



Подробнее о методиках расчета норм ЧТР читайте в материалах, опубликованных в печати, а также в разделе «Публикации» на нашем сайте

http://rfcmd.ru/taxonomy_menu/2

3.3. Расчет норм ЧТР и назначение частотных каналов для РЭС

Одной из главных задач анализа ЭМС РЭС является определение минимально-допустимых территориальных разнесов (ТР) потенциально несовместимых радиопередатчиков и радиоприемников совмещаемых служб при различных частотных расстройках и при различных вариантах взаимной ориентации их антенн. Если реальные значения ТР больше требуемых ТР, которые также называют координационным расстоянием (КР), то считается, что условия ЭМС рассматриваемых РЭС выполняются.

Одним из эффективных способов согласования условий ЭМС РЭС является применение норм ЧТР между взаимодействующими РЭС. Нормы ЧТР представляют собой совокупность взаимосвязанных значений КР, ЧР и УР, при которых обеспечивается ЭМС РЭС. На основе норм ЧТР определяют конкретные рабочие частоты (присвоения) приемопередатчиков РЭС совмещаемых служб на определенной территории. Кроме того, нормы ЧТР позволяют сформулировать более конкретно требования к характеристикам направленности и ориентации антенн взаимодействующих РЭС при заданных рабочих частотах.

Определение норм ЧТР производят из условия выполнения КЭМС, которые статистически нормируют показатели ЭМС, имеющие случайный характер из-за влияния замираний ПС и МС. Замирания ПС и МС возникают в процессе их распространения и имеют случайный характер. Распределения вероятностей уровней ПС и МС на входе приемника задаются эмпирически на основании результатов измерений в виде моделей распространения, кото-

рые рассмотрены в разд. 2.4. В службах подвижной связи и вещания распределение уровней ПС и МС сигналов принимается логнормальным [29].

Критерий ЭМС (см. разд. 3.2) допускает ухудшение качества приема информации в заданном проценте времени $T_{п доп}$, в течение которого может превышаться допустимое значение помех на выходе системы $P_{п доп}$. При этом условии выполнения ЭМС имеет вид

$$T_{п}(P_{п доп}) \leq T_{п доп} \quad (3.19)$$

где $T_{п}(P_{п доп})$ — значение интегральной функции распределения (ИФР) помех при условии $P_{п} = P_{п доп}$.

Для аналоговых систем НФС и ФСС, по которым передаются многоканальные телефонные сигналы, КЭМС нормируют в качестве допустимого показателя помех мощность шума $P_{тф доп}$ на выходе телефонного канала в точке относительного нулевого уровня (ТОНУ), в которой мощность сигнала на выходе канала $P_{с вых} = 1$ мВт. При передаче аналоговых телевизионных сигналов КЭМС нормируют ОСП на выходе канала изображения $q_{тв доп}$ и ОСП на выходе канала звукового сопровождения $q_{зв доп}$ в зависимости от класса качества канала [30].

В цифровых системах НФС и ФСС в качестве КЭМС используется вероятность ошибочного приема символов $P_{ош доп}$. При этом в КЭМС могут содержаться несколько градаций показателей ЭМС в виде нескольких значений пар $\{P_{п доп}, T_{п доп}\}$. При анализе ЭМС обычно используют показатели ЭМС для малых $T_{п доп}$, поскольку они являются определяющими в выполнении условий ЭМС [3].

Для ряда служб (ПСС, СПС, РСС, НРС) в качестве КЭМС используется ЗО $q_{м доп}$ на входе приемника станции-реципиента, ниже которого текущее значение ОСП $q_{м}$ может быть не более $T_{п доп}$ процентов времени месяца. В этом случае условие ЭМС, эквивалентное (3.3.3), имеет вид

$$T_{п}(q_{м доп}) \leq T_{п доп} \quad (3.20)$$

где $T_{п}(q_{м доп})$ — значение интегральной функции распределения (ИФР) ОСП $q_{м}$ при условии $q_{м} = q_{м доп}$.

Для ряда служб (СПС, НРС) в качестве КЭМС используется допустимое значение напряженности поля МС $E_{м доп}$ в точке размещения антенны станции-реципиента. В этом случае условие ЭМС аналогично (3.20) и имеет вид

$$T_{п}(E_{м доп}) \leq T_{п доп} \quad (3.21)$$

где $T_{п}(E_{м доп})$ — значение ИФР напряженности поля мешающего сигнала $E_{м}$ при условии $E_{м} = E_{м доп}$.

В некоторых случаях в качестве КЭМС может использоваться допустимое значение уровня МС $P_{м доп}$ на входе приемника станции-реципиента, для которых условие ЭМС аналогично (3.21):

$$T_{п}(P_{м доп}) \leq T_{п доп} \quad (3.22)$$

где $T_{п}(P_{м доп})$ — значение ИФР мощности МС $P_{м}$ при условии $P_{м} = P_{м доп}$. При этом конкретный расчет ЧТР связан с определением значения координационного расстояния $R_{к}$, дБВт, из выражения

$$P_{м доп}(T_{п доп}) = Z_{м}(\alpha, \varphi) - a_{м}(R_{к}, T_{п доп}), \quad (3.23)$$

где $Z_{м}$ — обобщенный энергетический параметр МС, дБВт; $a_{м}(R_{к}, T_{п доп})$ — допустимые потери на трассе распространения МС протяженностью $R_{м} = R_{к}$ для $T_{п доп}$ % времени. Обобщенный энергетический параметр $Z_{м}$ определяется по формуле

$$Z_{м}(\alpha, \varphi) = P_{пд} + g_{а пд}(\alpha) + g_{в пр}(\varphi) - a_{ф пл} - a_{ф пр} - B_{п}, \quad (3.24)$$

где $P_{\text{пл}}$ — уровень выходной мощности передатчика МС, дБВт; $g_{\text{апл}}(\alpha)$ — коэффициент усиления передающей антенны под углом α , дБ; α — угол исхода МС между осью ДНА мешающего передатчика и направлением трассы распространения МС; $g_{\text{ап}}(\varphi)$ — коэффициент усиления приемной антенны под углом φ , дБ; φ — угол прихода МС между осью ДНА приемной РС и направлением трассы распространения МС; $B_{\text{п}}$ — выигрыш за счет поляризационной развязки между РС и МС, дБ; $a_{\text{фпл}}$ — потери в передающем АФТ мешающей станции; $a_{\text{фпр}}$ — потери в приемном АФТ станции-реципиента.

