

8.3. Нормирование ИРП

Если уровень мешающего сигнала, присутствующего в том же канале, что и полезный сигнал, слишком велик, то полезный сигнал может быть уничтожен. Приемлемый уровень помехи, присутствующей в одном канале с полезным сигналом, определяется характером сигнала и помехи. Например, непрерывная помеха, действующая при передаче высококачественного радиовещательного сигнала, будет неприемлемой даже при очень низких уровнях, в то время как канал связи, в котором передается компрессированный речевой сигнал, может функционировать даже при относительно высоких уровнях импульсных помех. Цифровые системы связи по сравнению с аналоговыми обеспечивают большую помехоустойчивость, при этом, когда уровень помех достигает критического, происходит срыв связи. Узкополосные и широкополосные помехи оказывают различное мешающее воздействие на полезный сигнал. Субъективные испытания показали, что для получения эквивалентной субъективной оценки амплитуда узкополосной помехи должна быть существенно ниже, чем у широкополосной.

Для обеспечения заданного качества радиоприема с надежностью α исходят из условия [8], что реальное отношение сигнал-помеха на входе приемника не должно быть ниже допустимого отношения сигнал-помеха в заданном проценте случаев:

$$\alpha = \text{Вер}\{E_c/E_n \geq A_0\}, \quad (8.1)$$

где $\text{Вер}\{*\}$ — вероятность события $\{*\}$; E_c — минимальная гарантированная величина напряженности поля сигнала; E_n — напряженность поля помехи; A_0 — минимально допустимое отношение сигнал-помеха (защитное отношение).

Таким образом, оперируя тремя величинами: E_c , E_n и A_0 , можно обеспечить заданное качество радиоприема с заданной надежностью.

Увеличение E_c , т.е. увеличение мощности радиопередатчика, приводит к нерациональному использованию радиочастотного спектра и является крайне нежелательной мерой.

Защитное отношение A_0 является одной из основных технических характеристик аппаратуры связи, характеризующей ее помехоустойчивость. Методы достижения высоких значений помехоустойчивости, а следовательно, низких значений A_0 , связаны с конструированием аппаратуры и требуют существенных затрат.

Уменьшение величины E_n — это вопрос ограничения уровней ИРП на источнике помех до допустимых значений, т.е. это вопрос нормирования ИРП.

Для расчета норм на излучение в случае ИРП, попадающих в полосу приемника (в канал настройки), в СИСПР разработана следующая модель [8]:

- определяют защитное отношение для радиослужб в отведенных полосах частот, для разных видов помех. Данные по защитным отношениям можно найти в документах МСЭ и в технических материалах разработчиков и производителей аппаратуры связи. В ПК Н СИСПР в 2003 г. поставлена задача сбора технических данных [6], в том числе защитных отношений, необходимых для оценки мешающего действия ИРП различным службам радиосвязи;
- на базе защитного отношения и, зная минимальную (номинальную) напряженность поля полезного сигнала (подлежащую защите напряженность поля) E_c , вычисляют допустимую напряженность поля помехи на приемной антенне E_n ;
- определяют минимальное рабочее расстояние между источником ИРП и приемной антенной и с помощью расчетного или эмпирического коэффициента распространения вычисляют допустимую напряженность поля помех на определенном измерительном расстоянии;

– на основе статистических данных вводят некоторые дополнительные коэффициенты, учитывающие случайный характер потерь при распространении полезного сигнала и помехи к точке приема.

Конечный результат этой процедуры — расчетная норма, которая является основой для рабочей нормы.

Почему только основа, а не собственно норма? Во-первых, точность оценки нормы зависит от надежности статистических оценок параметров, участвующих в расчете. Следует признать, что сегодня пользуются весьма грубыми оценками. Во-вторых, введение мер помехоподавления должно рассматриваться с позиций производства и, не в последнюю очередь, экономики. Поэтому расчетная норма должна использоваться как полезная отправная точка, а окончательное значение нормы часто (на самом деле, почти всегда) является результатом соглашения между заинтересованными сторонами после всесторонних рассмотрений и переговоров.

Проблема решается на основе компромисса — радиослужбы допускают определенную степень влияния помех на процесс приема радиосигналов, но помехи, создаваемые различными источниками, не должны превышать рабочей нормы (допускающей более высокий уровень помех по сравнению с расчетной нормой).

Неотъемлемой частью этого компромисса является экономический баланс. Меньший уровень воздействующих помех позволяет использовать радиопередатчики меньшей мощности. При этом стоимость подавления помех, создаваемых различными источниками, будет выше. С другой стороны, применение радиопередатчиков большой мощности (со свойственным им неэффективным использованием радиочастотного спектра) приведет к меньшей стоимости мероприятий по подавлению помех. Этот экономический баланс был проверен за прошедшие десятилетия при введении различных стандартов, устанавливающих нормы на уровне ИРП.

Нормы на ИРП устанавливают для серийно выпускаемых устройств. Партии изделий оценивают на соответствие нормам, используя статистические процедуры, идея которых заключается в том, что о генеральных характеристиках оцениваемой партии изделий судят по выборочным характеристикам, определяемым по результатам испытаний образцов изделий из этой партии [10]. Норма, установленная на статистической основе, предписывает, чтобы с достоверностью p в партии было не менее q процентов кондиционных изделий.

