

7.4. Методы обеспечения внутриобъектовой ЭМС

Для обеспечения внутриобъектовой ЭМС РЭС используют следующие принципы разделения сигналов (излучений) РЭС: частотное, временные и пространственное.

Первый из названных методов состоит в обеспечении ЭМС РЭС за счет использования таких правил назначения частот, которые исключали бы работу РЭС на совпадающих частотах, а также возможность попадания основных, внеполосных и побочных излучений РПД

в основные, соседние и побочные каналы РПМ объекта. В случае невозможности подбора таких частот возможно использование временного разнесения излучений РЭС, при которых работа некоторых РЭС осуществляется в различные не перекрывающиеся интервалы времени.

Можно уменьшить помехи, обусловленные внеполосными и побочными излучениями РПД, а также помехи по побочным каналам приема, применяя на выходе РПД дополнительные специальные фильтры, уменьшающие уровень излучения за пределами основной полосы частот, которую занимает передаваемый сигнал. Другой метод, также рассмотренный ниже, состоит в повышении связки между антеннами и фидерами РЭС, расположенным на одном объекте. Еще один приведенный в данном разделе метод обеспечения ЭМС РЭС, расположенных на одном объекте, основан на применении электромагнитных экранов.

7.4.1. Выбор частот для дополнительных РЭС на объекте

Одним из важных мероприятий при размещении дополнительного РЭС на действующем объекте является выбор таких частот приема и передачи, при которых обеспечивается совместное функционирование РЭС при допустимо малом уровне непреднамеренных взаимных радиопомех. При расчетах указанных частот должно быть исключено недопустимое воздействие основного, внеполосных и побочных излучений нового РПД на основные и побочные каналы приема действующих РПМ, а также недопустимое воздействие основных, внеполосных и побочных излучений РПД объекта и излучений гетеродинов РПМ объекта на основной и побочные каналы приема нового РПМ.

Для определения частот, запрещенных для применения, необходимо выполнить частотный анализ и энергетический расчет в соответствии с разд. 7.3.1 и 7.3.2 с учетом параметров всех РЭС объекта, включая и дополнительное РЭС.

Задача выбора частоты, свободной от помех интермодуляции в РПМ и от интермодуляционных излучений РПД объекта, для вновь устанавливаемого РЭС на объекте может быть решена с использованием метода, описанного в [12]. Метод, позволяющий определить каналы, свободные от интермодуляционных помех 3-го и 5-го порядка, основан на анализе разностей номеров каналов и сумм этих разностей: каналы должны выбираться так, чтобы разность между порядковыми номерами любых двух каналов не была равна сумме любых двух других разностей каналов из последовательно расположенных каналов с фиксированным шагом сетки частот.

Для проверки частот на отсутствие помех интермодуляции 3-го порядка можно использовать также счетный и графический методы, описанные в [13]. Графический метод позволяет также определить частоты каналов, пополняющих эту группу; такая задача возникает при дополнении нескольких групп еще одним, например, вызывным каналом. Для определения общего числа равноотстоящих каналов, из которых можно выбрать группу с заданным числом каналов, можно использовать таблицы, также приведенные в [13]. Так, для выбора 8 каналов, свободных от помех интермодуляции 3-го порядка, минимальное число каналов равно 40. Имея одну группу каналов, можно образовать множество сходных групп, прибавляя к каждому каналу исходной группы любое, но одно и то же число. Например, если исходная группа имеет номера каналов 1, 3, 7, 17, 20, 28, 35, 40, то группа каналов 2, 4, 8, 18, 21, 29, 36, 41 также свободна от помех интермодуляции 3-го порядка.

Задача определения частоты, свободной от помех интермодуляции в РПМ и от интермодуляционных излучений РПД объекта, для вновь устанавливаемого РЭС на объекте может быть также решена методом выбора из частот, не входящих в перечень частот интермодуляционных излучений РПД объекта (итоговую таблицу № 1, упомянутую в разд. 7.3.4). При

отсутствии частот, свободных от помех интегральной модуляции на объекте, необходимо выполнить энергетический расчет в соответствии с разд. 7.3.2 для всех частот упомянутого перечня и определить частоты, на которых условия ЭМС РЭС выполняются.

