



3.2. Критерии ЭМС для различных служб и условия их выполнения

Под критерием ЭМС (КЭМС) понимается допустимое значение показателя ЭМС (ПЭМС) или нескольких ПЭМС, однозначно определяющее условия выполнения ЭМС радиослужб в определенной электромагнитной обстановке (ЭМО). По своей структуре ПЭМС можно разделить на три группы: простые, групповые и обобщенные. К простым ПЭМС относятся элементарные энергетические параметры, характеризующие ЭМО [3, 4]:

- расстояние между источником мешающего сигнала (мешающей станцией) и его реципиентом (станцией-реципиентом, т.е. станцией, подверженной воздействию помех) R_m ;
- угол прихода МС φ_m , т.е. угол между осью ДНА станции-реципиента и направлением из точки ее расположения на источник МС;
- расстройка несущих частот ПС и МС Δf_p , определяемая как

$$\Delta f_p = |f_c - f_m|, \quad (3.18)$$

где f_c и f_m — несущие частоты ПС и МС соответственно;

- уровень МС на входе приемника станции-реципиента $p_{m\text{вх}}$, дБВт.

К групповым ПЭМС относятся такие, которые представляют совокупность элементарных энергетических параметров или некоторый системный показатель, являющийся функцией от такой совокупности [3, 5, 6]:

- эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ) мешающей станции $p_{и м}$, дБВт;
- плотность потока мощности (ППМ) мешающей станции W_m , дБВт/м²;
- отношение сигнал-помеха (ОСП) q_m и процент его уменьшения ниже фиксированного значения T_m на входе приемника станции-реципиента, дБ;
- частотно-территориальный разнос (ЧТР), представляющий групповой показатель, учитывающий перечисленные выше простые ПЭМС (т.е. ТР, УР и ЧР);
- коэффициент ослабления помех (КОП) α , дБ.

К обобщенным ПЭМС относятся такие, которые включают практически все элементарные параметры взаимодействующих радиослужб [3]

- мощность помех P_n и процент ее появления T_n на выходе станции-реципиента аналоговых систем радиосвязи;
- вероятность ошибок $P_{ош}$ и процент ее появления T_n на выходе станции-реципиента цифровых систем радиосвязи;
- эффективность использования радиоспектра \mathcal{E}_r ;
- дополнительные затраты на реализацию выполнения условий ЭМС $C_{эмс}$.

Таким образом, количественно КЭМС представляют допустимые значения одноименных ПЭМС, перечисленных выше. В отдельных случаях критерии ЭМС имеют специфические названия, например:

- минимально-допустимое расстояние $R_{м доп}$ между источником МС и станцией-реципиентом МС — территориальный разнос (ТР) или координационное расстояние (КР);
- минимально-допустимый угол прихода МС $\phi_{м доп}$ — угловой разнос (УР);
- минимально-допустимая расстройка несущих ПС и МС $\Delta f_{р доп}$ — частотный разнос (ЧР);
- совокупность ТР и ЧР — частотно-территориальный разнос (ЧТР);
- минимально-допустимое ОСП $q_{м доп}$ — защитное отношение (ЗО).

При этом отметим, что данный КЭМС является необходимым ограничением только определенной ЭМО, т.е. его действие распространяется на определенную полосу частот и фиксированный вариант взаимодействия радиослужб.

В международном масштабе КЭМС разрабатываются МСЭ и отражаются в соответствующих Рекомендациях МСЭ-Р и Регламенте радиосвязи (РР). При этом национальные Администрации связи могут допускать некоторые отклонения от официально установленных КЭМС, например некоторое увеличение взаимных помех между службами в трудных случаях совмещения полосы частот, если это не затрагивает интересы других Администраций связи. В соответствии с этим в РР определены градации помехи:

- *допустимая помеха* — наблюдаемая или прогнозируемая помеха, соответствующая количественным критериям помехи и критериям совмещения, содержащимся в РР или Рекомендациях МСЭ-Р;
- *приемлемая помеха* — помеха с более высоким уровнем, чем допустимая помеха и которая согласована между двумя или несколькими Администрациями связи без ущерба для других Администраций связи.

