

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SM.575-3
(08/2021)

Защита фиксированных станций контроля от помех со стороны близко расположенных или мощных передатчиков

Серия SM
Управление использованием спектра



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2022 г.

© ITU 2022

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SM.575-3

**Защита фиксированных станций контроля от помех со стороны
близко расположенных или мощных передатчиков**

(1982-2007-2013-2021)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации устанавливаются максимальные уровни напряженности поля на станциях контроля в целях обеспечения их функционирования, свободного от помех.

Ключевые слова

Уровни напряженности поля, станции радиоконтроля, защитные зоны.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что получение достоверной и неискаженной информации по контролю за использованием спектра является важной составляющей процесса управления использованием спектра;
- b)* что в результате мощного излучения близко расположенных передатчиков на станциях контроля могут возникать сильные электромагнитные поля, что приведет к снижению чувствительности приемников и явлениям блокирования;
- c)* что эти эффекты, в свою очередь, могут привести к возникновению ложных излучений, которых следует по возможности избегать;
- d)* что развертывание сотовых радиостанций и радиовещательных станций затрудняет поиск подходящих мест расположения станций контроля за использованием спектра;
- e)* что напряженность поля принимаемого сигнала является важным параметром при определении пригодности той или иной площадки для станции контроля;
- f)* что для различных диапазонов частот необходимы различные уровни ограничений напряженности поля,

отмечая,

- a)* что в Справочнике МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.) приведены общие и конкретные соображения по выбору местоположения станций контроля и контрольный список обследования площадки;
- b)* что в Отчете МСЭ-R SM.2125 описываются процедуры измерения для определения технических параметров приемников и систем радиоконтроля,

рекомендует,

чтобы для расчета максимально допустимой напряженности поля в целях защиты станций радиоконтроля использовался метод, представленный в Приложении 1.

Приложение 1

Расчет максимально допустимой напряженности поля в целях защиты станций радиоконтроля

1 Введение

Мощные РЧ-сигналы могут стать причиной снижения способности станции контроля принимать слабые сигналы и правильно измерять их параметры. Защита станций радиоконтроля от мощных РЧ-сигналов особенно важна ввиду увеличения количества мест установки антенн для услуг подвижной связи и других видов радиосвязи. Поскольку станции контроля зачастую расположены в городских районах на участках, подвергающихся воздействию помех, становится все сложнее найти подходящие новые площадки и обеспечить защиту существующих площадок.

В настоящем Приложении описываются процедуры и расчеты для создания защитных зон вокруг станций радиоконтроля.

2 Общие соображения

Детализация критериев защиты для станций радиоконтроля в первую очередь включает рассмотрение технических аспектов и основывается на том принципе, что излучения соседних передающих станций могут не вызывать помех на станциях контроля.

Хотя, в принципе, возможны различные воздействия, вызывающие помехи, в частности излучения в боковой полосе частот, наиболее серьезное воздействие оказывают интермодуляционные составляющие 3-го порядка, которые могут генерироваться приемником, приводя к возникновению ложных излучений. Поэтому в настоящей Рекомендации рассматривается всего один вид мешающего воздействия.

С учетом определенной помехозащищенности от воздействия сильных сигналов возникновение интермодуляции напрямую зависит от мощности входного сигнала, поступающего в контрольный приемник. Следовательно, в качестве критерия защиты проще задать максимальную мощность входного сигнала, которую окружающие передатчики могут создавать в контрольном приемнике. Однако этот подход имеет недостаток, заключающийся в том, что полученное в результате защитное расстояние будет зависеть от технических параметров контрольного приемника и антенны, которые не известны оператору близлежащего передатчика и не являются одинаковыми для всех мест расположения станций контроля. Кроме того, при таком подходе защита обеспечивается только для действующего контрольного оборудования. При последующей замене оборудования (например, установке антенн с другим усилением) критерии защиты изменяются, что приводит к изменению защитной зоны.

Кроме технических аспектов, большое значение имеют также финансовые и управленческие аспекты. В целях снижения административных расходов необходимо создать несложный и эффективный процесс управления. Несложный процесс будет более приемлем для операторов передатчика.

По этим причинам должны применяться единые критерии защиты, не зависящие от местоположения станций контроля и их технических характеристик (пеленгатор или вращающаяся антенна, тип приемника, усиление антенны). Полученный в результате метод предполагает, что в качестве критерия защиты задается определенное значение напряженности поля, которое не должно превышать. Данный подход также является наиболее прозрачным по отношению к другим участвующим сторонам, поскольку конкретная напряженность поля, создаваемая передатчиком в месте расположения станции контроля, может быть легко рассчитана или измерена.