7.4.2. Технические методы уменьшения помех в комплексе РЭС объекта

Уменьшение взаимных помех при совместной работе РЭС на одном объекте достигается в основном путем улучшения параметров РПД и РПМ, определяющих их ЭМС (защищенность по цепям питания и управления, внеполосные и побочные излучения РПД, побочные каналы приема РПМ), и увеличения электромагнитной развязки между устройствами объекта, в первую очередь между их антенно-фидерными устройствами. Для этого используют дополнительные фильтры в цепях питания и управления, фильтры на входах РПМ и выходах РПД, ферритовые циркуляторы в фидерных трактах многоканальных радиопередающих устройств, а также дополнительные экраны для отдельных узлов, устройств в целом, фидеров и антенн.

Применение помехоподавляющих фильтров — основной способ ослабления кондуктивных помех в цепях управления и электропитания РЭС. Для подавления таких помех в основном используют различные виды LC-фильтров, состоящие из Г-, Т- и П-образных звеньев, продольные ветви которых содержат индуктивности, а поперечные — емкости. Сочетание различных типов таких звеньев позволяет получить крутизну характеристики затухания фильтра 100 дБ на декаду и более. Помехоподавляющие фильтры включают как можно ближе к источнику помехи на пути ее распространения к рецептору помехи. Эффективность фильтра характеризуется параметром ослабления помехи в месте ее влияния на рецептор.

С понижением рабочей частоты LC-фильтры становятся громоздкими, в этих случаях используют активные фильтры на основе микросхем (операционных усилителей). В активном фильтре операционный усилитель преобразует импеданс подключаемой к нему RC-цепи так, что такой усилитель ведет себя как индуктивность.

Для подавления побочных излучений в трактах РПД используют различные типы СВЧ-фильтров, подключаемых к их выходам. По принципу действия фильтры делятся на отражающие, т.е. несогласованные с СВЧ-трактом вне полосы пропускания, и поглощающие — согласованные во всей полосе частот.

Высокий уровень выходной мощности РПД (до единиц киловатт) накладывает особые требования к конструкции фильтра. Можно считать, что характеристики фильтра в полосе пропускания являются удовлетворительными, если вносимые потери не превышают нескольких десятых долей децибел, а уровень согласования, характеризуемый коэффициентом стоячей волны (КСВН), значения 1,3. Более высокие значения этих параметров могут приводить к тепловому перегреву элементов фильтра, к явлениям СВЧ-пробоя, ухудшению качества и надежности передающей системы в целом. Потери, вносимые фильтром в полосе заграждения, должны снижать уровни побочных излучений РПД до значений, не превышающих существующие нормы.

Из всего многообразия фильтров, используемых при решении задач ЭМС в телерадиовещании, наиболее известны следующие.

Гребенчатые полосно-пропускающие фильтры (ППФ) на симметричных воздушно-полосковых линиях содержат ряд односторонних стержней — резонаторов одинаковой длины и разного диаметра, короткозамкнутых с одной стороны и разомкнутых с другой. Со стороны разомкнутых концов резонаторы имеют укорачивающую емкость, которая используется для его подстройки на заданную частоту. Связь между стержнями — электро-

магнитная. В поперечном сечении стержни, как правило, круглые, как более технологичные в изготовлении. Длина стержней $1/16 < L/\lambda < 1/4$, где λ — длина волны для средней частоты полосы пропускания. К достоинствам гребенчатых фильтров относят широкую область вне-полосного подавления (при $L/\lambda = 1/8$ подавляются четыре гармоники сигнала) и хорошую конструктивную реализуемость для полосы пропускания до 10%. Недостатком гребенчатых фильтров является высокая стоимость переменных высокодобротных и электропрочных укорачивающих емкостей, что является основным сдерживающим фактором широкого применения данных фильтров для высоких уровней мощности.

