

Характеристики и параметры РЭС СПС, необходимые для анализа ЭМС в полосах частот совместного использования: аналитический обзор

Б.М. Антипин^{1*}, Е.М. Виноградов¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: boris_antipin@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 15.11.2019

Принята к публикации 15.06.2020

Ссылка для цитирования: Антипин Б.М., Виноградов Е.М. Характеристики и параметры РЭС СПС, необходимые для анализа ЭМС в полосах совместного использования: аналитический обзор // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 2. С. 6–18. DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-2-6-18

Аннотация: Анализ полос частот, выделенных радиослужбам в таблице распределения полос частот, показывает, что каждую полосу используют несколько радиослужб. Совместное использование полос частот радиослужбами требует, чтобы была обеспечена электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств, принадлежащих этим службам. В настоящее время имеет место бурное развитие систем сухопутной подвижной службы радиосвязи. В работе рассмотрены основные параметры радиопередатчиков и радиоприемных устройств, принадлежащих системам СПС, которые необходимы для анализа электромагнитной совместимости таких систем между собой и с другими системами, совместно использующими некоторую полосу частот. Рассмотрены способы использования некоторых характеристик.

Ключевые слова: сухопутная подвижная служба, совместное использование полос частот, электромагнитная совместимость, параметры и характеристики радиопередатчиков и радиоприемных устройств.

Введение

Развитие радиосвязи сопровождается появлением новых радиотехнологий, различающихся выполняемыми функциями и предоставляемыми услугами. Особенно интенсивное развитие разнообразных систем связи характерно для сухопутной подвижной службы (СПС). Широко используются средства связи второго, третьего и четвертого поколений. Быстрыми темпами идет внедрение технологии 5G. Для каждой новой технологии при выделении полосы (или некоторого множества полос) частот устанавливают технические ограничения на параметры излучений радиоэлектронных средств (РЭС), использующих эту технологию. Введение таких ограничений имеет целью снижение уровня возможных взаимных помех в сетях связи.

Учитывая ограниченность радиочастотного спектра (РЧС), который может быть использован в настоящее время для работы РЭС, обычно имеет место совместное использование полос частот, выделенных системам СПС. Такое совместное использование невозможно без решения проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) не только между РЭС, образующими сеть связи, но и с други-

ми РЭС, для работы которых выделена рассматриваемая полоса частот.

Анализ ЭМС требует значительного объема данных, касающихся не только технических параметров и характеристик радиопередатчиков (РПД) и радиоприемных устройств (РПУ), но и сведений об антеннах РЭС, их местоположении, рельефе местности и ряде другой информации. Электрические характеристики и параметры радиопередатчиков и радиоприемных устройств играют важную роль в решении проблемы эффективного использования радиочастотного спектра, проблемы, включающей решение задач частотного планирования и обеспечения ЭМС функционирующих и внедряемых в эксплуатацию РЭС.

Влияние помех на рабочую характеристику РПУ рассматривается во многих работах, посвященных проблеме ЭМС, например, в [1–10]. Принципиальным является не только выявление параметров и характеристик РПУ и излучений РПД, которые необходимо знать для анализа ЭМС, но и получение числовых значений параметров, используемых для оценки ЭМС. В большинстве приведенных выше работ рассматриваются аналоговые системы, для которых отсутствуют описания их техно-

логий. При этом даже в спецификациях на конкретное радиосредство (например, на РПД или РПУ) могут отсутствовать некоторые параметры этого средства, необходимые для анализа ЭМС. В ряде случаев найти выход из создавшегося положения помогают нормы на соответствующие параметры РЭС. В других ситуациях, например, при анализе нелинейных эффектов в РПУ, приходится опираться на эмпирические модели, описывающие влияние помех на качество приема полезного сигнала, например, такие модели, как представленные в [1]. Модели имеют по частоте ограниченную область применения и значительное среднеквадратическое отклонение получаемых из них результатов.

Развитие цифровой связи и подробная стандартизация появляющихся радиотехнологий значительно облегчают получение информации о параметрах РЭС, необходимых для анализа ЭМС, поскольку эти параметры указаны в стандартах соответствующих технологий. В области радиосвязи в настоящее время бурно развиваются системы СПС, играющие важную роль в информационном обеспечении хозяйствующих субъектов и отдельных граждан. В литературе, посвященной проблеме ЭМС, информация о интересующих параметрах разбросана по отдельным статьям и пособиям, не всегда находящимся в открытом доступе на русском языке. Поэтому в данной работе на основе анализа отечественной и зарубежной литературы и стандартов на технологии, используемые СПС, поставлена задача собрать характеристики и параметры современных РЭС СПС, которые потребуются при анализе ЭМС. Это позволит также указать источники, где можно получить приведенную информацию. Одновременно это даст возможность решать задачу определения наиболее вероятных источников помех между РЭС СПС и другими РЭС гражданского применения в полосах частот совместного использования.