Однако сам факт реального создания помехи в контрольном приемнике при максимальной напряженности поля зависит от следующих параметров:

- помехозащищенности приемника от воздействия сильных сигналов;
- чувствительности приемника;

- уровня внешнего шума;
- усиления антенны;
- затухания в РЧ-кабеле, соединяющем антенну и приемник;
- ширины полосы и частоты мешающего сигнала (сигналов).

Поскольку эти параметры могут изменяться в широком диапазоне, заданная величина максимальной напряженности поля не гарантирует отсутствие помех для работы станции контроля при всех возможных комбинациях параметров. Например, комбинация высокочувствительного приемника и антенны с высоким коэффициентом усиления может привести к тому, что максимальная напряженность поля будет настолько низкой, что во всей стране невозможно будет найти подходящую площадку для размещения станции контроля.

Следующая процедура представляет общий метод расчета максимальной допустимой напряженности поля. Таким образом, результирующее значение для данной напряженности поля зависит от выбора обоснованных и типичных значений для вышеуказанных параметров.

3 Определение максимальной допустимой напряженности поля

Расчет максимальной приемлемой напряженности поля включает:

- помехозащищенность (3-го порядка) приемника от воздействия мощных сигналов;
- чувствительность приемника;
- ширину полосы и частоту мешающего сигнала (сигналов);
- усиление антенны;
- затухание в РЧ-кабеле, соединяющем антенну и приемник;
- уровень внешнего шума.

3.1 Защищенность приемника от воздействия мощных сигналов

Уровень интермодуляционных составляющих 3-го порядка, как правило, вычисляется исходя из мощности входного сигнала и точки пересечения 3-го порядка контрольного приемника. Наиболее критичной комбинацией является интермодуляция трех сигналов одинаковой мощности.

Согласно таблице 2 Рекомендации МСЭ-R SM.1134-1 мощность интермодуляционной составляющей в нашем случае может быть рассчитана по формуле для $IM3(1;1;1)$ (вариант с тремя сигналами):

$$P_{IM3} = 3P_S - 2P_{IP3} + 6 \text{ дБ}, \quad (1)$$

где:

- P_{IM3} : мощность интермодуляционной составляющей 3-го порядка $IM3(1;1;1)$ (дБм);
- P_S : мощность каждого отдельно взятого сигнала, задействованного в процессе интермодуляции (дБм);
- P_{IP3} : точка пересечения 3-го порядка ($IP3$) приемника (дБм).

Значение $IP3$ можно взять из листа спецификаций приемника. Это значение представляет собой мощность входных сигналов в точке, в которой уровень интермодуляционной составляющей 3-го порядка равен уровню сильных сигналов, вызывающих данную интермодуляцию.

3.2 Чувствительность приемника

Слабый сигнал может быть обнаружен при помощи приемника, если его уровень превышает внутренний шум приемника. Этот уровень отмечается для случаев, когда антенна не подключена, а приемник работает в наиболее чувствительном режиме (например, при отсутствии затухания входного сигнала).

Среднеквадратическое значение (r.m.s.) внутреннего шума приемника в большинстве случаев вычисляется по формуле:

$$p_R = (f - 1)kt_0B_n = (f - 1)p_nB_n, \quad (2)$$

где:

- f : коэффициент шума приемника;
- k : постоянная Больцмана;
- t_0 : эталонная температура, принятая равной 290 К;
- B_n : шумовая полоса пропускания приемника;
- $p_n = kt_0$: действующее значение мощности теплового шума (Вт) в полосе пропускания 1 Гц.

В листе технических данных чувствительность приемника характеризуется коэффициентом шума NF . Таким образом, уравнение (2) может быть записано следующим образом:

$$p_R = (10^{\frac{NF}{10}} - 1)p_nB_n, \quad (3)$$

где $NF = 10 \log(f)$ – коэффициент шума приемника (дБ).

Среднеквадратическое значение внутреннего шума приемника, выраженное в дБм, записывается следующим образом:

$$P_R \text{ (дБм)} = 10 \log(10^{\frac{NF}{10}} - 1) + 10 \log(B_n) - 174 \text{ (дБм)}, \quad (4)$$

где:

–174 дБм – действующее значение мощности теплового шума (Вт) при комнатной температуре в полосе пропускания 1 Гц.