СИСПР рекомендует «Правило 80%–80%» ($p = q = 80\%$), в соответствии с которым по крайней мере 80% серийно изготовленных устройств должно соответствовать нормам на ИРП с достоверностью не менее 80%. Это значит, что партия устройств принимается как кондиционная, если даже 20% устройств создает помехи, уровень которых превышает установленное значение нормы. Это правило в общем случае вполне адекватно для защиты не жизненно важных радиослужб, таких, как вещание и большинство служб мобильной наземной связи.

Существует ряд выборочных процедур, по которым партия изделий оценивается на соответствие нормам. В области ИРП при одобрении типа (приемочном контроле или сертификации) чаще других используется процедура контроля по линейной комбинации выборочных характеристик \bar{x}_n и S_n . Считается, что партия изделий соответствует норме, если выполняется следующее условие:

$$\bar{x}_n + kS_n \leq L, \quad (8.2)$$

где L — допустимая норма на радиопомехи; \bar{x}_n — среднее арифметическое значение уровней помех от n изделий в выборке; S_n — среднее квадратическое отклонение (СКО) значе-

ний уровень помех от n изделий в выборке, $S_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x}_n)^2$, x_i — уровень помех от i -го изделия; k — коэффициент, определяемый из таблиц нецентрального t -распределения, значение k зависит от объема выборки n и указано в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Значения параметров для оценки партии изделий

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	0,04	1,69	1,52	1,42	1,35	1,30	1,27	1,24	1,21	1,20

Значения x_p , \bar{x}_n , S_p и L выражены в логарифмических единицах дБ/мкВ, дБ/мкВ/м и др.

Пример. Рассчитаем допустимое значение напряжения ИРП в антенне автомобильного радиоприемника. Нормы на напряжение ИРП в автомобильной антенне предъявляют требования к группе характеристик в целом: к уровню излучения электрооборудования автомобиля, к помехозащищенности антенно-фидерной системы и к месту расположения антенны и фидера. Ответственность за выполнение этой нормы возлагается на производителя автомобиля. Если серийный автомобиль не комплектуется радиоприемником, то завод-изготовитель должен внести в паспортные данные этой модели рекомендуемый тип антенны и место ее установки, а при типовых и приемочных испытаниях представить образцы автомобилей с установленной антенной.

Исходим из условия обеспечения заданного качества радиоприема с надежностью α , т.е. из условия, что реальное отношение сигнал-помеха R на входе приемника не ниже допустимого отношения A_0 в заданном проценте случаев:

$$\alpha = \text{Вер}\{R \geq A_0\}. \quad (8.3)$$

При выражении всех величин в децибелах:

$$R = U_c - U_n = E_c - AF - U_a - k, \quad (8.4)$$

где U_c — напряжение полезного сигнала на выходе антенного кабеля, дБ/мкВ; U_n — напряжение ИРП на выходе антенного кабеля, дБ/мкВ; E_c — минимальная гарантированная величина напряженности поля сигнала, дБ/мкВ/м; AF — антенный фактор — отношение напряженности электрического поля к напряжению на выходе антенны [9], дБ, $AF = E_c - U_c$; U_a — напряжение ИРП, измеренное на выходе антенного кабеля в стандартных условиях (при частоте вращения вала двигателя 1500 об/мин), дБ/мкВ; k — коэффициент, учитывающий различие значений U_a и U_n ; $U_n = U_a + k$.

Для нормально распределенных случайных величин $U_a(m_U, \sigma_U)$ и $k(m_k, \sigma_k)$ в соответствии с правилами композиции законов [11]

$$1 - \alpha = F_0\{(A_0 - m_R)/\sigma_R\}, \quad (8.5)$$

где $F_0\{*\}$ — интеграл вероятностей вида $F_0\{*\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^* e^{-t^2/2} dt$; m_R — математическое ожидание значений R ; $m_R = E_c - AF - m_U - m_k$; σ_R — среднее квадратическое отклонение (СКО) значений R ; $\sigma_R^2 = \sigma_U^2 + \sigma_k^2$; m_U, m_k — математическое ожидание значений U_a и k соответственно; σ_U, σ_k — СКО значений U_a и k соответственно.

Квантиль нормального распределения, отвечающий уровню вероятности $1 - \alpha$,

$$t_{1-\alpha} = (A_0 - m_R)/\sigma_R. \quad (8.6)$$

Принцип задания статистических норм (норма устанавливается так, чтобы не менее чем $\beta \cdot 100\%$ значений генеральной совокупности было ниже нормируемого значения):

$$L_a = m_U + t_\beta \sigma_U, \quad (8.7)$$

где L_a — значение нормы на напряжение U_a ; t_β — квантиль нормального распределения, отвечающий заданному уровню вероятности выполнения норм β .

Учитывая (8.6) и (8.7), получаем расчетное выражение для L_a :

$$L_a = E_c - A_0 - AF - m_k + t_\beta \sigma_U + t_{1-\alpha} \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_k^2}. \quad (8.8)$$

Исходные данные для расчета взяты из литературных источников. Для УКВ ЧМ (65...108 МГц): $E_c = 60$ дБ; $A_0 = 26$ дБ; $AF = 10$ дБ; $m_k = 3,6$ дБ; $\sigma_U = 5,9$ дБ; $\sigma_k = 2,2$ дБ.

$\beta = 0,8$; $t_\beta = 0,84$; $\alpha = 0,95$; $t_{1-\alpha} = -1,64$; $L_a = 15$ дБ (мкВ).