Использование РЭС, отведенного современным средствам СПС

В технических спецификациях, разработанных Европейским институтом стандартов электросвязи ETSI (European Telecommunications Standards Institute), рассматриваемых ниже, а также в Таблице распределения полос частот (ТРЧ) [11] Российской Федерации современным средствам связи, в том числе средствам СПС, отводится широкая полоса частот, которая представлена значительным набором более узких полос частот. В этих полосах частот работают РЭС СПС разных поколений от 2G до 4G, использующих разные радиотехнологии. Внедрение технологии LTE (4G) добавило средствам связи новые рабочие полосы частот, которые расположены близко с рабочими полосами других средств коммуникаций. Появление РЭС пятого поколения (5G) и технологии, именуемой в

настоящее время как «новое радио» (NR, от англ. New Radio), потребовало предоставления для нее рабочих полос частот. Однако свободных частот практически нет. Поэтому технология развивается в полосах, которые уже используются другими технологиями и РЭС других радиослужб. Учитывая, что требования к техническим характеристикам РЭС NR во многих случаях для разных полос частот определяют отдельно, в [12] полосы частот, в которых может работать NR, разбиты на две части, представленные в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Полосы частот, в которых определены рабочие полосы NR(5G)

TABLE 1. Definition of Frequency Ranges for Operating NR Bands (5G)

Обозначение полосы частот	Соответствующая полоса частот, МГц
FR1	410–7125
FR2	24250–52600

В относительно низкочастотной полосе FR1 радиочастотный спектр полностью занят, и работу NR обеспечивают, используя полосы, отведенные технологии LTE (E-UTRA). В миллиметровом диапазоне (FR2) NR использует полосы, в которых наряду с РЭС подвижной службы располагаются РЭС фиксированной службы, РЭС спутниковой службы исследования Земли и ряда других спутниковых служб. Полосы частот, которые в технических спецификациях ETSI отводят для РЭС поколений 2G–5G, представлены в таблице 2, сформированной по спецификациям ETSI [12–14]. Красным цветом отмечены рабочие полосы частот, используемые в РФ. Из таблицы видно, что источниками помех в полосах частот, совместно используемых РЭС СПС, могут быть средства связи, принадлежащие разным поколениям, соответственно, использующим разные технологии.

Средства различаются:

- режимами работы (FDD – частотный дуплекс, TDD – временной дуплекс);
- доступом к каналам связи (с частотным разделением каналов – FDMA, с временным разделением – TDMA, с кодовым разделением – CDMA).

Разные средства, использующие одну рабочую полосу, могут работать в разных частотных каналах (FDMA, TDMA) или на одной частоте (CDMA), иметь разные или одинаковые виды модуляции. Во всех случаях использование рабочей полосы РЭС СПС с разными радиотехнологиями требует оценки уровней помех, возникающих между ними, и оценки их влияния на качество принимаемой информации (ЭМС). Кроме того, ТРЧ предусматривает возможность использования одной полосы частот разными радиослужбами. Так, в полосе 1710–1785 МГц (линия вверх GSM 1800, полоса 3 LTE, полоса n3 NR) и в полосе 1805–1880 МГц (линия вниз GSM 1800 и те же полосы LTE и NR), обе полосы категории СИ, наряду с РЭС СПС могут работать средства фиксированной службы. Национальная ТРЧ [11] (примечание 215) разрешает использовать полосы частот

1900–1980 МГц (категория СИ) и 2110–2170 МГц (категория ПР) системам Международной мобильной связи (ИМТ, от англ. International Mobile Telecommunications). Эти полосы перекрывают полосы FDD технологий LTE, NR и UTRA. В решении ГКРЧ

[15] наряду с указанными в таблице 2 полосами частот, разрешенными для использования в РФ системами с технологией LTE, для технологии LTE разрешено также использовать полосу P-GSM (GSM 900) и полосы 791–820 МГц и 832–861 МГц.

