятность того, что на одной линии в одном режиме сигнал на одной частоте может распространяться только посредством ионосферного отражения.

Достижимость качественных показателей режима

Вероятность того, что на одной линии заданные параметры качества достигаются посредством одного режима передачи сигнала на одной частоте при условии, что распространение может осуществляться только посредством ионосферного отражения.

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