Встречно-стержневые ППФ состоят из отрезков линий четвертьволновой длины, короткозамкнутых на одном конце, разомкнутых на другом и расположенных навстречу друг другу. Встречно-стержневые ППФ в сравнении с гребенчатыми имеют повышенную электропрочность из-за отсутствия укорачивающих резонаторов емкостей, но существенно проигрывают в габаритах. К достоинству данных фильтров следует отнести возможность их точного синтеза по заданным требованиям к амплитудно-частотной характеристике, простоту конструкции и настройки.

Широкое применение в I–III диапазонах ТВ получили ППФ со спиральными резонаторами, состоящими из четвертьволновых короткозамкнутых отрезков линий в виде однослойной спирали, помещенной в экранированный отсек, чтобы исключить потери излучения. Связь между резонаторами — электромагнитная. Спиральный резонатор имеет простую конструкцию и очень компактен, его изготовление и настройка на резонансную частоту не вызывает особых трудностей. По габаритным размерам и максимально допустимой мощности проходящего сигнала ППФ со спиральными резонаторами практически не имеет конкурентов в I и II диапазонах ТВ. Основной их недостаток — отсутствие точных методик конструктивного расчета по заданным требованиям.

Фильтры на LC-элементах в основном применяют в I–II диапазонах ТВ с уровнем мощности до 1 кВт. При увеличении выходной мощности РПД данные фильтры используют на более низкой ступени суммирования выходной мощности.

Основные параметры телевизионных фильтров приведены в табл. 7.4.

Таблица 7.4. Параметры телевизионных фильтров

Тип фильтра	ТВ диапазон применения	Допустимая мощность, кВт	Потери в полосе пропускания, дБ	Затухание в полосе задерживания, дБ
Гребенчатые ППФ	III–V	2	0,3–0,5	60
Встречно-стержневые ППФ	IV–V	5	0,3–0,5	60
ППФ со спиральными резонаторами	I–III	5	0,3–0,5	65
ППФ на LC элементах	I–II	1	0,2–0,4	45
ПЗФ	III–V	5	0,2–0,4	40–50

Для подавления гармоник и побочных составляющих сигнала РПД применяют полосно-задерживающие фильтры (ПЗФ) различных структур. При высоких уровнях проходящей мощности наиболее эффективны ПЗФ, состоящие из параллельных четвертьволновых шлейфов, разомкнутых на конце и соединенных между собой четвертьволновыми линиями. Такая конструкция ПЗФ позволяет реализовывать фильтры с полосой подавления от нескольких долей мегагерц до октавного перекрытия.

В многоканальных системах передачи при объединении нескольких РПД на одну антенну для уменьшения интермодуляционных помех, возникающих на нелинейностях выходных каскадов РПД, заряду с фильтрами используют ферритовые циркуляторы, пропускающие с минимальными потерями сигнал РПД в антенну и препятствующие прохождению его на выходы других РПД многоканальной системы. Кроме положительного эффекта по уменьшению интермодуляционных составляющих в излучаемом многоканальном сигнале, использование циркуляторов повышает надежность работы РПД, так как циркуляторы поглощают также собственный сигнал, отраженный от антенны в случае ее рассогласования или поломки. РПД с использованием циркуляторов всегда работают на нагрузку с КСВН близким к 1, что резко повышает надежность работы РПД и системы в целом.

Снижение чувствительности РПМ по побочным каналам в основном решается при разработке аппаратуры на схемотехническом уровне. Некоторый эффект может дать включение дополнительного фильтра на входе РПМ. Снижение уровня прямой наводки на входы УПЧ и УНЧ достигается дополнительным экранированием этих каскадов или РПМ в целом.