ТАБЛИЦА 2. Рабочие полосы частот, отведенные современным радиотехнологиям

TABLE 2. Operating Bands to Utilize Modern Radio Technologies

Номер полосы			Обозначение полосы GSM	Линия вверх	Линия вниз	Режим работы
E-UTRA	NR	UTRA				
			GSM 450	450,4МГц–457,6 МГц	460,4 МГц–467,6 МГц	FDD
			GSM 480	478,8МГц–486 МГц	488,8 МГц–496 МГц	FDD
			P-GSM(GSM900)	890 МГц–915 МГц	935 МГц–60 МГц	FDD
			R-GSM	876 МГц–915 МГц	921 МГц–960 МГц	FDD
1	n1	I	–	1920 МГц–1980 МГц	2110 МГц–2170 МГц	FDD
2	n2	II	PCS 1900	1850 МГц–1910 МГц	1930 МГц–1990 МГц	FDD
3	n3	III	DCS (GSM)1800	1710 МГц–1785 МГц	1805 МГц–1880 МГц	FDD
4	–	IV	–	1710 МГц–1755 МГц	2110 МГц–2155 МГц	FDD
5	n5	V	GSM 850	824 МГц–849 МГц	869 МГц–894 МГц	FDD
–	–	VI	–	830 МГц–840 МГц	875 МГц–885 МГц	FDD
7	n7	VII	–	2500 МГц–2570 МГц	2620 МГц–2690 МГц	FDD
8	n8	VIII	E-GSM	880 МГц–915 МГц	925 МГц–960 МГц	FDD
9	–	IX	–	1749,9 МГц–1784,9 МГц	1844,9 МГц–1879,9 МГц	FDD
10	–	X	–	1710 МГц–1770 МГц	2110 МГц–2170 МГц	FDD
11	–	XI	–	1427,9 МГц–1447,9 МГц	1475,9 МГц–1495,9 МГц	FDD
12	n12	XII	–	699 МГц–716 МГц	729 МГц–746 МГц	FDD
13	–	XIII	–	777 МГц–787 МГц	746 МГц–756 МГц	FDD
14	–	XIV	–	788 МГц–798 МГц	758 МГц–768 МГц	FDD
15	–	XV	–	Зарезервировано	Зарезервировано	FDD
16	–	XVI	–	Зарезервировано	Зарезервировано	FDD
17	–	–	–	704 МГц–716 МГц	734 МГц–746 МГц	FDD
18	–	–	–	815 МГц–830 МГц	860 МГц–875 МГц	FDD
19	–	XIX	–	830 МГц–845 МГц	875 МГц–890 МГц	FDD
20	n20	XX	–	832 МГц–862 МГц	791 МГц–821 МГц	FDD
21	–	XXI	–	1447,9 МГц–1462,9 МГц	1495,9 МГц–1510,9 МГц	FDD
22	–	XXII	–	3410 МГц–3490 МГц	3510 МГц–3590 МГц	FDD
23	–	–	–	2000 МГц–2020 МГц	2180 МГц–2200МГц	FDD
24	–	–	–	1626,5 МГц–1660,5 МГц	1525 МГц–1559 МГц	FDD
25	n25	XXV	–	1850 МГц–1915 МГц	1930 МГц–1995 МГц	FDD
26	–	XXVI	–	814 МГц–849 МГц	859 МГц–894 МГц	FDD
27	–	–	–	807 МГц–824 МГц	852 МГц–869 МГц	FDD
28	n28	–	–	703 МГц–748 МГц	758 МГц–803 МГц	FDD
29	–	–	–	Нет данных	717 МГц–728 МГц	–
30	–	–	–	2305 МГц–2315 МГц	2350 МГц–2360 МГц	FDD
31	–	–	–	452,5 МГц–457,5 МГц	462,5 МГц–467,5 МГц	FDD
32	–	XXXII	–	Нет данных	1452 МГц–1496 МГц	–
33	–	a)	–	1900 МГц–1920 МГц		TDD