При расчете норм ЧТР параметры УР α и φ являются неизвестными, и для того чтобы имелась возможность численного анализа, их задают в виде вариантов взаимной ориентации антенн станции-реципиента и мешающих станций [4, 29]. Возможны следующие сочетания ориентации ДНА, характеризующие взаимное влияние РЭС:

Г-Г — главный лепесток (ГЛ) ДНА одной станции направлен на ГЛ другой станции; такой вариант ориентации ДНА станции-реципиента и мешающей станции называют «дуэльной ситуацией» [31], в этом случае $\alpha = 0$; $\varphi = 0$;

Г-Б — мешающая станция ориентирована своим ГЛ на боковой лепесток (БЛ) ДНА станции-реципиента; в этом случае $\alpha = 0$; $\varphi = \varphi_1$, где φ_1 — угол, определяющий ориентацию первого БЛ станции-реципиента (см. разд. 2.3);

Б-Г — мешающая станция ориентирована своим БЛ на ГЛ станции-реципиента; в этом случае $\alpha = \alpha_1$; $\varphi = 0$, где α_1 — угол, определяющий ориентацию первого БЛ мешающей станции;

Б-Б — обе станции ориентированы своими БЛ навстречу друг другу, в этом случае $\alpha = \alpha_1$; $\varphi = \varphi_1$.

Таким образом, использование такого подхода к определению норм ЧТР позволяет свести общую задачу к анализу четырех вариантов ЭМО с фиксированными УР.

Из (3.23) находятся координационные потери, дБВт,

$$a_{\text{к}} = Z_{\text{м}}(\alpha, \varphi) - P_{\text{м деп}}(T_{\text{м деп}}), \quad (3.25)$$

откуда находим

$$R_{\text{к}} = \xi^{-1}[a_{\text{к}}, T_{\text{м деп}}], \quad (3.26)$$

где $\xi^{-1}[\cdot]$ — функция, обратная функции $a_{\text{к}}(R_{\text{м}}, T_{\text{м}})$.

Потери передачи МС $a_{\text{м}}(R_{\text{м}}, T_{\text{м}})$ зависят от высот подвеса приемной и передающей антенн, диапазона частот, в котором работают РЭС, характеристик трасс трассы, климатических параметров региона и имеют сложное аналитическое математическое описание (см. разд. 2.4). В связи с этим реализацию процедуры (3.26) при оценке условий ЭМС, выполняемой ручным способом, целесообразно проводить графическим способом. Для этой цели, очевидно, необходимо располагать графическим представлением функции $a_{\text{м}}(R_{\text{м}}, T_{\text{м}})$.

В ряде работ, например [32, 33], такие графики имеются, и ниже они будут использоваться в примерах расчетов ЧТР. При практических расчетах ЧТР необходимо построить аналогичные зависимости с использованием современных моделей распространения МС, описанных в разд. 2.4.

При использовании в качестве КЭМС защитного отношения имеем в общем случае воздействия на станцию-реципиент $N_{\text{м}} \text{ МС}$

$$q_{\text{м}} = 10 \lg(Q_{\text{мс}}), \quad (3.27)$$

где $Q_{\text{мс}}$ — результирующее ОСП на входе приемника, определяемое соотношением

$$\frac{1}{Q_{\text{мс}}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{м}}} \frac{1}{Q_{\text{м}_i}}; \quad (3.28)$$

здесь Q_m — ОСП на входе приемника, определяемое i -м МС:

$$Q_m = \alpha_{\text{АЧХ}} Q_{\text{м мед}} \Delta V_c^2 / \Delta V_m^2. \quad (3.29)$$

В (3.29) приняты следующие обозначения: $\alpha_{\text{АЧХ}}$ — коэффициент ослабления мощности МС АЧХ приемника, зависящий от формы АЧХ приемника станции-реципиента и расстройки несущих частот ПС и МС; ΔV_c — глубина замираний ПС, $\Delta V_c = V_c / V_{\text{с мед}}$; ΔV_m — глубина замираний i -го МС, $\Delta V_m = V_m / V_{\text{м мед}}$; $Q_{\text{м мед}}$ — медианное значение ОСП (в раз),

$$Q_{\text{м мед}} = P_{\text{с0}} V_{\text{с мсп}}^2 / \left(P_{\text{м0}} V_{\text{м мсп}}^2 \right). \quad (3.30)$$

Здесь $P_{\text{с0}}$ — мощность ПС при распространении в свободном пространстве; $P_{\text{м0}}$ — мощность i -го МС при распространении в свободном пространстве; $V_{\text{м мед}}$ — медианное значение множителя ослабления i -го МС.

В этом случае левая часть (3.20) определяется в соответствии с известными законами функционального преобразования случайных величин и может быть записана следующим образом:

$$T_n(q_{\text{м доп}}) = \underbrace{\int_0^\infty w_{N_m}(\Delta V_{N_m}) \dots \int_0^\infty w_1(\Delta V_{m1})}_{N_m \text{ раз}} \times T_c(\Delta V_c = \psi^{-1}[Q_{\text{м доп}}, \Delta V_{m1}, \dots, \Delta V_{mN_m}]) d\Delta V_{m1} \dots d\Delta V_{mN_m}, \quad (3.31)$$

где $w_i(\Delta V_m)$ — плотность распределения глубины замираний i -го МС, в общем случае имеющая вид, соответствующий механизму распространения i -го МС; $T_c(\Delta V_c)$ — ИФР глубины замираний ПС; $\psi^{-1}[\cdot]$ — функция, обратная функции (3.31); $Q_{\text{м доп}} = 10^{0,1q_{\text{м доп}}}$.

Следует отметить, что теоретически имеются и иные формы записи для определения $T_n(q_{\text{м доп}})$, но так или иначе при строгом ее вычислении необходимо выполнять многократное интегрирование (N_m раз). В большинстве случаев это можно сделать только численным интегрированием с применением ЭВМ и было выполнено, например, в [34, 35].