7.4.3. Методы повышения развязки между антennами РЭС

Основные механизмы возникновения помех в антенно-фидерных трактах различных радиотехнических систем обусловливают целесообразность использования следующих основных методов повышения развязки:

- оптимальное взаимное расположение антенн на приемо-передающих радиотехнических объектах;
- применение поляризационного разнесения (использование близкорасположенных излучателей с различным типом поляризации);
- учет при размещении на объекте направленных свойств антенн, а также влияния металлоконструкций опор;
- использование экранирующих свойств элементов металлоконструкций опоры, а также дополнительных экранирующих структур.

Остановимся подробнее на последнем методе.

Металлическая антenna опора оказывает влияние как на характеристики отдельной антennы, так и на характеристики развязки между антennами при их размещении на общей опоре или при близкорасположенных опорах различных антenn, причем влияние металлоконструкций может как увеличивать, так и уменьшать уровень развязки. Точный расчет развязки между близко расположенными антennами с учетом элементов опоры и иных металлоконструкций, как уже было отмечено выше (см. разд. 7.3.6), должен проводиться на основе использования строгих электродинамических методов с включением в состав модели электродинамической системы всех проводников исследуемых антenn и металлоконструкций, включая специально вводимые дополнительно пассивные элементы. При этом за счет варьирования геометрических параметров электродинамической системы (с учетом ограничений принципиального и конструктивного характера) может быть выбран вариант, оптимальный как по характеристикам назначения, так и с точки зрения ЭМС.

В то же время приближенная оценка степени и характера влияния отдельных металлоконструкций на развязку между антennами может быть проведена на основе анализа результатов решения относительно простых модельных задач. Это позволяет оценить уровень развязки, обосновать использование дополнительно пассивных элементов и выбрать компоновочное решение, близкое к оптимальному, которое затем может быть уточнено на основе электродинамического анализа.

В качестве таких модельных задач целесообразно рассмотреть следующие основные варианты взаимного расположения антенн и металлоконструкций [28, 29]:

1) два вертикальных симметричных вибратора, разнесенных по горизонтали и расположенных на одной высоте по обе стороны от металлоконструкции, которая представляет собой вертикально ориентированный цилиндрический проводник (рис. 7.12);

2) два вертикальных симметричных вибратора, разнесенных по вертикали и расположенных вблизи вертикально ориентированного цилиндрического проводника (рис. 7.13);

3) два горизонтальных симметричных вибратора, разнесенных по вертикали и расположенных вблизи вертикально ориентированного цилиндрического проводника (рис. 7.14).

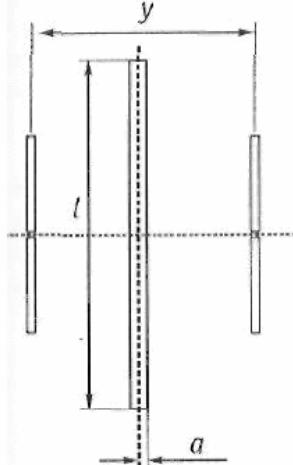


Рис. 7.12. Два вертикальных симметричных вибратора, разнесенных по горизонтали

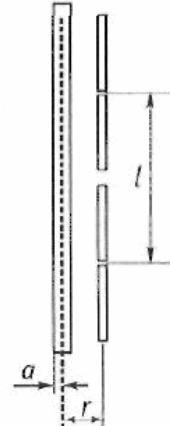


Рис. 7.13. Два вертикальных симметричных вибратора, разнесенных по вертикали

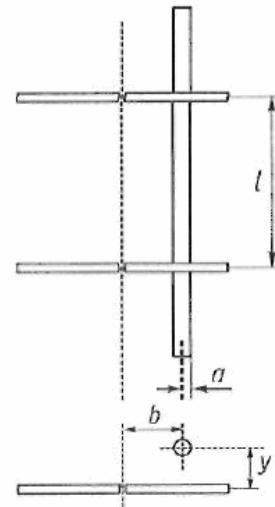


Рис. 7.14. Два горизонтальных симметричных вибратора, разнесенных по вертикали

Вариант 1 (рис. 7.12) соответствует модельной задаче исследования влияния на развязку ограниченных по высоте металлоконструкций (например, из состава технологического оборудования башни или мачты [16]) или пояса опоры (при достаточно большой длине вертикального проводника).