Номер полосы			Обозначение полосы GSM	Линия вверх	Линия вниз	Режим работы
E-UTRA	NR	UTRA				
34	n34	a)	-	2010 МГц–2025 МГц		TDD
35	-	b)	-	1850 МГц–1910 МГц		TDD
36	-	b)	-	1930 МГц–1990 МГц		TDD
37	-	c)	-	1910 МГц–1930 МГц		TDD
38	n38	d)	-	2570 МГц–2620 МГц		TDD
39	n39	f)	-	1880 МГц–1920 МГц		TDD
40	n40	e)	-	2300 МГц–2400 МГц		TDD
41	n41	-	-	2496 МГц–2690 МГц		TDD
42	-	-	-	3400 МГц–3600 МГц		TDD
43	-	-	-	3600 МГц–3800 МГц		TDD
44	-	-	-	703 МГц–803 МГц		TDD
45	-	-	-	1447 МГц–1467 МГц		TDD
48	-	-	-	3550 МГц–3700 МГц		TDD
50	n50	-	-	1432 МГц–1517 МГц		TDD
51	n51	-	-	1427 МГц–1432 МГц		TDD
52	-	-	-	3300 МГц–3400 МГц		TDD
64	-	-	-	Зарезервировано		-
65	-	-	-	1920 МГц–2010 МГц	2110 МГц–2200 МГц	FDD
66	n66	-	-	1710 МГц–1780 МГц	2110 МГц–2200 МГц	FDD
67	-	-	-	Нет данных	738 МГц–758 МГц	-
68	-	-	-	698 МГц–728 МГц	753 МГц–783 МГц	FDD
69	-	-	-	Нет данных	2570 МГц–2620 МГц	-
70	n70	-	-	1695 МГц–1710 МГц	1995 МГц–2020 МГц	FDD
71	n71	-	-	663 МГц–698 МГц	617 МГц–652 МГц	FDD
72	-	-	-	451 МГц–456 МГц	461 МГц–466 МГц	FDD
73	-	-	-	450 МГц–455 МГц	460 МГц–465 МГц	FDD
74	n74	-	-	1427 МГц–1470 МГц	1475 МГц–1518 МГц	FDD
75	n75	-	-	Нет данных	1432 МГц–1517 МГц	-
76	n76	-	-	Нет данных	1427 МГц–1432 МГц	-
77	n77	-	-	3300 МГц–4200 МГц		TDD
78	n78	-	-	3300 МГц–3800 МГц		TDD
-	n79	-	-	4400 МГц–5000 МГц		TDD
-	n80	-	-	1710 МГц–1785 МГц	Нет данных	-
-	n81	-	-	880 МГц–915 МГц	Нет данных	-
-	n82	-	-	832 МГц–862 МГц	Нет данных	-
-	n83	-	-	703 МГц–748 МГц	Нет данных	-
-	n84	-	-	1920 МГц–1980 МГц	Нет данных	-
85	-	-	-	698 МГц–716 МГц	728 МГц–746 МГц	FDD
-	n86	-	-	1710 МГц–1780 МГц	-	-
-	n257	-	-	26500 МГц–29500 МГц		TDD
-	n258	-	-	24250 МГц–27500 МГц		TDD
-	n260	-	-	37000 МГц–40000 МГц		TDD
-	n261	-	-	27500 МГц–28350 МГц		TDD

В национальной ТРЧ полоса 790–862 МГц относится к категории ПР и снабжена примечанием 164Б: «Полосы радиочастот 791–821 МГц и 832–862 МГц могут использоваться для создания перспективных сетей широкополосного доступа (включая системы ИМТ) при условии принятия организационно-технических мер по исключению радиопомех действующим РЭС...».

Это примечание и анализ других полос частот, отведенных для работы РЭС СПС, показывает, что наряду с ними в этих полосах частот могут работать РЭС СПС, радиолокационной службы, службы космической связи и службы космических исследований. Таким образом, в полосах частот совместного использования при анализе ЭМС РЭС СПС нужно учитывать наличие средств радиочастотных служб иного назначения, чем РЭС СПС.

Оценка ЭМС требует учета принципов функционирования совокупности РЭС, совместимость которой оценивают. Это означает, что анализ ЭМС должен учитывать наличие, в частности, регулировки некоторых параметров РЭС (например, мощности передатчиков абонентских и/или базовых станций). Появление РЭС четвертого и пятого поколений усложняет анализ их ЭМС, как между собой, так и с другими РЭС, работающими с ними в одной рабочей полосе. Это связано с появлением новых технологий, характеризующих оборудование пользователя, таких как массивное МИМО (*от англ. Multiple Input-Multiple Output*) – Многоканальный вход – Многоканальный выход, усовершенствованное формирование диаграмм направленности антенн, объединение несущих и др.

Учесть все нюансы работы современных радиосредств при оценке ЭМС чрезвычайно трудно и при простом аналитическом анализе не всегда возможно. В таких ситуациях одним из перспективных путей анализа ЭМС является имитационное моделирование, реализованное, например, в [16]. Однако при любом методе анализа необходимо располагать информацией о технических параметрах и характеристиках радиопередатчиков, определяющих возможные уровни помех в РПУ, и их влияние на прием полезного сигнала. Последнее определяется параметрами и характеристиками РПУ, на которые поступают помехи.

Параметры и характеристики РПД, влияющие на ЭМС

В спецификациях передатчиков требования к излучениям представлены значениями технических параметров и характеристик излучений. В полосах совместного использования частот главными видами излучений являются основное и внеполосное излучение. Технические параметры основного излучения представлены рабочей частотой и мощностью, а также шириной полосы частот, занимаемой излучением. Спектральной характеристикой излучений передатчика служит маска спектраль-

ной плотности мощности (или просто маска спектра) излучений РПД, которая представляет собой ограничительную линию, устанавливающую верхнюю границу значений спектральной плотности мощности, излучаемой передатчиком. Маска спектра может быть задана графически или с помощью таблицы.

