

Анализ характеристик передатчиков аналогового радиовещания, влияющих на электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств

А. К. Терновая¹, Б. М. Антипин²

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

¹ternovaya_00@bk.ru, ²boris_antipin@mail.ru

Аннотация. Для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств параметры излучений передатчиков должны соответствовать требованиям нормативных и разрешительных документов. В статье рассмотрены параметры излучений аналоговых стереофонических вещательных передатчиков ОВЧ диапазона. Приводятся требования к этим параметрам, сформулированные в Нормах ГКРЧ и в документах по стандартизации.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость; внеполосные излучения; побочные излучения; средства радиоконтроля; радиовещательная служба

I. ВВЕДЕНИЕ

Согласно [1] электромагнитная совместимость (ЭМС) технических средств – это «способность технических средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам».

Обеспечение ЭМС дает возможность одновременно функционирующим в одном регионе радиоэлектронным средствам (РЭС) качественно выполнять свои функции в реальной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых помех. Поэтому при получении разрешения на использование радиочастот и радиочастотных каналов Радиочастотная служба проводит расчеты ЭМС вновь вводимого РЭС с уже действующими радиосредствами. А в процессе его эксплуатации проводит регулярные измерения параметров излучений, которые могут оказать влияние на ЭМС, с целью их проверки требованиям нормативной и разрешительной документации.

К основным параметрам передатчиков, влияющих на ЭМС, относятся: ширина полосы частот, занимаемой излучением, внеполосные излучения, побочные излучения и допустимое отклонение частоты. Требования к этим параметрам сформулированы в Нормах ГКРЧ [2–4].

II. ТРЕБОВАНИЯ К ПАРАМЕТРАМ ИЗЛУЧЕНИЙ РЭС

Ширину полосы частот нормируют с помощью контрольной ширины полосы радиочастот. В [2] контрольная ширина полосы частот излучения передатчика определена как «полоса частот излучения радиопередающего устройства на уровне минус 30 дБ, за пределами которой любая дискретная составляющая спектра внеполосных радиоизлучений или спектральная плотность мощности внеполосных радиоизлучений ослаблены не менее, чем на 30 дБ относительно заданного (исходного) уровня 0 дБ». Как правило, необходимая ширина полосы передатчиков является основой для определения нормативных значений для контрольной ширины полосы частот и внеполосных излучений.

Там же установлены нормы в виде формул на контрольную ширину полосы радиочастот и необходимую ширину полосы радиочастот для конкретного класса излучения передатчика. В табл. I для аналогового монофонического и стереофонического вещания приведены формулы для расчета значений контрольной ширины полосы частот передатчиков, в зависимости от параметров излучений [2].

В табл. I B_n – необходимая ширина полосы частот; B_k – контрольная ширина полосы частот; F_B – верхняя частота модулирующего сигнала; D – девиация частоты.

ТАБЛИЦА I. ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА НОРМ НА КОНТРОЛЬНУЮ ШИРИНУ ПОЛОСЫ РАДИОЧАСТОТ И ВНЕПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ АНАЛОГОВЫХ ВЕЩАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ

Класс излучения	Необходимая ширина полосы частот, Гц	Контрольная ширина полосы частот, Гц и внеполосные излучения на уровне X дБ, Гц
Звуковое вещание (монофонический канал) F3EGN	$B_n = 2F_B + 2D$ Для $1 \leq m' \leq 1,7$	$B_k = (6,7m' + 2)F_B$ $B_{-40} = (7,8m' + 3)F_B$ $B_{-50} = (8,4m' + 4,4)F_B$ $B_{-60} = (9m' + 6)F_B$ Для $1 \leq m' \leq 1,7$
Звуковое вещание (стереофонический канал) F8EHN	$B_n = 2F_B + 2D$	$B_k = (8m' + 2,4)F_B$ $B_{-40} = (9,36m' + 3,6)F_B$ $B_{-50} = (10m' + 5,28)F_B$ $B_{-60} = (10,8m' + 7,2)F_B$ Для $0,3 \leq m' \leq 1,7$