При большом числе станций совмещаемых радиослужб определение оптимальных условий ЭМС для всех станций является весьма сложной задачей. Такое положение существует, например, при совмещении станций НФС и ФСС, так как число наземных станций НФС (РРЛ) может быть очень велико. В таких случаях дополнительно используются простые или групповые КЭМС, определяющие условия обеспечения выполнения основных КЭМС. Такими КЭМС, например, являются ППМ космических станций (КС) у поверхности Земли, ЭИИМ радиостанций НФС и земных станций ФСС, угловой разнос между главным направлением излучения станций НФС и направлением от нее на точку стояния геостационарной КС ФСС [7].

3.2.1. Принципы определения видов и значений критериев ЭМС для различных радиослужб

При определении видов и значений КЭМС должны учитываться следующие особенности совместного использования полос радиочастот радиослужбами. Критерии ЭМС не должны затруднять развитие совмещаемых радиослужб, а должны быть основаны на компро-

миссе между максимально допустимым уровнем помех для каждой из этих служб и минимальной ЭИИМ, обеспечивающей заданное качество их работы [1]. Поэтому значения КЭМС выбирают таким образом, чтобы обеспечивалась нормальная работа всех совмещаемых радиослужб в данной полосе частот при допустимом уровне взаимных помех. При этом допускается относительно небольшая доля (10...20%) от полного допустимого уровня помех, как, например, принято в НФС и ФСС. В то же время для наземной радиовещательной службы (НРС) и радиовещательной спутниковой службы (РСС) в качестве КЭМС нормируются значения q_m и T_m . Для некоторых радиослужб в качестве КЭМС служит уровень МС (на входе станции-реципиента), значения которого выбираются на 5...10 дБ ниже уровня ПС.

Некоторое ухудшение качества работы совмещаемых радиослужб из-за конечного допустимого уровня МС должно компенсироваться улучшением технических характеристик систем, повышением их энергетических параметров, что в конечном счете связано с определенными дополнительными затратами $C_{эмс}$ на реализацию обеспечения условий ЭМС.

При разработке КЭМС должны учитываться две категории помех [8]:

- помехи, создаваемые службами, совместно использующими полосы частот на первичной основе; эти помехи будут полностью или частично попадать в полосу пропускания приемника;
- помехи от служб, отличных от тех, которые используют полосы частот на первичной основе; эти помехи могут быть многочисленными и весьма разнообразными и могут учитываться как гауссов шум.

В силу того, что помехи изменяются во времени, одного значения КЭМС для корректного расчета условий ЭМС недостаточно. В [9] определены два значения КЭМС — долговременное (для 20% времени) и кратковременное (< 1% времени). Точное значение процента времени действия кратковременной помехи связано с показателями качества функционирования рассматриваемой системы. Методы определения значений КЭМС для совместного использования полос частот НФС и ФСС приводятся в [9–12].

На практике существует большое количество потенциальных источников помех, вызывающих ухудшение показателей качества функционирования систем радиосвязи, и ситуаций, когда одна помеха действует на различные части одной системы, такой, например, как многопролетная РРЛ. В таких случаях необходимо распределить общие показатели качества между отдельными участками, а затем в пределах участка показатели качества пропорционально делятся между различными источниками помех [8, 13].

Принцип деления показателей качества и готовности, по которым можно вычислить допустимый уровень долговременной помехи, приведен в [13], где показано, что в случае релейских замираний помех, суммарный уровень которых на 10 дБ ниже уровня собственных шумов приемника, ухудшение показателей качества не будет превышать 10%.

Расчет уровней кратковременных помех и соответствующих процентов времени должен проводиться с учетом влияния на качество/готовность характеристик замираний, включая возможную корреляцию уровней ПС и МС на входе приемника станции-реципиента [8].