На рисунке 1 изображены обобщенные маски спектров цифровой системы фиксированной службы [17]. Маски представлены в форме ослаблений спектральной плотности мощности относительно ее максимального значения внутри занимаемой полосы частот, полученного с помощью измерительного фильтра с полосой разрешения примерно 1 % от ширины занимаемой полосы частот.

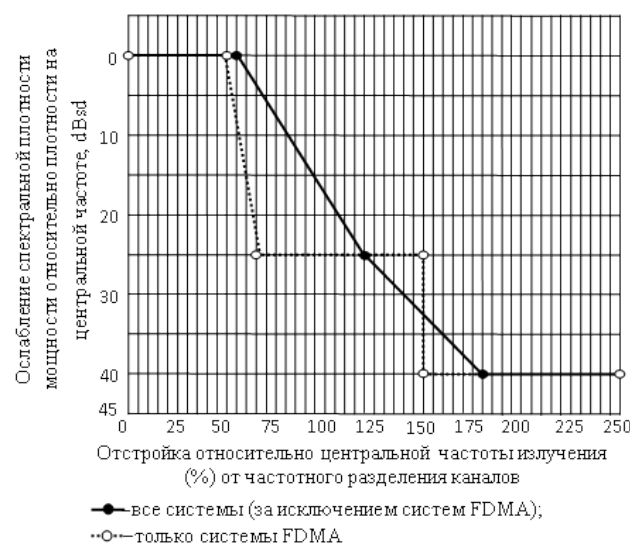


Рис. 1. Обобщенные маски спектров для цифровой системы фиксированной службы на частотах выше 30 МГц
 Fig. 1. Generic Spectrum Mask for Digital Fixed Service Operating Above 30 MHz

В таблице 3 представлена маска спектра внеполосного излучения передатчиков стандарта LTE [18, 19], где *B* – ширина полосы измерительного фильтра; *I* – максимально допустимый уровень значений внеполосных излучений.

ТАБЛИЦА 3. Уровни внеполосных излучений (включая продукты интермодуляции) при полосе частотного канала 5, 10, 15 и 20 МГц (диапазоны рабочих частот выше 1 ГГц) [19]
 TABLE 3. Levels of Out-of-Band Emissions (Including Intermodulation Products) for Channel Bandwidth of 5, 10, 15 and 20 MHz (Operating Frequency Bands above 1 GGz) [19]

Пределы отстройки центра полосы измерительного фильтра от несущей, Δf	I, дБм	B
0,05 МГц ≤ Δf < 5,05 МГц	линейно убывает от -7 до -14	100 кГц
5,05 МГц ≤ Δf < min (10,05 МГц, f _{max})	-14	100 кГц
10,5 МГц ≤ Δf < f _{max}	-15	1 МГц

Маску спектра можно разбить на две области: область, соответствующую основному излучению, и область внеполосных излучений. Эти области

являются наиболее важными при анализе ЭМС РЭС разного назначения в полосах частот совместного использования. В первой области, занимающей необходимую полосу излучения, маска спектра представлена постоянным значением спектральной плотности мощности. Во второй области маска внеполосных излучений представляет собой некоторую кусочно-ломаную кривую и определяет требования к внеполосным излучениям РПД.

Ограничения на уровни внеполосных излучений в полосе соседнего канала устанавливают также, используя параметр, именуемый коэффициентом утечки мощности в соседний канал (ACLR, от англ. Adjacent Channel Leakage Power Ratio), который представляет собой отношение отфильтрованной средней мощности с центром на присвоенной частоте канала к отфильтрованной средней мощности на частоте соседнего канала, выраженное в децибелах.

Маска спектра определяет максимально допустимое значение мощности в некоторой эталонной полосе измерения ($V_{изм}$), выраженное в децибелах, либо относительно максимального значения спектральной плотности мощности в эталонной полосе в пределах ширины необходимой полосы излучения (dBsd), либо в децибелах относительно среднего значения спектральной плотности мощности в пределах ширины необходимой полосы (dBsd), либо относительно мощности немодулированной несущей, при невозможности измерить несущую относительно средней мощности, (dBc, в национальных документах дБн). Для импульсных сигналов (в частности, радиолокационных импульсов) маску спектра внеполосных излучений представляют в децибелах относительно максимального значения пиковой мощности, измеренной в эталонной полосе частот в пределах занимаемой полосы частот (dBpp). При описании маски указывают эталонную полосу измерения, $V_{изм}$. Если полоса явно не указана, ее считают равной 1 % от необходимой полосы излучения [17]. Для ряда категорий служб и типов оборудования, включая СПС, радиолокаторы, космические службы и др., маски спектра в описанном виде представлены в [17]. Маски спектров внеполосных излучений подвижных средств связи, использующих технологии UTRA и E-UTRA, представлены, либо в децибелах относительно милливатта, приходящихся на полосу измерительного фильтра (дБм)dBm/ $V_{изм}$, либо в единицах (дБн) dBc/ $V_{изм}$ [18–21].