D может принимать значения для данных классов излучения 50 и 75 кГц; m' – индекс частотной модуляции. F_B может изменяться до 15 кГц для F3EGN и до 53 кГц для F8EHN. Вычисляется индекс частотной модуляции по формуле

$$m' = D / 3F_B$$

В [2] внеполосное излучение определено как «нежелательное излучение на частоте или на частотах, непосредственно примыкающих к необходимой ширине полосы частот, которое является результатом процесса модуляции, но не включает побочных излучений». Там же даны нормативные значения для ширины полос внеполосных излучений, которые устанавливаются на уровнях -40, -50 и -60 дБ относительно заданного нулевого уровня. Формулы для определения их значений приведены в табл. I. Используя их, проведем расчеты для необходимой ширины полосы, контрольной ширины полосы и ширины внеполосных излучений для монофонического и стереофонического передатчиков. Результаты представлены в табл. II.

Важным параметром излучений радиовещательных передатчиков, который может оказать влияние на ЭМС является уровень побочных излучений. Как определено в [3], побочное излучение – это «нежелательное излучение на частоте или на частотах, расположенных за пределами необходимой ширины полосы частот, уровень которого может быть снижен без ущерба для соответствующей передачи сообщений». К побочным излучениям относят гармонические излучения, паразитные излучения, продукты интермодуляции и частотного преобразования, но к ним не относятся внеполосные излучения [3].

Предварительно определяют диапазон частот контроля побочных излучений, который располагается ниже и выше области внеполосных излучений радиопередатчика и определяется нижней F_n и верхней F_v границами (рис. 1), [3].

ТАБЛИЦА II. РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ И ВНЕПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Вид вещания	Необходимая ширина полосы частот, Гц	Контрольная ширина полосы частот, Гц и внеполосные излучения на уровне X дБ, Гц
Звуковое вещание (монофонический канал) $F_B = 15$ кГц, $D = 50$ кГц	$B_n = 130$ кГц	$B_k = 142$ кГц $B_{-40} = 175$ кГц. $B_{-50} = 206$ кГц. $B_{-60} = 240$ кГц.
Звуковое вещание (стереофонический канал) $F_B = 53$ кГц, $D = 75$ кГц	$B_n = 256$ кГц	$B_k = 327$ кГц $B_{-40} = 425$ кГц $B_{-50} = 530$ кГц $B_{-60} = 652$ кГц

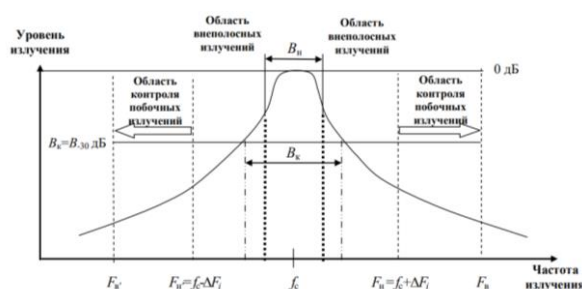


Рис. 1. Области контроля побочных излучений

Определим нижние F_n и верхние F_v границы диапазона контроля побочных излучений для рассмотренных аналоговых радиовещательных передатчиков. Воспользовавшись табл. I из [3], находим, что как для монофонического, так и для стереофонического передатчиков $F_n = f_c + 2,5B_n$. Следовательно, для монофонического передатчика $F_n = f_c + 325$ кГц, а для стереофонического передатчика $F_n = f_c + 640$ кГц.

Для определения верхней границы диапазона контроля побочных излучений F_v воспользуемся табл. 2 из [3]. Согласно ей для передатчиков, работающих на частотах меньше 100 МГц, $F_v = 1$ ГГц. А если частота передатчика больше 100 МГц, то F_v будет равна 10-ой гармонике частоты передачи.