Как правило, измерительная полоса пропускания приемника приблизительно равна его шумовой полосе пропускания. Кроме того, значения коэффициента шума (NF) типовых контрольных приемников равны 10 дБ или выше. С учетом этого формула среднеквадратического значения внутреннего шума приемника записывается менее сложным образом:

$$P_R \text{ (дБм)} = P_n + NF + 10 \log(B), \quad (5)$$

где:

- P_n : действующее значение мощности теплового шума при комнатной температуре в полосе пропускания 1 Гц (–174 дБм);
- B : измерительная полоса пропускания (Гц).

Значение коэффициента шума может быть взято из листа спецификаций приемника. Параметр P_R называется также "отображаемым средним уровнем шума" (DANL).

3.3 Полоса пропускания приемника

При определении уровней РЧ-сигналов должна также определяться эталонная полоса пропускания для измерения этих уровней. Для обеспечения защиты станции контроля максимальная напряженность поля в большинстве случаев должна измеряться во всей ширине полосы соответствующего сигнала, если отсутствует какая-либо дополнительная информация.

3.4 Усиление антенны

Для преобразования измеренных уровней входного сигнала в напряженность поля важно знать параметры антенны и затухание в РЧ-кабеле, соединяющем антенну и приемник. Усиление антенны связано с КПД антенны следующим образом:

$$G_i = 20 \log(f) - k - 30 \text{ дБ}, \quad (6)$$

где:

G_i : усиление антенны в направлении главного луча (дБи);

f : частота (МГц);

k : КПД антенны (дБ/м).

КПД антенны и затухание в РЧ-кабеле могут использоваться для расчета напряженности поля исходя из напряжения на входе приемника следующим образом:

$$E = U + k + \alpha_c \quad (7)$$

где:

E : напряженность электрического поля (дБмкВ/м);

U : напряжение на входе приемника (дБмкВ);

α_c : затухание в РЧ-кабеле (дБ).

Значения КПД антенны и/или усиления антенны, а также затухания в РЧ-кабеле могут быть взяты из листов спецификаций антенны и кабеля.

Для систем 50 Ом мощность и напряжение РЧ-сигналов связаны следующим образом:

$$P \text{ (дБм)} = U \text{ (дБмкВ)} - 107 \text{ дБ}, \quad (8)$$

таким образом,

$$E \left(\frac{\text{дБмкВ}}{\text{м}} \right) = P \text{ (дБм)} + 20 \log(f \text{ (МГц)}) - G_i \text{ (дБ)} + \alpha_c \text{ (дБ)} + 77 \text{ дБ}. \quad (9)$$

3.5 Внешний шум

В данном контексте внешний шум представляет собой уровень всех нежелательных излучений как искусственного, так и естественного происхождения, которые поступают с антенны на контрольный приемник. На частотах выше 30 МГц главным компонентом является индустриальный шум (MMN). Однако уровень MMN в большинстве случаев оказывается ниже уровня шума приемника, особенно в сельских районах, а следовательно, может не учитываться в процессе расчета.

Однако на частотах ниже 30 МГц чувствительность контрольного оборудования определяется скорее внешним шумом, нежели шумом приемника. Фактический уровень внешнего шума в значительной степени зависит от расположения станции контроля, а также от времени суток.

Кроме того, ионосферное распространение сигналов на частотах ниже 30 МГц, как правило, приводит к тому, что наиболее сильные сигналы принимаются от иностранных радиовещательных АМ-станций. Несмотря на то что уровень принимаемых сигналов от этих станций может быть столь высок, что показатели контроля существенно снижаются, администрация, осуществляющая контроль, не может законным путем повлиять на наличие этих сигналов. Кроме того, эти сигналы присутствуют в любом возможном месте расположения станции контроля. Следовательно, расчет защитной напряженности поля на частотах ниже 30 МГц представляется нецелесообразным.

Нижеследующий расчет действителен только для частот выше 30 МГц, где внешний шум не является преобладающим.

3.6 Процесс вычисления

Для расчета мощности интермодуляционной составляющей 3-го порядка ($IM3$) предположим, что все три сигнала с одинаковой мощностью и шириной полосы взаимодействуют во входной цепи приемника.

Ширина полосы интермодуляционной составляющей из трех сигналов в три раза превышает ширину полосы сигнала B_S .