При определении КЭМС должна оцениваться также вероятность появления помех на входе антенны станции-реципиента. При такой оценке следует использовать современные модели распространения радиоволн, рассмотренные в разд. 2.4. Расчеты потерь передачи должны включать такие факторы, как поглощение в атмосфере, дифракционные потери, потери из-за рассеяния гидрометеорами и локальными неоднородностями местности, потери из-за деполяризации, влияние многолучевого распространения. Кроме того, может потребоваться учет как суммарного уровня помех, так и уровня одного МС.

3.2.2. Критерии ЭМС для основных радиослужб, рекомендуемые МСЭ

В табл. 3.1–3.6 указаны рекомендации МСЭ и приведены соответствующие критерии ЭМС, на основе которых решаются вопросы совмещения в общих полосах частот РЭС с разными видами модуляции.

Таблица 3.1. Фиксированная спутниковая служба (ФСС)

<p>Рекомендация SF.356 [14] <i>Полезный сигнал:</i> аналоговый многоканальный телефонный сигнал с частотным разделением и с ЧМ несущей. <i>Совмещаемая служба:</i> НФС. <i>Критерий ЭМС:</i> среднeminутная мощность помех в телефонном канале 1000 пВт не более 20% месяца; 50000 пВт не более 0,03% месяца. <i>Условия обеспечения:</i> координация сетей</p>
<p>Рекомендация SF.466 [15] <i>Полезный сигнал:</i> аналоговый многоканальный телефонный сигнал с частотным разделением и с ЧМ несущей. <i>Совмещаемая служба:</i> другие сети ФСС. <i>Критерий ЭМС:</i> среднeminутная мощность помех в телефонном канале 2500 пВт не более 20% месяца; помеха от одной сети 800 пВт. <i>Условия обеспечения:</i> координация сетей</p>
<p>Рекомендация SF.523 [16] <i>Полезный сигнал:</i> цифровой сигнал с 8-разрядной ИКМ и цифровой ФМ несущей. <i>Совмещаемая служба:</i> другие сети ФСС. <i>Критерий ЭМС:</i> 25% полной мощности шума на входе демодулятора, при которой $P_{\text{ош}} = 10^{-6}$; помеха от одной сети 6% полной мощности шума. <i>Условия обеспечения:</i> координация сетей</p>
<p>Рекомендация SF.558 [17] <i>Полезный сигнал:</i> цифровой сигнал с 8-разрядной ИКМ и цифровой ФМ несущей. <i>Совмещаемая служба:</i> НФС. <i>Критерий ЭМС:</i> средняя за 10 мин мощность помехи не должна превышать в течение более 20% месяца 10% полной мощности шума на входе демодулятора, которая обуславливает $P_{\text{ош}} = 10^{-6}$; мощность мешающего РЧ сигнала не должна вызывать уменьшение готовности более чем на 0,03% времени месяца, в течение которого среднeminутная $P_{\text{ош}} > 10^{-4}$; мощность мешающего РЧ сигнала не должна вызывать уменьшение готовности более чем на 0,005% времени месяца, в течение которого среднесекундная $P_{\text{ош}} > 10^{-3}$. <i>Условия обеспечения:</i> координация станций, ограничение ЭИИМ</p>
<p>Рекомендация SF.483 [18] <i>Полезный сигнал:</i> аналоговый телевизионный сигнал с ЧМ несущей. <i>Совмещаемая служба:</i> другие сети ФСС. <i>Критерий ЭМС:</i> 10% допустимой мощности шумов в вилеоканале не более 1% месяца; помеха от одной сети — 4% допустимой мощности шума. <i>Условия обеспечения:</i> координация сетей</p>