Нормы [3] предусматривают выполнение необходимого ослабления Апи мощности побочных излучений относительно мощности основного излучения на выходе радиопередатчика (мощности, излучаемой антенной РЭС). А именно, минимально допустимое ослабление побочных излучений в децибелах не может превышать значений $46 + P(\text{дБ/Вт})$, или должно быть не больше 70 дБ. При этом за нормативное значение Нормы [3] рекомендуют брать менее жесткое требование к ослаблению мощности побочных излучений.

В [3] устанавливаются также требования к максимально допустимой мощности P_i любых составляющих побочных продуктов, поступающих от радиопередатчика на антенну. Данное требование

является равносильным требованиям к ослаблению мощности побочных излучений Апи. Например, если мощность передатчика меньше 250 Вт, то допустима мощность $P_i = -16$ дБм. При мощности передатчика от 250 Вт до 10 кВт – $P_i = (P - 40)$ дБм, где P – мощность, выраженная в дБВт. При мощности передатчика больше 10 кВт – максимально допустимая мощность $P_i = 0$ дБм.

Для примера оценим требуемое ослабление мощности составляющих побочных продуктов передатчика относительно его излучаемой мощности, равной 5 кВт. 5 кВт равно 37 дБ(Вт), следовательно $A_{\text{пи}} = 46 + 37 = 83$ дБ или $A_{\text{пи}} = 70$ дБ. Но, т.к. [3] рекомендуют брать менее жесткое ослабление, то в итоге получим, что $A_{\text{пи}}$ должно равняться 70 дБ.

Для этого передатчика требуемая максимальная мощность побочных колебаний $P_i = (37 - 40) = -3$ дБм. Проверим равносильность требований к P_i и к $A_{\text{пи}}$ для данного примера. Если $A_{\text{пи}} = 70$ дБ, то мощность побочных продуктов $P_i = (37 \text{ дБ(Вт)} - 70 \text{ дБ}) = -33$ дБм, что соответствует -3 дБм.

Требования на допустимые отклонения частоты (ДОЧ) радиопередатчиков всех категорий гражданского применения устанавливаются ГКРЧ в Нормах 17-21, здесь же дается определение ДОЧ. Допустимое отклонение частоты – «максимальное допускаемое отклонение средней частоты полосы частот излучения от присвоенной частоты или характерной частоты излучения от относительной частоты» [4].

Выполнение измерений частоты радиопередатчика должно выполняться в соответствии с методиками (методами) измерений, аттестованными в установленном порядке. Погрешность измерения частоты должна составлять не более 0,1 от нормы допустимого отклонения частоты [4].

ДОЧ вещательных радиопередатчиков не должны превышать значений, приведённых в табл. III. Они выражаются в миллионных долях относительно присвоенной частоты

$$\frac{|f_{\text{п}} - f_{\text{н}}|}{f_{\text{п}}} \leq N \cdot 10^{-6}$$

или в значениях абсолютного отклонения частоты в герцах от присвоенной частоты:

$$|f_{\text{п}} - f_{\text{н}}| \leq N_{\text{абс}},$$

где N – норма допустимого относительного отклонения частоты радиопередатчика; $N_{\text{абс}}$ – норма допустимого абсолютного отклонения частоты от присвоенной частоты (Гц); $f_{\text{п}}$ – присвоенная частота радиопередатчика; $f_{\text{н}}$ – измеренная рабочая частота.

Воспользовавшись табл. III из [4], определяем, что относительное допустимое отклонение частоты $\delta = 0,5 \cdot 10^{-6}$, следовательно, для передатчика с частотой 102 МГц абсолютное значение допустимого отклонения

частоты будет 51 Гц и, соответственно, погрешность измерения ДОЧ не должна превышать 5,1 Гц. Для передатчика, работающего на частоте 107 МГц, значения будут 53,5 Гц и 5,35 Гц соответственно.