Обычно область внеполосных излучений, которую описывает маска, ограничена внеполосными сигнальными излучениями и простирается от границы канала (верхней и нижней) до значений отстроек, составляющих ± 250 % полосы канала, если отсчет отстроек ведется от центральной частоты канала, или ± 200 %, если отсчет отстроек ведется от границ канала. Однако это имеет место не все-

гда. Расчет границ области внеполосных излучений может быть произведен, используя [22, 23]. Границы могут быть указаны в технической спецификации, как это сделано для подвижных средств связи в [18, 20].

При анализе систем, где осуществляется управление мощностью излучения, полагают, что изменение мощности в полосе передатчика на x дБ посредством управления мощностью изменяет уровни внеполосных излучений также на x дБ.

Для частот, лежащих за пределами полосы, занимаемой основным и внеполосным излучением, применяют требования к побочным излучениям. Предельные уровни побочных излучений установлены в [22, 24]. Однако РЭС, работающие в полосах совместного использования, как правило, не создают друг другу помех на частотах побочных излучений, представленных гармониками или субгармониками основной частоты передатчика, поскольку побочные излучения такого вида обычно лежат за пределами полосы частот совместного использования. Помехи, связанные с побочными излучениями указанного вида, могут появиться только от передатчиков, частоты которых не принадлежат анализируемой полосе совместного использования. От передатчиков, работающих в совместно используемой полосе частот, помехи возможны в виде комбинационных излучений. Вне зависимости от вида побочного излучения при оценке ЭМС для ситуации наихудшего случая ориентируются на установленные нормы побочных излучений.

Еще один вид излучений, широкополосный шум передатчика, может существенно влиять на качество приема полезной информации, если антенны передатчика-источника помехи и приемника-жертвы находятся на относительно небольшом расстоянии. Область шумовых излучений шире области внеполосных излучений и простирается за границы, установленные для внеполосных излучений. Оценить влияние шумовых излучений на качество приема полезного сигнала можно, если знать спектральную плотность мощности шума в зависимости от отстройки от центральной (или граничной) частоты канала. Спецификации на технические характеристики передатчиков современных систем связи не всегда предоставляют такую информацию. Для GSM эту информацию можно получить, используя [13], где маски спектров излучений представлены в области более широкой, чем занимают внеполосные излучения. Для системы TETRA в [25] представлены граничные значения уровней широкополосного шума в зависимости от отстройки от несущей частоты. В спецификации для систем 4G и 5G информации о широкополосном шуме не содержится и предлагается за пределами области внеполосных излучений рассматривать только побочные излучения.

Параметры и характеристики РПУ, влияющие на ЭМС

Качество приема полезных сигналов зависит не только от уровней мешающих сигналов, но и от того, как приемник реагирует на них, т. е. от параметров и характеристик РПУ, определяющих реакцию приемника на внешние помехи. Общие параметры приемников, определяющие их поведение в присутствии внешних помех вне зависимости от технологии, в которой используются РПУ, представлены в [26–28]. Более детальные характеристики, связанные с конкретной радиотехнологией, приведены в документах ETSI, представляющих спецификации передающего и приемного оборудования базовых станций и пользователей (мобильных станций).

Параметры РПУ, влияющие на его способность качественно принимать полезный сигнал в присутствии внешних помех, можно разбить на две группы: параметры, связанные с линейным прохождением помех на выход РПУ, и параметры, описывающие нелинейные эффекты в приемнике при воздействии на него мощных мешающих сигналов.

Параметрами линейных каналов приема являются: для основного канала приема (ОКП) – рабочая частота приемника и чувствительность, а для линейных побочных каналов приема (ПКП) – частота и степень подавления помех по ПКП. Для ОКП важным параметром служит характеристика избирательности канала, определяющая степень подавления помех, частоты которых находятся за пределами полосы пропускания ОКП.