При воздействии одного МС соотношения (3.28)–(3.31) существенно упрощаются и (3.31) принимает вид

$$T_n(q_{\text{м доп}}) = \int_0^\infty w_m(\Delta V_m) T_c(\Delta V_c = \psi^{-1}[Q_{\text{м доп}}, \Delta V_m]) d\Delta V_m. \quad (3.32)$$

Вычисление T_n по формуле (3.32) также достаточно сложно. Поэтому в инженерной практике вместо (3.32) можно использовать приближенное соотношение [36]

$$T_n(q_{\text{м доп}}) = T_c(\Delta V_c = \psi^{-1}[q_{\text{м доп}}, \Delta V_m = 1]) + T_m(\Delta V_m = \psi^{-1}[q_{\text{м доп}}, \Delta V_c = 1]), \quad (3.33)$$

где $T_m(\Delta V_m)$ — ИФР глубины замираний МС.

В [37] было показано, что использование формул (3.33) при анализе ЭМС дает некоторую погрешность при оценке $T_n(q_{\text{м доп}})$, которая увеличивается с уменьшением $T_{\text{н доп}}$ и при $T_{\text{н доп}} < 0,1\%$ может быть порядка 10 дБ. Однако следует отметить, что данная погрешность будет создавать определенный запас в выполнении условий ЭМС и поэтому в принципе до-

пустима, а даже ее максимальное значение (порядка 10 дБ) также приемлемо при данных расчетах. При особых требованиях к условиям ЭМС РЭС проверочный расчет возможно целесообразно выполнять по точным формулам (3.31), (3.32), в которых математически корректно учтены замирания ПС и МС в области малых значений $T_{н доп}$ [31, 38, 39].

Из (3.33) находится допустимое значение

$$T_{м доп} = T_{п}(q_{м доп}) - T_c(\Delta V_c = \psi^{-1}[q_{м доп}, \Delta V_m = 1]) \quad (3.34)$$

и допустимое значение глубины замираний МС

$$\Delta V_{м доп} = \psi^{-1}(q_{м доп}, \Delta V_c = 1). \quad (3.35)$$

Значение R_k далее находится по графикам $T_m(\Delta V_m, R_m)$ при $T_m = T_{м доп}$ и $\Delta V_m = \Delta V_{м доп}$, которые являются аналогом зависимостей $a_m(R_m, T_m)$ и могут быть построены в соответствующих координатах с использованием последней. Здесь $R_{мэ}$ — эквивалентная длина трассы распространения МС, учитывающая углы возвышения мест расположения мешающей станции Δ_m и приемной станции Δ_c .

Значение $R_{мэ}$ определяется по формуле [32]

$$R_{мэ} = R_m + a_s(\Delta_m + \Delta_c),$$

где $a_s = 8500$ км — эквивалентный радиус Земли; углы Δ_m и Δ_c выражены в радианах.

На рис. 3.4–3.6 приведены статистические распределения глубины замираний МС для трех основных механизмов распространения МС: в условиях прямой видимости для сухопутных трасс (рис. 3.4), за счет дифракции на трассах с открытой местностью с умеренным климатом (рис. 3.5) и за счет тропосферного рассеяния на сухопутных трассах (рис. 3.6) [32, 33].

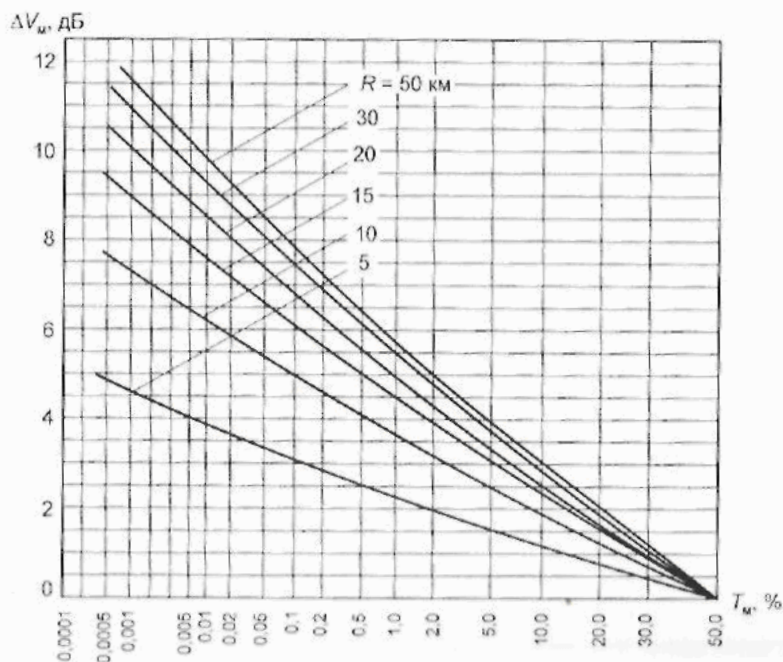


Рис. 3.4. Статистическое распределение глубины замираний МС на открытых трассах с прямой видимостью

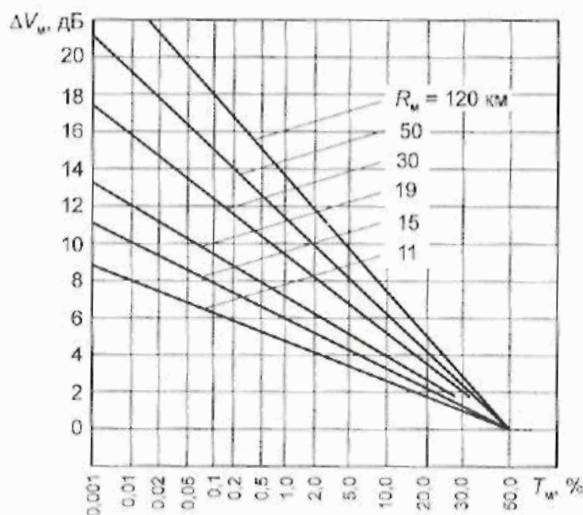


Рис. 3.5. Статистическое распределение глубины замираний МС на дифракционных трассах распространения с открытой местностью