При горизонтальной ориентации вибраторов и проводника можно исследовать влияние горизонтальных элементов, в частности распорок башен.

Вариант 2 (рис. 7.13) соответствует модельной задаче исследования развязки в излучающих системах, размещенных на общей электрически тонкой опоре или на поясе башни с разнесением по высоте взаимодействующих антенн. При горизонтальной ориентации возникает возможность исследовать развязку при горизонтальном разнесении антенн вдоль распорки или изого горизонтального элемента опоры.

Вариант 3 (рис. 7.14) соответствует модельной задаче исследования влияния на развязку горизонтального смещения вертикального элемента относительно плоскости электрической симметрии взаимодействующих горизонтальных вибраторов.

На рис. 7.15 в качестве примера приведены результаты расчетов для варианта 1. Расчеты проводились методом, изложенным в разд. 7.3.6. Графики развязки V даны в зависимости от вертикального размера l металлоконструкции. При этом различным кривым соответствуют следующие значения остальных геометрических параметров:

- кривая 1: расстояние между вибраторами по горизонтали $r = 1,25 \lambda$, радиус вертикального проводника (металлоконструкции) $a = 0,0075 \lambda$;
- кривая 2: $r = 1,25 \lambda$, $a = 0,015 \lambda$;
- кривая 3: $r = 0,625 \lambda$, $a = 0,0075 \lambda$;
- кривая 4: $r = 0,625 \lambda$, $a = 0,015 \lambda$.

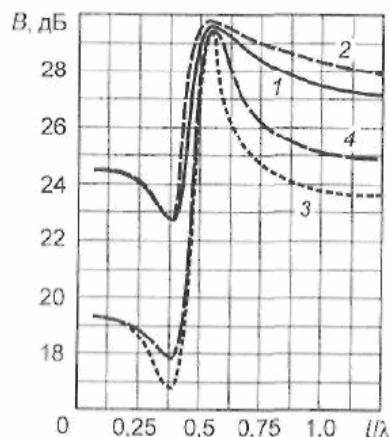


Рис. 7.15. Зависимость развязки полуволновых вибраторов, изображенных на рис. 7.13, от размеров элемента опоры:

- 1 — $r = 1,25 \lambda$, $a = 0,0075 \lambda$; 2 — $r = 1,25 \lambda$, $a = 0,015 \lambda$;
3 — $r = 0,625 \lambda$, $a = 0,0075 \lambda$; 4 — $r = 0,625 \lambda$, $a = 0,015 \lambda$.

Предельные значения развязки B при $l \rightarrow 0$ соответствуют полному отсутствию металлоконструкции, т.е. взаимодействию вибраторов в свободном пространстве.

Асимптотические значения B при $l \rightarrow \infty$ соответствуют расположению вибраторов вблизи весьма протяженных элементов — поясов, распорок и т.д. Расчетные асимптотические значения для различных кривых:

- кривая 1: $B = 26,8$ дБ;
- кривая 2: $B = 27,5$ дБ;
- кривая 3: $B = 23,5$ дБ;
- кривая 4: $B = 24,3$ дБ.

Из графиков рис. 7.16 видно, что влияние металлоконструкции достаточно велико. При относительно малой ее длине развязка уменьшается, затем (вблизи резонансного значения длины) резко увеличивается, после чего монотонно уменьшается, асимптотически стремясь к соответствующим предельным значениям. Увеличение развязки вблизи резонансного значения l достаточно заметно: примерно на 5 дБ (по отношению к асимптотическому значению) при $r = 1,25 \lambda$ и на 10 дБ при $r = 0,625 \lambda$. При этом максимальное значение развязки относительно слабо зависит от расстояния между вибраторами r . Это позволяет при наличии ограничений на пространственное разнесение антенн увеличить развязку за счет использования специальных пассивных элементов. Следует отметить, что для этих же целей могут использоваться и штатные элементы конструкций опор, электрически «расщепленные» в необходимых местах с помощью металлических изоляторов типа «четвертьвольновый стакан» [16].