ТАБЛИЦА III. ТРЕБОВАНИЯ К ДОПУСТИМЫМ ОТКЛОНЕНИЯМ ЧАСТОТЫ ВЕЩАТЕЛЬНЫХ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ

Полоса частот (исключая нижний и включая верхний пределы) и категории станций	Допустимое отклонение частоты	
	$\pm N \cdot 10^{-6}$	$\pm N_{\text{абс}}, \text{ Гц}$
Полоса: 29,7-100 МГц		
Станции аналоговые звукового радиовещания	0,5	
Полоса: 100-470 МГц		
Станции аналоговые звукового радиовещания	0,5	
Для передатчиков со средней мощностью 50 Вт или меньше		3000

ТАБЛИЦА IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Параметр	Норма	Результат
Выходная мощность, Вт		5000
Отклонение частоты несущей, Гц	± 50	-8
Частота пилот-тона, Гц	19000 ± 2	19000,5
Девияция несущей частоты, вызываемая комплексным стереосигналом, кГц	75 ± 4	75,3
Девияция несущей частоты, вызываемая пилот-тоном, кГц	$6,75 \pm 0,75$	6,7
Контрольная ширина полосы радиочастот, кГц	284,4	115
Разбаланс АЧХ, дБ	$\pm 0,4$	0,1

В Санкт-Петербурге функционирует технологический комплекс Радиоцентра №1. Данный комплекс включает в себя 3 передатчика ДВ/СВ диапазонов типа ДСВ-150 мощностью 150 кВт каждый и один передатчик СВ диапазона мощностью 10 кВт, 21 передатчик ОВЧ ЧМ диапазона мощностью 5/10/15 кВт, включая резервные, 4 антенны-мачты ДВ/СВ диапазонов АМШП-205, ШВ-102, ШВ-77 и АМШП-75 (Аксион-SV).

Для тестирования действующих передатчиков на соответствие значений их параметров требованиям используется цифровой анализатор РАП/ТВ/УКВ. С его помощью формируется готовый отчет, фрагмент которого приведен в табл. IV.

Тестирование показало, что параметры, влияющие на ЭМС, такие как ширина полосы частот, занимаемой излучением, внеполосные излучения, побочные излучения и допустимых отклонений частоты передатчика находятся в допустимых пределах.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ требований к характеристикам вещательных передатчиков, работающих как в режиме моно, так и в режиме стереовещания, позволяет сделать следующие выводы:

Нарушение требований к допустимому отклонению частоты вещательных передатчиков на несколько десятков герц (даже единиц килогерц) практически не

может создать помех для других РЭС, работающих в соседних каналах. Это обусловлено тем, что у этих передатчиков имеется значительный запас по требованиям к ширине полосы частот и внеполосным излучениям, при имеющемся разносе частот между ними.

Определенные проблемы для обеспечения ЭМС РЭС могут возникнуть при нарушении требований к побочным излучениям передатчиков, т. к. их мощность составляет единицы и десятки киловатт.

Располагая представленными в статье параметрами, на основе предложенного подхода можно разработать алгоритм, позволяющий по результатам измерений параметров сигналов на станциях радиоконтроля выполнить оценку ЭМС. Для этого необходимо будет дополнительно определить характеристики радиоприемных устройств, которые могут оказаться рецепторами помеховых излучений [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ Р 50397 – 2011 «Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения».
- [2] Нормы ГКРЧ № 19-21 «Нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского применения».
- [3] Нормы ГКРЧ № 18-21 «Радиопередающие устройства гражданского назначения. Требования на допустимые уровни побочных излучений».
- [4] Нормы ГКРЧ № 17-21 «Радиопередатчики всех категорий гражданского применения. Требования на допустимое отклонение частоты».
- [5] Антипин Б.М., Виноградов Е.М. Оценка электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств по результатам радиоконтроля. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2012. Вып.6. С.97-104