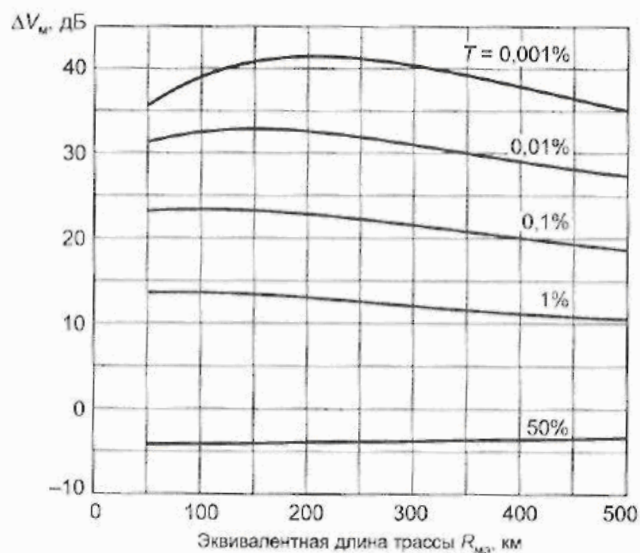


Рис. 3.6. Статистическое распределение глубины замираний МС на сухопутных трассах распространения из-за тропосферного рассеяния

Для случаев воздействия нескольких МС полученное значение $T_{м доп}$ распределяется по отдельным МС либо поровну, если их условия распространения примерно идентичны, либо неравномерно. Причем для трасс с меньшими потерями передачи МС рекомендуется отводить большую часть $T_{м доп}$ и, наоборот, для трасс с большими потерями передачи — меньшую часть. Дальнейшая процедура определения ЧТР не отличается от описанной выше, применяемой в случае воздействия только одного МС.

3.3.1. Методика определения норм ЧТР для аналоговых систем

Мощность помех, пВт, на выходе телефонного канала в точке относительного нулевого уровня определяется соотношением [3]

$$P_{\text{тф}} = 10^9 / (\alpha Q_M), \quad (3.36)$$

где α — коэффициент ослабления помех (КОП), зависящий от расстройки несущих частот ПС и МС, параметров энергетических спектров ПС и МС, а также от характеристики радиоприемника станции-реципиента; Q_M — текущее значение ОСП, раз.

Важно отметить, что коэффициент α является постоянным и его значения для типовых вариантов взаимодействия систем можно найти в [3, 29, 40].

Для вычисления ИФР $P_{\text{тф}}$ запишем (3.36) с учетом (3.28)–(3.30) при $i = 1$ в виде

$$P_{\text{тф}} = Z_{\text{тф}} \Delta V_M^2 / \Delta V_C^2, \quad (3.37)$$

где $Z_{\text{тф}}$ — обобщенный энергетический параметр ЭМС,

$$Z_{\text{тф}} = 10^9 / (\alpha Q_{M \text{ мес}}). \quad (3.38)$$

На основании (3.30) и с учетом (3.37) получаем

$$T_{\text{п}}(P_{\text{тф доп}}) = T_c \left(\Delta V_C = \sqrt{Z_{\text{тф}} / P_{\text{тф доп}}} \right) + T_M \left(\Delta V_M = \sqrt{P_{\text{тф}} / Z_{\text{тф доп}}} \right). \quad (3.39)$$

Тогда по аналогии с (3.34), (3.35) можно записать рабочие формулы для определения $T_{M \text{ доп}}$, $\Delta V_{M \text{ доп}}$ и $\Delta V_{C \text{ доп}}$:

$$T_{M \text{ доп}} = T_{\text{п}}(P_{\text{тф доп}}) - T_c(\Delta V_{C \text{ доп}}); \quad (3.40)$$

$$\Delta V_{C \text{ доп}} = \sqrt{Z_{\text{тф}} / P_{\text{тф доп}}}; \quad (3.41)$$

$$\Delta V_{M \text{ доп}} = \sqrt{P_{\text{тф доп}} / Z_{\text{тф}}}. \quad (3.42)$$

Далее, используя полученные значения, по графикам на рис. 3.4–3.6 находим значение координационного расстояния (минимально-допустимого территориального разноса).

Пример 5. Определить минимально-допустимый территориальный разнос между радиостанцией аналоговой системы с ЧМ/ЧУ, действующей в составе НФС (РРЛ), при воздействии на нее МС от земной станции ФСС, работающей в той же полосе частот. Принять следующие значения параметров: рабочая частота радиостанций — в диапазоне 6 ГГц; длина пролета РРЛ — 30 км; $\alpha = 17$ дБ; $q_{M \text{ мес}} = 60$ дБ; радиостанции расположены в сухопутном регионе; $\Delta_M = \Delta_C = 0$.

Решение. В этом случае имеем следующие значения КЭМС (см. разд. 3.2):

$$P_{\text{тф доп}} = 50000 \text{ пВт}; T_{\text{п доп}} = 0,01\% \text{ месяца.}$$

Значения параметров α и $Q_{M \text{ мес}}$ в разгах будут: $\alpha = 50$; $Q_{M \text{ мес}} = 10^6$. По (3.38) находим

$$Z_{\text{тф}} = 10^9 / (50 \cdot 10^6) = 20.$$

$$\text{По (3.41), (3.42) рассчитываем } \Delta V_{C \text{ доп}} = \sqrt{20 / 5 \cdot 10^4} = 2 \cdot 10^{-2}; \Delta V_{M \text{ доп}} = \sqrt{5 \cdot 10^4 / 20} = 50.$$

Значение $T_c(\Delta V_{C \text{ доп}})$, %, может быть найдено по формуле [30]

$$T_c(\Delta V_{C \text{ доп}}) = K_Q \Delta V_{C \text{ доп}}^2, \quad (3.43)$$

где $K_Q = 4 \cdot 10^{-4} \xi R_c^2 f^{1,5}$ — постоянный коэффициент; ξ — климатический параметр, для сухопутной трассы $\xi = 1$; R_c — длина пролета РРЛ, км; f — рабочая частота, ГГц.

Вычисляя значение $K_Q = 4 \cdot 10^{-4} \cdot 9 \cdot 10^2 \cdot 14,7 = 6\%$ и подставляя его в (3.43), получаем $T_c(\Delta V_{C \text{ доп}}) = 6 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-3} \%$.

По (3.40) получаем значение $T_{M \text{ доп}} = 0,01 - 0,0072 = 0,0076\%$.