Что касается влияния радиуса металлоконструкции a , то из результатов расчета следует, что оно сводится к некоторому уменьшению резонансной длины металлоконструкции и некоторому увеличению экранирующего действия (развязки) при увеличении радиуса. На максимальное значение величины развязки (вблизи резонансного значения I) радиус металлоконструкции влияет относительно слабо.

Примеры.

1. Две передающие антенны (полуволновые вибраторы, работающие на частотах около 870 МГц) размещены на общей достаточно длиной опоре ($I \gg \lambda$) диаметром 10 мм согласно рис. 7.13. Оценим минимальное расстояние между вибраторами, при котором развязка превысит 27 дБ.

Длина волны $\lambda = 300/870 \approx 0,345$ м. Соответственно $a/\lambda = 0,005/0,345 = 0,0145$. По графикам рис. 7.16 и приведенным выше результатам расчетов асимптотических значений развязки определяем, что при $I/\lambda \gg 1$ и $a/\lambda = 0,015$ развязка $B > 27$ дБ при $r/\lambda > 1,25$ (кривая 2 на рис. 7.16). Расстояние между вибраторами должно удовлетворять условию $r > 1,25 \cdot 0,345 \approx 0,431$ м.

2. Две передающие антенны (полуволновые вибраторы, работающие на частотах около 300 МГц) размещены на диэлектрической опоре. Расстояние между вибраторами 625 мм. Определим развязку между антеннами, длину дополнительного пассивного элемента (проводник радиусом 7,5 мм), который нужно установить между вибраторами (см. рис. 7.13) для максимизации развязки, и эффект увеличения развязки при установке дополнительного элемента.

Длина волны $\lambda = 300/300 = 1$ м. Электрическое расстояние между вибраторами $r/\lambda = 0,625$. Электрический радиус дополнительного элемента: $a/\lambda = 0,0075$. Таким образом, заданные условия соответствуют кривой 3 на рис. 7.16. По графику определяем, что при отсутствии дополнительного элемента ($I \rightarrow 0$) развязка $B_0 \approx 19,5$ дБ. Резонансная длина элемента $I = 0,55 \lambda = 0,55$ м. Развязка с установленным дополнительным элементом $B_1 \approx 29,5$ дБ. Установка дополнительного элемента повысит развязку на 10 дБ.

7.4.4. Методы обеспечения ЭМС РЭС при помощи электромагнитных экранов

При конструировании различных РЭС обычно добиваются достаточно высокой эффективности экранирования корпусов и других конструктивных узлов и элементов, обеспечивающей выполнение требований к уровню паразитных электромагнитных излучений изделия или (и) его электромагнитной восприимчивости [30]. Однако в условиях неординарной электромагнитной обстановки при недостаточной эффективности других мер для обеспечения требований по ЭМС могут использоваться дополнительные электромагнитные экраны. При этом целью экранирования является либо защита оборудования от воздействия внешних полей, либо, напротив, локализация излучения каких-либо средств, препятствующая проявлению этих излучений в окружающей среде.

Установка дополнительных экранов в случае необходимости применяется в местах размещения передающего и приемного оборудования, в трассах (каналах) прокладки высокочастотных фидеров и т.д. Наряду с обеспечением ЭМС РЭС применение электромагнитных экранов позволяет решать и ряд других задач, среди которых защита информации в помещениях и технических каналах, защита персонала от повышенного уровня электромагнитных полей и т.д.