Определение ширины полосы интермодуляционной составляющей при взаимодействии реальных сигналов (например, DVB-T или LTE) является непростой задачей. Как правило, спектры этих сигналов не имеют выраженных минимумов и максимумов. Таким образом, можно предположить, не рискуя ошибиться, что спектр этой интермодуляционной составляющей является прямоугольным.

Часть мощности ΔP_{IM3} интермодуляционной составляющей, измеренной в полосе шириной B , может быть вычислена следующим образом:

$$\Delta P_{IM3} \text{ (дБм)} = P_{IM3} + 10 \log\left(\frac{B}{3B_S}\right). \quad (10)$$

При использовании формулы (1) это уравнение преобразуется в следующий вид:

$$\Delta P_{IM3} \text{ (дБм)} = 3P_S - 2P_{IP3} + 6 \text{ дБ} + 10 \log\left(\frac{B}{3B_S}\right) = 3P_S - 2P_{IP3} + 6 \text{ дБ} + 10 \log(B) - 10 \log(3B_S). \quad (11)$$

Помеха, вызванная интермодуляционными составляющими, становится заметной, когда уровень ΔP_{IM3} превышает минимальный уровень шума приемника:

$$\Delta P_{IM3} \geq P_R. \quad (12)$$

"Критическая" точка, в которой возникает данная ситуация, может быть рассчитана по формулам (5) и (11) следующим образом:

$$3P_S - 2P_{IP3} + 6 \text{ дБ} + 10 \log(B) - 10 \log(3B_S) = NF + 10 \log(B) - 174 \text{ дБм}; \quad (13)$$

$$P_S = \frac{2P_{IP3} + NF + 10 \log(B_S) + 10 \log(3) - 6 \text{ дБ} - 174 \text{ дБ}}{3}; \quad (14)$$

$$P_S = \frac{2P_{IP3} + NF + 10 \log(B_S)}{3} - 58,4 \text{ дБм}. \quad (15)$$

Напряженность поля, соответствующая P_S , может быть рассчитана при помощи формулы (9) следующим образом:

$$E_{\max} \left(\frac{\text{дБмкВ}}{\text{м}} \right) = \frac{2P_{IP3} \text{ (дБм)} + NF \text{ (дБ)} + 10 \log B_S \text{ (Гц)}}{3} + 20 \log(f) \text{ (МГц)} - G_i \text{ (дБ)} + \alpha_c \text{ (дБ)} + 18,6 \text{ дБ} \quad (16)$$

3.7 Влияние помех при увеличении количества станций

В формуле (16) уже отображена максимальная допустимая напряженность поля каждого отдельного мешающего передатчика, которая может являться частью возможной интермодуляционной составляющей.

Если сигнал с данной максимальной напряженностью поля поступает более чем от трех передатчиков, то единственный эффект будет заключаться в том, что дополнительные интермодуляционные составляющие будут проявляться на различных частотах, однако уровень каждой из интермодуляционных составляющих не увеличится. Следовательно, нет необходимости в дополнительной адаптации значений максимальной допустимой напряженности поля.

4 Типичные значения параметров

Для получения числового значения максимальной допустимой напряженности поля по формуле (16) следует выбирать близкие к реальности значения параметров коэффициента шума приемника, точки пересечения 3-го порядка, эталонной полосы пропускания и усиления антенны. В настоящем разделе приведены инструкции по выбору этих значений.

4.1 Коэффициент шума приемника

Коэффициенты шума контрольных приемников и анализаторов спектра зачастую находятся в диапазоне от 7 до 24 дБ. Общий коэффициент шума измерительной установки может быть снижен вплоть до 1 дБ путем использования внешних малошумящих усилителей (МШУ), однако для фиксированных станций контроля данная конфигурация не является типичной. Предположив наличие встроенных предусилителей, при расчете максимальной допустимой напряженности поля в контексте настоящей Рекомендации предлагается использовать типичное значение коэффициента шума, равное примерно 10 дБ.

4.2 Интермодуляционные составляющие 3-го порядка (*IP3*)

Уровни *IP3* контрольных приемников и анализаторов спектра зачастую находятся в диапазоне от +10 до +30 дБм. В качестве типичного может быть принято значение +15 дБм, однако специальные цифровые широкополосные приемники без предварительной селекции и с малым динамическим диапазоном могут обладать более низкими уровнями *IP3*.