Далее по графикам на рис. 3.4–3.6 необходимо определить при найденных значениях $T_{M \text{ доп}}$ и $\Delta V_{M \text{ доп}}$ протяженность и тип трассы МС, для которой выполняются эти показатели.

Поскольку глубина замираний МС на этих графиках отложена в децибелах, переведем $\Delta V_{\text{м, доп}}$ в децибелы по формуле $\Delta V_{\text{м, доп (дБ)}} = 20 \lg(\Delta V_{\text{м, доп (н.л.)}) = 20 \lg(50) = +34$ дБ.

Данной паре $\{T_{\text{м, доп}}; \Delta V_{\text{м, доп}}\}$ соответствуют только графики на рис. 3.6, по которым получаем при $T_{\text{м}} = T_{\text{м, доп}} = 0,0028\%$ и $\Delta V_{\text{м}} = \Delta V_{\text{м, доп}} = 34$ дБ значение территориального разброса $R_{\text{с}} = R_{\text{м}} \approx 150$ км.

Отметим, что частотный разброс (ЧР) в данной ЭМО определен значением показателя α , а требования к УР формулируются на основании соотношения (3.24) и энергетических параметров ПС таким образом, чтобы обеспечивалось требуемое медианное значение ОСШ $Q_{\text{ш, мед}} = 60$ дБ на входе приемника радиорелейной станции.

Уменьшение ТР можно достичь без изменения ЧР и УР, а также других параметров взаимодействующих станций увеличением α за счет использования сигнала дисперсии (СД) мощности радиосигнала на пролете РРЛ [3, 31] или применения специальных экранов [41].

3.3.2. Методика определения норм ЧТР для цифровых систем

Для цифровых систем связи методика анализа ЭМС и определения ЧТР в принципе не отличается от рассмотренной выше. Численные же результаты указанных процедур при тех же условиях распространения ПС и МС будут отличаться в зависимости от метода цифровой передачи.

Функциональная зависимость $P_{\text{ощ}}$ учитывает влияние ПС, МС и теплового шума (ТШ) приемника (в отличие от аналоговых систем, где ТШ не оказывает существенного влияния на значения $P_{\text{п}}$, соответствующие установленным значениям КЭМС). Обычно такие зависимости представляются в виде функционала

$$P_{\text{ощ}} = \psi[q_{\text{ш}}, q_{\text{м}}], \quad (3.44)$$

в котором $q_{\text{ш}}$ — отношение сигнал-шум (ОСШ) на входе приемника станции-реципиента.

Аналитический вид функционала (3.44) является достаточно сложным даже при учете воздействия одного МС, что делает целесообразным при определении ЧТР использовать графоаналитический метод определения ИФР $T(P_{\text{ощ, доп}})$, который в целом не отличается от определения ИФР $T(P_{\text{тф, доп}})$ в аналоговых системах, определение которой было рассмотрено в предыдущем разделе.

Показатель ОСШ $Q_{\text{ш}}$ в размах может быть записан через глубину замираний ПС следующим образом:

$$Q_{\text{ш}} = Q_{\text{ш, мед}} \Delta V_{\text{с}}^2, \quad (3.45)$$

где $Q_{\text{ш, мед}}$ — медианное значение ОСШ,

$$Q_{\text{ш, мед}} = P_{\text{с0}}/P_{\text{ш}}, \quad (3.46)$$

здесь $P_{\text{ш}}$ — мощность ТШ, отнесенных ко входу приемника.

В графическом виде выражение (3.44) показано на рис. 3.7 для 64-КАМ, а на рис. 3.8 для 256-КАМ [42].

Следует отметить, что данные зависимости рассчитаны методом гауссовского приближения, который, как показано в ряде работ, имеет незначительную для данных расчетов погрешность [1, 42]. Кроме того, важно иметь в виду, что для воздействия МС в цифровых системах характерно то, что влияние вида модуляции МС при фиксированной расстройке несущих частот ПС и МС практически не сказывается, и поэтому при расчетах ЭМС этот параметр учитывается при определении коэффициента ослабления мощности МС за счет АЧХ приемника станции-реципиента.

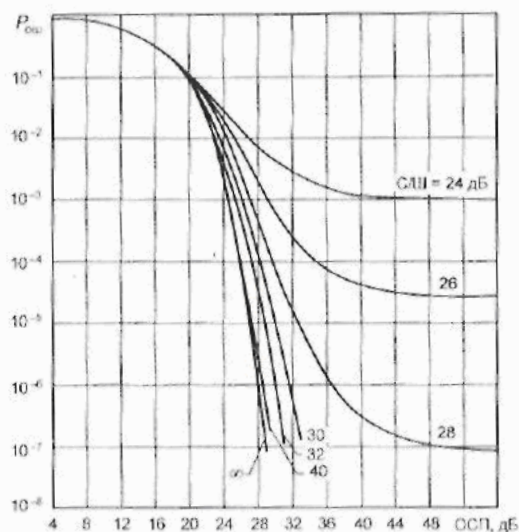


Рис. 3.7. Вероятность ошибок в цифровой системе с модуляцией 64-КАМ

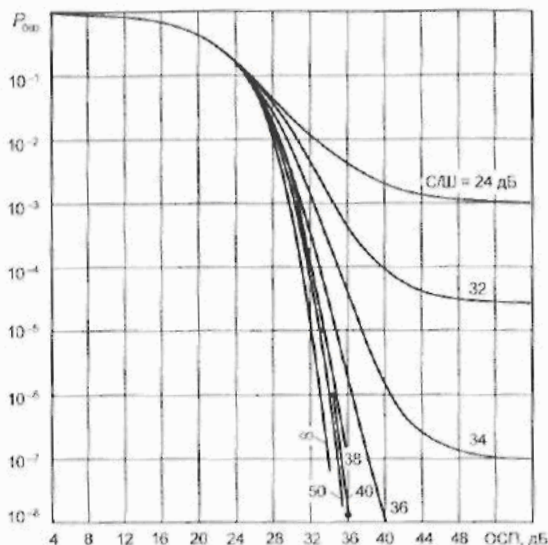


Рис. 3.8. Вероятность ошибок в цифровой системе с модуляцией 256-КАМ

По аналогии с (3.34), (3.35) можно записать рабочие формулы для определения $T_{м доп}$, $\Delta V_{с доп}$ и $\Delta V_{м доп}$:

$$T_{м доп} = T_{п}(P_{ош доп}) - T_{с}(\Delta V_{с доп}); \quad (3.47)$$

$$\Delta V_{с доп} = \Psi^{-1}(P_{ош доп}, \Delta V_{м} = 1); \quad (3.48)$$

$$\Delta V_{м доп} = \Psi^{-1}(P_{ош доп}, \Delta V_{с} = 1), \quad (3.49)$$

которые позволяют, используя графики на рис. 3.4–3.6, определять ЧТР графоаналитическим методом. Порядок расчета в этом случае иллюстрируется ниже в примере 6. Процедура определения ЧТР аналогична процедуре, описанной в разд. 3.3.2, и особых комментариев не требует. Следует отметить только, что в этом примере расчеты выполняются с использованием зависимостей $P_{ош} = \Psi[q_{ш}, q_{м}]$, показанных на рис. 3.7–3.8, которые при необходимости выполнения аналогичных расчетов по более точным (в теоретическом смысле) соотношениям могут быть в расчетной процедуре легко скорректированы с помощью некоторой поправки.

Пример 6. Определить минимально-допустимый территориальный разнос между радиостанцией цифровой системы с 64-КАМ, действующей в составе НФС (РРЛ), при воздействии на нее МС от земной станции ФСС, работающей в той же полосе частот. Принять следующие значения параметров: рабочая частота радиостанций — в диапазоне 6 ГГц; длина пролета РРЛ — 30 км; $q_{ш мед} = 60$ дБ, $q_{м мед} = 50$ дБ; радиостанции расположены в сухопутном регионе; $\Delta_m = \Delta_c = 0$.

Решение. В этом случае имеем следующие значения КЭМС (см. разд. 3.3.2):

$$P_{ош доп} = 10^{-3}; T_{п доп} = 0,01\% \text{ месяца.}$$

Рассчитываем $T_{с}(\Delta V_{с доп})$, для чего по рис. 3.7 по кривой для $q_{м} = q_{м мед} = 50$ дБ при $P_{ош} = 10^{-3}$ находим значение $q_{ш} = 24,5$ дБ, которое соответствует идеальному приему. Принимаемая энергетический запас $\Delta q_{ш} = 2$ дБ, получаем допустимое значение ОСШ для реальной системы $q_{ш доп} = 26,5$ дБ.

Далее на основании (3.45) рассчитываем значения $\Delta V_{с доп}$, дБ, по формуле

$$\Delta V_{с доп} (\text{дБ}) = q_{ш доп} - q_{ш мед} = 26,5 - 60 = -33,5 \text{ дБ,}$$

которое затем переведем в разы по формуле

$$\Delta V_{c, \text{доп}} (\text{раз}) = 10^{0,05 \Delta V_{c, \text{доп}} (\text{дБ})} = 10^{-1,675} = 2,8 \cdot 10^{-2}.$$

По (3.43) определяем значение $T_c(\Delta V_{c, \text{доп}})$ с учетом значения постоянного коэффициента $K_{\text{ц}} = 6\%$ (см. пример 1):

$$T_c(\Delta V_{c, \text{доп}}) = 6 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 4,8 \cdot 10^{-3} \%$$

По (3.47) получаем $T_{\text{м, доп}} = 0,01 - 0,0048 = 0,0052 \%$.

По графику на рис. 3.7 при $P_{\text{эм, доп}} = 10^{-3}$ и $q_{\text{ш}} = q_{\text{ш, макс}} = 60$ дБ находим допустимое ОСП на входе приемника $q_{\text{м, доп}} = 24$ дБ и далее определяем значение $\Delta V_{\text{м, доп}}$ по формуле

$$\Delta V_{\text{м, доп}} (\text{дБ}) = q_{\text{ш, макс}} - q_{\text{м, доп}} = 60 - 24 = +36 \text{ дБ}.$$

Далее по графикам на рис. 3.4–3.6 необходимо определить при найденных значениях $T_{\text{м, доп}}$ и $\Delta V_{\text{м, доп}}$ протяженность и тип трассы МС, для которой выполняются эти показатели. Данной паре $\{T_{\text{м, доп}}; \Delta V_{\text{м, доп}}\}$ соответствуют только графики на рис. 3.6, по которому получаем при $T_{\text{м}} = T_{\text{м, доп}} = 0,0052\%$ и $\Delta V_{\text{м}} = \Delta V_{\text{м, доп}} = 36$ дБ значение территориального разнosa $R_{\text{x}} = R_{\text{мс}} \approx 130$ км.

3.3.3. Особенности определения норм ЧТР для систем сотовой подвижной связи

В диапазоне 800 МГц региональные сотовые сети сухопутной подвижной связи России создавались на базе стандарта AMPS (D-AMPS), а сети фиксированной сотовой связи с кодовым разделением каналов (CDMA) — стандарта IS-95. Сети стандартов AMPS и CDMA работали в совпадающих диапазонах частот (в совмещенных частотных каналах) и размещались часто в одном регионе. Поэтому возникала необходимость обеспечения ЭМС РЭС средств этих сетей.

Поясним основные положения методики обеспечения их ЭМС. При анализе межсистемной ЭМС РЭС следует рассматривать влияние базовых станций (БС) одной системы на абонентские станции (АС) другой, а также обратное воздействие АС на БС (далее БС_{AMPS}, АС_{AMPS}, БС_{CDMA}, АС_{CDMA}). Символически влияние помех сетей CDMA и AMPS на сети AMPS и CDMA будем обозначать следующим образом: АС_{CDMA} → БС_{AMPS}, БС_{CDMA} → АС_{AMPS}; АС_{AMPS} → БС_{CDMA}, БС_{AMPS} → АС_{CDMA}.

На рис. 3.9 показаны помеховые ситуации в рассматриваемой ЭМО и введены обозначения ТР между РЭС совмещаемых сетей (R_1, R_2, R_3, R_4). Стрелками показаны направления воздействия радиопомех. Из рис. 3.9 видно, что величина $\max(R_1, R_4)$ определяет необходимое расстояние между БС_{AMPS} и АС_{CDMA}, обеспечивающее ЭМС между ними. Аналогично территориальный разнос $\max(R_2, R_3)$ обеспечивает ЭМС между БС_{CDMA} и АС_{AMPS}. С практической точки зрения целесообразно определить минимальное допустимое расстояние между базовыми станциями рассматриваемых сетей, при котором обеспечивается совместная работа всех РЭС этих сетей с заданным качеством. Методология расчета величин R_1, R_2, R_3 и R_4 подобна той, которая изложена в предыдущем разделе.