Эффективность экранирования [30, 31], дБ, определяется степенью ослабления составляющих (электрической, магнитной) или энергии поля, определяемой как отношение действую-

вующих значений напряженности полей или плотности потока энергии в данной точке пространства при отсутствии и наличии экрана:

$$K_E = 20 \lg \frac{E_0}{E_1}; K_H = 20 \lg \frac{H_0}{H_1}; K_n = 10 \lg \frac{E_0 H_0}{E_1 H_1} = \frac{K_E + K_H}{2}, \quad (7.39)$$

где K_E — коэффициент экранирования по электрической составляющей, K_H — коэффициент экранирования по магнитной составляющей, K_n — коэффициент экранирования по плотности потока энергии, E_0 (H_0) — напряженность электрической (магнитной) составляющей поля в отсутствии экрана, E_1 (H_1) — напряженность электрической (магнитной) составляющей поля при наличии экрана в той же точке пространства.

Строгое решение электродинамической задачи экранирования, тем более в общем виде, весьма затруднительно. Обычно в зависимости от типа решаемой задачи рассматривают различные виды экранирования: электрическое, магнитостатическое или электромагнитное. Последнее является наиболее общим и часто применяемым, так как в большинстве случаев экранирования приходится иметь дело либо с переменными, либо с флюктуирующими и ре-же — действительно со статическими полями.

Теоретические и экспериментальные исследования [30, 31] показали, что форма экрана незначительно влияет на его эффективность. Главными факторами, определяющими качество экрана, являются радиофизические свойства материала и конструкционные особенности. Для оценки эффективности экранирования экранов, дБ, широко используют приближенный анализ, основанный на представлении коэффициента экранирования как суммы отдельных составляющих:

$$K_n = K_{\text{погл}} + K_{\text{отр}} + K_{\text{и отр}}, \quad (7.40)$$

где слагаемое $K_{\text{погл}}$ связано с поглощением электромагнитной энергии в материале экрана, $K_{\text{отр}}$ — с отражением электромагнитной волны экраном, а $K_{\text{и отр}}$ учитывает многократные внутренние переотражения волны от поверхностей экрана.

Для электрически толстых экранов (толщина экрана существенно превышает толщину скин-слоя), к которым относятся практически все экраны, применяемые в целях обеспечения ЭМС [31], двумя последними слагаемыми в (7.40) можно пренебречь. Тогда эффективность экранирования, дБ, определяется затуханием волны в металле (по экспоненциальному закону), и для экрана толщиной d , мм, коэффициент экранирования

$$K_n = Kd, \quad (7.41)$$

где K — коэффициент ослабления, определяемый электрофизическими свойствами металла.

В табл. 7.5 приведены коэффициенты ослабления для некоторых распространенных материалов.

Таблица 7.5. Коэффициент ослабления электромагнитных волн в металлах, K , дБ/мм

Частота, МГц	Металл				
	Сталь	Медь	Алюминий	Цинк	Латунь
0,1	47,6	32,3	29,5	26,4	25,6
0,3	52,0	37,1	34,3	31,2	26,8
1,0	56,5	42,3	39,5	37,5	35,6
3,0	60,8	47,2	44,1	40,8	40,0
10,0	65,6	52,3	49,5	46,4	45,6
30,0	69,5	57,1	54,3	51,1	50,4
100,0	75,6	62,3	59,5	56,3	55,6
300,0	77,4	67,6	64,1	60,8	60,0
1000,0	81,6	72,3	69,5	66,4	65,6

Пример. Рассчитать минимальную толщину стенок экранирующего стального бокса для установки РПМ, если в месте установки имеется мощная помеха (плотность потока энергии $5 \text{ Вт}/\text{см}^2$) на частоте 320 МГц, а по условиям эксплуатации РПМ не должен превышать уровень $1 \text{ мВт}/\text{см}^2$.

Необходимый коэффициент экранирования (7.39): $K_n \geq 10 \lg(5000/1) \approx 37 \text{ дБ}$.

По табл. 7.5 для стали на частоте 300 МГц находим $K = 77,4 \text{ дБ}/\text{мм}$. Использование данных для частоты 300, а не 320 МГц, в данном случае оправдано, так как эффективность экранирования растет с ростом частоты, поэтому полученный результат обеспечит выполнение заданного требования с некоторым запасом. С учетом (7.41) находим $d \geq 37/77,4 \approx 0,5 \text{ мм}$.