4.3 Ширина полосы сигналов

При измерении слабых сигналов наибольшее отношение S/N (сигнал/шум) достигается в случае использования максимально узкой измерительной полосы пропускания, так как это приводит к наименьшему возможному уровню DANL. Однако это справедливо лишь для немодулированных несущих. Например, при измерении цифровых сигналов более узкие значения измерительной полосы пропускания не приводят к увеличению отношения сигнал/шум (S/N) и, следовательно, не увеличивают чувствительность измерений. Аналогичным образом интермодуляционные составляющие, создающие помехи измерениям, не являются немодулированными несущими. Они имеют ширину полосы, которая превышает ширину полосы входящих в их состав сильных сигналов. Таким образом, потенциал создаваемых ими помех не увеличивается при использовании полосы пропускания измерений более узкой, чем ширина полосы сигнала.

Следовательно, при расчете максимальной напряженности поля для защиты станции контроля рекомендуется определять типичную ширину полосы сигнала в соответствующей полосе частот.

4.4 Усиление антенны

Усиление антенны типа "настроенный вибратор" равно 2,15 дБи. Многие из контрольных антенн являются всенаправленными, а их усиление не превышает указанного значения. Кроме того, обычно считается, что усиление антенн, используемых в пеленгаторах, равно усилению вибраторов. Однако многие станции контроля оборудуются также направленными антеннами. Усиление этих антенн в свою очередь позволяет снизить допустимую напряженность поля. Тем не менее для расчета максимальной допустимой напряженности поля рекомендуется выбирать вибраторную антенну по следующим причинам:

- применение направленных антенн приводит к тому, что допустимая напряженность поля зависит от контрольного оборудования, а этого следовало бы избегать (см. п. 2) в целях получения транспарентных единообразных предельных значений напряженности поля;
- в данном случае считается, что интермодуляционные составляющие состоят по меньшей мере из двух сильных сигналов. Расчет с использованием усиления направленной антенны по ее главному лепестку предполагает, что все сильные сигналы принимаются по одному и тому же направлению, что не всегда соответствует действительности и является переоценкой потенциала помех;
- возможная помеха, вызванная увеличением уровня сигнала при использовании направленных антенн, является эффективной лишь в определенном направлении, тогда как по другим направлениям напряженность поля и, следовательно, потенциал помех даже более низкий, чем для ненаправленных антенн.

Следует отметить, что применение направленных антенн с большим усилением может привести к возникновению помех по определенным направлениям в связи с тем, что уровни напряженности поля превышают уровни, которые были рассчитаны для ненаправленных антенн. Если подобные эффекты недопустимы, то для предотвращения неверных измерений могут быть использованы полосовые заграждающие фильтры или аттенюаторы.

4.5 Затухание в РЧ-кабеле

При преобразовании измеренных уровней входного сигнала в напряженность поля важно знать не только параметры антенны, но и затухание в РЧ-кабеле, соединяющем антенну и приемник. Отметим, что с увеличением диаметра кабеля уменьшаются как его верхняя частота, так и затухание. Таким образом, при использовании минимально необходимой верхней рабочей частоты кабель будет иметь минимальное затухание. Следовательно, при использовании более высокого диапазона частот, чем требуется, кабель возможно, не будет оптимальным из-за более высокого затухания.

Реальный пример: верхняя рабочая частота станции составляет 6 ГГц, а длина кабеля между антенной и приемником составляет 40 метров. Затухание в широко используемом кабеле такой длины с частотой среза 6 ГГц составляет 8 дБ, а затухание в кабеле той же модели с частотой среза 12 ГГц составляет 12,8 дБ. В полосе GSM на частоте 950 МГц затухание этих кабелей составит 2,8 дБ и 4,5 дБ соответственно.

5 Пример расчета с использованием типичных значений

В данном разделе приведен пример расчета с использованием типичных значений параметров, предложенных в п. 4. Если взглянуть на формулу (16) и принять во внимание различные эталонные значения ширины полосы, становится очевидным, что результирующее значение максимальной напряженности поля будет частотно-зависимым.

Например, для диапазона частот GSM порядка 950 МГц из формулы (16) получаем:

$$E_{\max} \left(\frac{\text{дБмкВ}}{\text{м}} \right) = \frac{2 * 15 \text{ дБм} + 10 \text{ дБ} + 10 \log(250,000 \text{ Гц})}{3} + 20 \log(950 \text{ МГц}) - 2,15 \text{ дБ} + 2,8 \text{ дБ} + 18,6 \text{ дБ}$$

$$= 110,1 \text{ дБмкВ/м}$$