Для обеспечения ЭМС РЭС необходимо, чтобы ТР между БС_{CDMA} и БС_{AMPS} выбирался из условия максимума:

$$R_{\text{x}} = \max[R_{\text{оCD}} + \max(R_1, R_4); R_{\text{оAM}} + \max(R_2, R_3)],$$

где $R_{\text{оAM}}$, $R_{\text{оCD}}$ — радиусы зон обслуживания БС в системах AMPS и CDMA.

На рис. 3.10 схематично показан вариант взаимного расположения БС сетей CDMA и AMPS. Секторные антенны БС этих сетей ориентированы в направлении своей зоны обслуживания, а в направлении соседней сети радиопомеха излучается задним лепестком ДНА. Радиусы зон обслуживания БС в направлении соседней сети показаны стрелкой: $R_{\text{оCD}}$ — радиус зоны обслуживания БС_{CDMA}, $R_{\text{оAM}}$ — БС_{AMPS}.

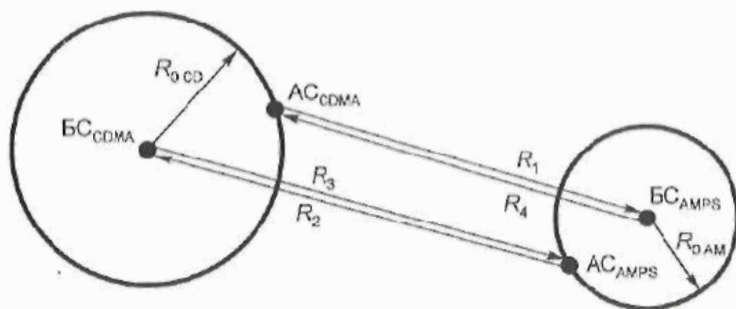


Рис. 3.9. Помеховые ситуации при взаимодействии двух сетей подвижной связи

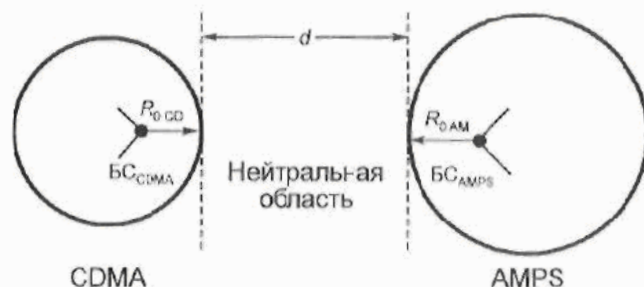


Рис. 3.10. Необходимый территориальный разнос между границами сот двух сетей

Обеспечение ЭМС РЭС сотовых сетей связи стандартов AMPS и CDMA в совмещенных частотных каналах возможно только в том случае, если установлены ограничения на энергетические параметры этих РЭС, а зоны покрытия радиосетей разделены некоторой нейтральной областью, определяемой требуемым территориальным разнесом между границами сетей. Размер этой области может быть уменьшен, если на БС применяются секторные антенны со сниженным уровнем боковых и задних лепестков ДНА, что позволяет снизить мощность помехи, излучаемой БС в направлении соседней сети.

Необходимый ТР между границами зон обслуживания сетей AMPS и CDMA, как видно из рис. 3.10, может быть рассчитан следующим образом:

$$d = \max[\max(R_1, R_4) - R_{0AM}; \max(R_2, R_3) - R_{0CD}].$$

Значения ТР, рассчитанные по описанной методике, приведены в табл. 3.7 [35].

Таблица 3.7. Значения территориального разноса

G_0 , дБ	R_{0CD} , км	R_{0AM} , км	R_1 , км	R_2 , км	R_3 , км	R_4 , км	D , км	d , км
13	1,8	5,3	4,0	3,1	15,4	6,1	20,7	13,6
-7	0,5	1,4	1,0	0,82	4,0	1,6	5,4	3,5
-27	0,12	0,37	0,27	0,21	1,0	0,42	1,37	0,88

Анализ этих норм ЧТР показывает, что радиус зоны обслуживания БС_{CDMA} составляет $R_{0CD} = 1,8$ км, а для БС_{AMPS} — $R_{0AM} = 5,3$ км. При использовании секторных антенн БС с уровнем боковых лепестков -7 дБ радиусы зон обслуживания БС в направлениях излучения этих лепестков уменьшаются до $R_{0CD} = 0,5$ км и $R_{0AM} = 1,4$ км. Если применить специальные

меры, расположив, например, антенны БС на степах зданий, экранирующих излучение в обратном направлении, то уровень излучения задних лепестков ДНА может быть снижен до -27 дБ. При этом радиусы зон обслуживания БС в направлениях излучения этих лепестков составляют: $R_{\text{СД}} = 0,12$ км, $R_{\text{ОАМ}} = 0,37$ км.

Для работы сотовых систем подвижной связи третьего поколения были выделены полосы частот 1885...2025 и 2110...2200 МГц. В этих же диапазонах работают зонные РРЛ. Поэтому, рассматривая вопросы развития систем подвижной связи 3-го поколения в диапазоне 2 ГГц, необходимо определить возможности совместного использования этих диапазонов частот системами подвижной связи стандарта CDMA и РРЛ. Такое совместное использование может быть достигнуто только за счет территориального и/или частотного разнеса между этими системами.

Методика анализа ЭМС и расчет норм ЧТР для этих РЭС приведены в [34]. Эта методика в основных своих положениях соответствует подходам, изложенным выше. Ее основные особенности связаны с определением мощности помех, создаваемых передатчиками сети подвижной связи на входе приемника радиорелейной станции (РРС).

Расчеты, выполненные по данной методике, показывают, что для сети подвижной связи стандарта CDMA и аналоговой РРС, занимающей канал с шириной полосы частот 28 МГц, ЭМС обеспечивается в случае, если частотный разнос между ПС и МС превышает 35 МГц. Для цифровой РРС, занимающей канал с шириной полосы частот 2 МГц, ЭМС обеспечивается, если частотный разнос между ПС и МС более 3,4 МГц.