Информацию о чувствительности приемника можно получить из технических спецификаций соответствующих радиотехнологий. Например, для базовых станций мобильных средств, использующих технологию UMTS, из [29, 30] а для базовых станций, использующих технологию E-UTRA (LTE), из [31]. Аналогичную информацию о мобильных средствах можно получить для UMTS из [32, 33], а для E-UTRA из [34]. В технических спецификациях обычно указаны требования к избирательности РПУ по соседнему (смежному) каналу. Иногда приводятся требования к избирательности по второму соседнему каналу, т. е. неосновному каналу смежному с соседним каналом.

Однако этой информации в общем случае недостаточно для анализа ЭМС. Требуется более подробные данные об избирательности РПУ по ОКП. Построить математическую модель характеристики избирательности РПУ по ОКП можно, если известны ширина полосы пропускания приемника по ОКП и коэффициент прямоугольности амплитудно-частотной характеристики ОКП [35]. Эти данные можно получить из технического описания конкретного типа приемника.

Что касается побочных каналов приема, то, учитывая относительно небольшую ширину рабочих

полос частот, совместно используемых мобильными СПС и другими средствами гражданского назначения (см. таблицу 2), из всего множества ПКП значение имеет зеркальный канал. Другие ПКП лежат за пределами рассматриваемой полосы частот. Подавление помехи по зеркальному каналу можно получить из спецификации РПУ.

Из нелинейных эффектов в РПУ практический интерес при анализе ЭМС представляют эффекты блокирования и интермодуляции. В технических спецификациях радиотехнологий характеристики блокирования представлены таблицами, в которых указан максимально допустимый уровень мощности мешающего сигнала при определенной отстройке частоты помехи от рабочей частоты РПУ и при уровне полезного сигнала, превышающем чувствительность приемника на x дБ, например, на 3 дБ (GSM) или на 6 дБ (UMTS и E-UTRA). В качестве примеров в таблицах 4–6 представлена информация, которую можно получить из спецификаций радиотехнологий, относительно характеристик блокирования приемников базовых станций. Аналогичную информацию можно получить и для приемников пользователя из [32–34].

Требования к характеристикам блокирования РПУ, приведенные в технических спецификациях радиотехнологий, применимы как к сигналам, спектр которых занимает некоторую сплошную полосу частот, так и к сигналам, составленным из частотных субблоков, разделенных некоторыми частотными интервалами. В последнем случае требования к характеристике блокирования распространяются на любой промежуток между субблоками, если он удовлетворяет некоторым условиям. Для помех, располагающихся вне полосы частот, занимаемой БС, отстройка мешающего сигнала отсчитывается от нижнего/верхнего (что ближе) края этой полосы. Для помех, попадающих в интервалы между субблоками, отстройка отсчитывается от верхнего/нижнего частотного края субблока.

ТАБЛИЦА 4. Характеристики блокирования приемников систем связи GSM [13]

TABLE 4. Blocking Characteristics of the GSM receivers [13]

Отстройка по частоте	GSM 400, GSM 900, дБм		GSM (DCS) 1800 & PCS 1900, дБм	
	МС	БС	МС	БС
$600 \text{ кГц} \leq f-f_0 < 800 \text{ кГц}$	-38	-26	-43	-35
$800 \text{ кГц} \leq f-f_0 < 1.6 \text{ МГц}$	-33	-16	-43	-25
$1.6 \text{ МГц} \leq f-f_0 < 3 \text{ МГц}$	-23	-16	-33	-25
$3 \text{ МГц} \leq f-f_0 $	-23	-13	-26	-25

Примечание: МС – мобильная станция, БС – базовая станция; f_0 – частота настройки приемника; f – частота помехи (немодулированная несущая)

ТАБЛИЦА 5. Требования к характеристике блокирования для приемников БС глобальной сети (UMTS, FDD) [30]

TABLE 5. Blocking Performance Requirement for Receivers of Wide Area BS (UMTS, FDD) [30]

Рабочая полоса	Центральная частота мешающей станции, МГц	Средняя мощность		Минимальная отстройка помехи, МГц	Тип мешающего сигнала
		помехи, дБм	сигнала, дБм		
III	1710-1785	-40	-115	±10	сигнал WCDMA
	1690-1710 1785-1805	-40	-115	±10	сигнал WCDMA
	1-1690 1805-12750	-15	-115	-	немодулированная несущая (CW)

ТАБЛИЦА 6. Требования к характеристике блокирования для приемников БС глобальной сети (E-UTRA, FDD) [31]

TABLE 6. Blocking Performance Requirement for Receivers of Wide Area BS (E-UTRA, FDD) [31]

Рабочая полоса	Центральная частота мешающей станции, МГц	Средняя мощность		Минимальная отстройка помехи	Тип мешающего сигнала
		помехи, дБм	сигнала		
25	1830-1930	-43	$P_{REF} + 6 \text{ дБ}$	См. табл. 7	E-UTRA
	1-1830 1930-12750	-15		-	немодулированная несущая (CW)

Примечание: P_{REF} – эталонная чувствительность приемника базовой станции. Зависит от ширины полосы канала.