<p>Рекомендация SF.358 [19] Совмещаемая служба: НФС Критерий ЭМС: допустимая плотность потока мощности КС у поверхности Земли не должна превышать в любой полосе 4 кГц:</p> <ul style="list-style-type: none"> - в диапазоне 2,5...2,69 ГГц: -152 дБВт/м² для $\beta \leq 5^\circ$; $(-152 + 0,75[\beta - 5])$ дБВт/м² для $5^\circ < \beta \leq 25^\circ$; -137 дБВт/м² для $25^\circ < \beta \leq 90^\circ$; - в диапазоне 3,4...7,75 ГГц: -152 дБВт/м² для $\beta \leq 5^\circ$; $(-152 + 0,5[\beta - 5])$ дБВт/м² для $5^\circ < \beta \leq 25^\circ$; -142 дБВт/м² для $25^\circ < \beta \leq 90^\circ$; - в диапазоне 8,025...11,7 ГГц: -150 дБВт/м² для $\beta \leq 5^\circ$; $(-150 + 0,5[\beta - 5])$ дБВт/м² для $5^\circ < \beta \leq 25^\circ$; -140 дБВт/м² для $25^\circ < \beta \leq 90^\circ$; - в диапазоне 12,2...12,75 ГГц: -148 дБВт/м² для $\beta \leq 5^\circ$; $(-148 + 0,5[\beta - 5])$ дБВт/м² для $5^\circ < \beta \leq 25^\circ$; -138 дБВт/м² для $25^\circ < \beta \leq 90^\circ$; - в диапазоне 17,7...27,5 ГГц: -115 дБВт/м² для $\beta \leq 5^\circ$; $(-115 + 0,5[\beta - 5])$ дБВт/м² для $5^\circ < \beta \leq 25^\circ$; -105 дБВт/м² для $25^\circ < \beta \leq 90^\circ$ (в полосе 1 МГц). <p>* β — угол прихода радиосигнала от КС</p>
<p>Рекомендация SF.1004 [20] Совмещаемая служба: НФС. Критерий ЭМС: ЭИИМ земной станции в любом направлении к горизонту не должна превышать следующих значений:</p> <ul style="list-style-type: none"> - в полосах частот 1...15 ГГц: $+40$ дБВт в любой полосе шириной 4 кГц для $\beta \leq 5^\circ$; $(40 + 3\beta)$ дБВт в любой полосе шириной 4 кГц для $0^\circ < \beta \leq 5^\circ$; - в полосах частот выше 15 ГГц: $+64$ дБВт в любой полосе шириной 1 МГц для $\beta \leq 5^\circ$; $(64 + 3\beta)$ дБВт в любой полосе шириной 1 МГц для $0^\circ < \beta \leq 5^\circ$; <p>ЭИИМ не ограничена при $\beta > 5^\circ$</p>

Таблица 3.2. Наземная фиксированная служба (НФС)

<p>Рекомендация SF.357 [10] Полезный сигнал: аналоговый многоканальный телефонный сигнал с частотным разделением и с ЧМ несущей. Совмещаемая служба: ФСС. Критерий ЭМС: среднeminутная мощность помех в телефонном канале 1000 пВт не более 20% месяца; 50000 пВт не более 0,01% месяца. Условия обеспечения: ограничение ППМ земных станций (ЗС) ФСС; координация расположения ЗС</p>
<p>Рекомендация SF.615 [11] Полезный сигнал: цифровой сигнал с 8-разрядной ИКМ и цифровой ФМ несущей. Совмещаемая служба: ФСС Критерий ЭМС: мешающие излучения не должны ухудшать качество, вызывая увеличение более чем 0,0054% месяца, в течение которого среднесекундная $P_{\text{ш}} > 10^{-3}$; мешающие излучения не должны ухудшать качества, вызывая увеличение количества секунд с ошибками в канале со скоростью 64 кбит/с более, чем на 0,032% месяца. Условия обеспечения: ограничение ППМ земных станций (ЗС) ФСС; координация расположения ЗС</p>

Рекомендация SF.406 [21]*Совмещаемая служба:* ФСС.*Критерий ЭМС:* ЭИИМ радиорелейных станций не должна превышать:

- в полосах частот 1...10 ГГц: +55 дБВт при любых условиях; +47 дБВт в направлении геостационарной орбиты (ГСО) в секторе 0...0,5°; 47...55 дБВт в направлении ГСО в секторе углов 0,5...1,5°;
- в полосах частот 10...15 ГГц: +55 дБВт при любых условиях; +45 дБВт в направлении геостационарной орбиты (ГСО) в секторе 0...1,5°;
- в полосах частот выше 15 ГГц: +55 дБВт при любых условиях.