3.3.4. Назначение частотных каналов для РЭС

Назначение частотных каналов как способ обеспечения ЭМС РЭС осуществляется либо централизованно государственными радиочастотными органами (РЧО), либо децентрализованно местными РЧО (республиканскими, краевыми и областными) и заключается в присвоении (назначении) конкретной частоты для работы каждого РЭС из числа выделенных РЭС частот или полос частот.

Централизованное назначение частотных каналов осуществляется для работы наиболее важных и мощных РЭС (например, для радиостанций правительственной сети связи, вещательных радиостанций и передающих телецентров и т.п.). Децентрализованное назначение частот осуществляется для работы, как правило, маломощных РЭС массового применения (в частности, радиостанций сухопутной подвижной службы, маломощных радиорелейных станций и т.п.). При децентрализованном назначении частотных каналов учитывают основные положения Регламента радиосвязи (прежде всего Таблицу распределения частот), а при децентрализованном, кроме того, постановления (указания) государственных РЧО. Например, частотные каналы, назначенные централизованно, запрещаются для использования другими РЭС в пределах территории, где возможны непреднамеренные помехи от них.

Основная цель назначения частотных каналов состоит в том, чтобы исключить прежде всего работу РЭС на одних и тех же частотах при размещении РЭС в общих территориальных районах в пределах координационных зон радиостанций, т.е. зон вокруг станции РЭС, за пределами которой станции других РЭС, совместно использующие ту же полосу частот, не создают мешающих излучений, превышающих допустимый уровень, и не подвергаются их воздействию [43].

Для исключения непреднамеренных помех между РЭС при одновременной их работе в общих территориальных районах большинство РЭС, особенно массового применения, имеют сетки или несколько фиксированных частотных каналов с определенным минимальным

разносом по частоте. Например, для радиостанций сухопутной подвижной службы, работающих в полосе частот 1,6...8 МГц, минимальный частотный разнос между соседними каналами сетки частот составляет 5 кГц, а работающих в диапазоне свыше 30 МГц — 25 кГц [44]. Для РЭС с плавной перестройкой частоты в пределах присвоенных полос частот частотный разнос каналов может быть установлен любым, но, в принципе, не менее требуемого.

Для работы РЭС различных радиолиний без взаимных радиопомех рабочие частоты РЭС назначаются так, чтобы ЧР между ними составлял не менее некоторого требуемого значения $\Delta f_{\text{пр}}$, которое в общем случае должно удовлетворять условию

$$\Delta f_{\text{пр}} = |f_c - f_m| \geq (\Delta f_c + \Delta f_m)/2, \quad (3.50)$$

где Δf_c — ширина полосы пропускания приемника станции-реципиента; Δf_m — полоса частот, занимаемая излучением передатчика МС на заданном уровне –30 дБ или –60 дБ.

При назначении частотных каналов конкретным РЭС должны учитываться нормы ЧТР, которые определяют взаимные удаления между РЭС, допустимые мощности излучения передатчиков и чувствительности приемников, допустимые значения защитных отношений, коэффициенты усиления антенн, наличие в РЭС сеток или выделенных номиналов частот и ряд других характеристик. Минимально необходимый ЧР $\Delta f_{\text{пр}}$, обеспечивающий работу РЭС без взаимных помех, определяется прежде всего видом модуляции используемых в РЭС сигналов. Поэтому с достаточной для практики точностью численные значения Δf_c и Δf_m должны соответствовать общесоюзным нормам на ширину полосы радиочастот радиопередающих устройств [45].

Задача рационального назначения частот особо актуальна при организации работы РЭС без взаимных помех в метровом, дециметровом и сантиметровом диапазонах радиоволн, где работает наибольшая часть различных РЭС фиксированной и подвижной служб, радио- и телевизионного вещания, а также других служб [44, 46, 47, 48].

Если в процессе назначения частотных каналов оказывается, что выделенное при распределении какой-либо службе число каналов оказывается меньше необходимого для работы РЭС, то одни и те же частоты могут повторно назначаться другим РЭС, в том числе и однотипным. Условием такого назначения является строгое выполнение норм ЧТР и размещения совмещаемых РЭС за пределами координационных зон соответствующих станций или работы РЭС в различные интервалы времени. Такой метод назначения частотных каналов РЭС существенно повышает эффективность использования радиоспектра и широко используется, например, в современных сухопутных системах подвижной связи. Основой реализации способа повторного назначения частотных каналов в таких системах является применение принципов сотового покрытия общей территории обслуживания, принципа кластирования частотно-территориального ресурса системы и принципа секторирования сот [49, 50]. Результатом такой организации сотовой инфраструктуры связи достигается возможность многократного использования относительно небольшого числа частотных каналов на небольшой территории.

Для РЭС, расположенных на одном объекте, частотные каналы назначаются так, чтобы исключить работу РЭС не только на совпадающих частотах, но и на таких частотах, которые приводят к совпадению излучений передатчиков на гармониках с основными каналами приема совмещаемых РЭС или основных излучений передатчиков с побочными каналами приемников совмещаемых РЭС.

Эффективность назначения частотных каналов как один из основных и наиболее важных способов обеспечения ЭМС РЭС характеризуется следующим:

- разнос частотных каналов РЭС в соответствии с условием (3.50), как правило, практически полностью исключает взаимные помехи между РЭС, поскольку в зависимости от значений Δf_c и Δf_m уровень взаимных помех ослабляется на –(40...60) дБ;

– назначение частотных каналов не требует значительных временных и материальных затрат по сравнению, например, с территориальным разнесом РЭС и осуществляется при выдаче разрешения на эксплуатацию РЭС или в ходе эксплуатации.

Для незначительных по числу (единицы) совокупностей РЭС на ограниченных по территории районах назначение частотных каналов выполняется достаточно просто методом перебора выделенного числа частотных каналов с учетом условия (3.50) и норм ЧТР. Для значительных по числу (десятки — сотни и более) совокупностей РЭС в больших районах методы назначения частотных каналов достаточно сложны, основываются на использовании ЭВМ и подробно излагаются, например, в [51, 52].