Кроме того, мощность передатчиков радиорелейных станций, подводимая ко входу антенны, не должна превышать следующих значений: +13 дБВт в полосах частот 1...10 ГГц; +10 дБВт выше 10 ГГц

Рекомендация SF.1338 [22]*Полоса частот:* 1452...1492 МГц.*Совмещаемая служба:* РСС.*Критерий ЭМС:* допустимая плотность потока мощности КС у поверхности Земли не должна превышать:

- для аналоговых систем в любой полосе 4 кГц: -152 дБВт/м² для $\beta \leq 5^\circ$;
($-152 + 0,5[\beta - 5]$) дБВт/м² для $5^\circ < \beta \leq 25^\circ$; -142 дБВт/м² для $25^\circ < \beta \leq 90^\circ$;
- для цифровых систем в любой полосе 1 МГц: -128 дБВт/м² для $\beta \leq 5^\circ$;
($-128 + 0,5[\beta - 5]$) дБВт/м² для $5^\circ < \beta \leq 25^\circ$; -118 дБВт/м² для $25^\circ < \beta \leq 90^\circ$

Рекомендация SF.760 [23]*Полоса частот:* 21,4...22,0 ГГц*Совмещаемая служба:* РСС

Критерий ЭМС: допустимая плотность потока мощности КС у поверхности Земли не должна превышать в любой полосе 1 МГц при любых условиях: -115 дБВт/м² для $0^\circ < \beta \leq 5^\circ$;
($-115 + 0,5[\beta - 5]$) дБВт/м² для $5^\circ < \beta \leq 25^\circ$; -105 дБВт/м² для $25^\circ < \beta \leq 90^\circ$

Рекомендация SF.1334 [24]*Полоса частот:* 1...3 ГГц.*Совмещаемая служба:* СПС.

Критерий ЭМС: максимальная суммарная помеха от СПС, включая базовые и подвижные станции, должна быть такой, чтобы снижение чувствительности приемника НФС не превышало 1 дБ при нормальных условиях распространения радиоволн.

Условия обеспечения: координация станций**Таблица 3.3. Наземная радиовещательная служба (НРС)****Рекомендация ВТ.655 [25]***Полезный сигнал:* аналоговый телевизионный сигнал с АМ несущей с частично подавленной боковой полосой.*Совмещаемая служба:* та же служба, РСС*Критерий ЭМС:* Защитное отношение 50 дБ без СНЧ и 36 дБ при СНЧ.*Условия обеспечения:* частотно-территориальное планирование, ограничение ППМ, координация

Таблица 3.4. Радиовещательная спутниковая служба (РСС)

Рекомендация BS.634 [26]

Полезный сигнал: аналоговый вещательный сигнал с ЧМ несущей.

Совмещаемая служба: НРС, РСС, ФСС, НФС.

Критерий ЭМС: Защитное отношение 19...30 дБ.

Условия обеспечения: частотно-территориальное планирование, координация

Таблица 3.5. Подвижная спутниковая служба (ПСС)

Отчет МСЭ 358 [27]

Полезный сигнал: аналоговый сигнал с ЧМ несущей, цифровой с ФМ несущей.

Совмещаемая служба: ФСС, РСС, НРС.

Критерий ЭМС: защитное отношение 8...17 дБ.

Условия обеспечения: ограничение ППМ, частотно-территориальный разнос

Таблица 3.6. Сухопутная подвижная служба (СПС)

Отчет МСЭ 1098 [28]

Полезный сигнал: аналоговый сигнал с ЧМ несущей; диапазон частот 44...960 МГц.

Совмещаемая служба: НРС.

Критерий ЭМС: допустимая напряженность поля 16...38 дБмкВ/м.

Условия обеспечения: частотное планирование и координация