ТАБЛИЦА 7. Мешающие сигналы, определяющие характеристику блокирования БС E-UTRA

TABLE 7. Interfering Signals for E-UTRA BS Blocking Performance Requirement

Ширина полосы канала E-UTRA, МГц	Минимальная отстройка помехи, МГц	Тип мешающего сигнала
1,4	±2,1	1,4 МГц E-UTRA
3,0	±4,5	3 МГц E-UTRA
5,0	±7,5	5 МГц E-UTRA
10	±7,5	5 МГц E-UTRA
15	±7,5	5 МГц E-UTRA
20	±7,5	5 МГц E-UTRA

Для БС систем 4G технологии LTE (E-UTRA) характеристика блокирования, представленная в таблице 6, рассчитана для случая, когда помеха находится в рабочей полосе и ее отстройка не менее значений, указанных в таблице 7. Это значит, что данную характеристику можно использовать относительно помех, попадающих в частотный интервал между субблоками, если он, по крайней мере, в два раза больше этих значений. Уровень мешающего сигнала, указанный в таблицах, может быть использован в качестве порогового при оценке эффекта блокирования РПУ.

Для базовых станций 3G (UMTS), работающих со спектром, представленным не соприкасающимися субблоками, требования к характеристике блокирования распространяются на интервалы между субблоками, если их размер составляет, по меньшей мере, 15 МГц. Отстройка помехи от верхнего/нижнего частотного края субблока в этом случае составляет $-7,5 \text{ МГц}/+7,5 \text{ МГц}$ соответственно.

Если при имеющем место разнесении частот между передатчиком-источником помехи и приемником-жертвой, которое попадает в интервалы, указанные в приведенных таблицах, помеха на входе РПУ превышает этот порог, то имеет место недопустимое снижение качества приема полезного сигнала. Если уровни мешающего сигнала и порога выражены, например, в дБм (или в дБВт), то минимально необходимое подавление помехи (в дБ) равно разности этих уровней.

Что касается интермодуляции, то достаточно удобным параметром, позволяющим оценить уровень интермодуляционной помехи, приведенной к входу приемника, является точка пересечения для интересующего порядка интермодуляции, отнесенная к входу приемника. В технических спецификациях радиотехнологий в разделе, где представлены характеристики приемников, информация о точках пересечения, как правило, отсутствует. Во многих случаях ее можно получить непосредственно из спецификаций на конкретное радиоприемное устройство. В спецификациях радиотехнологий приводится информация об интермодуляционной характеристике РПУ для двухсигнальной интермодуляции 3-го порядка. Информация представлена значениями уровней полезного сигнала и двух мешающих сигналов с отстройками, при которых интермодуляционная помеха, возникающая на частоте настройки приемника, не снижает качества работы РПУ ниже некоторого установленного уровня.

Эта информация, по существу, определяет точку на характеристике избирательности РПУ по интермодуляции 3-го порядка, измеренной 3-сигнальным методом. Характеристики избирательности по интермодуляции являются параметрическими и для систем разных поколений используют разные параметры для их описания. В системах GSM параметром является снижение отношения сигнал/шум на входе РПУ из-за интермодуляционной помехи. Предельное значение снижения определяется уровнем интермодуляционной помехи, при котором качество приема полезного сигнала заданного уровня в присутствии помехи будет таким же, как качество приема полезного сигнала с уровнем равным чувствительности приемника в отсутствие внешней помехи. Для UMTS максимально допустимый уровень интермодуляционной помехи определяется пороговым значением BER, а для E-UTRA – допустимым значением пропускной способности канала. В спецификациях радиотехнологий максимально допустимый уровень интер-

модуляционной помехи определен через мощности мешающих сигналов и их положение на частотной оси относительно краев полосы занимаемой сигналом или краев субблоков, если сигнал составлен из субблоков, разделенных частотными интервалами, а внешние сигналы, образующие интермодуляционную помеху попадают в какой-то из этих интервалов. В последнем случае размер интервала должен быть таким, чтобы внешние сигналы могли в нем разместиться, не попадая на субблоки, составляющие полезный сигнал, а образуемые ими продукты находились в полосах этих блоков. В таблицах 7–9 представлены некоторые интермодуляционные характеристики приемников БС систем UMTS и E-UTRA.

ТАБЛИЦА 8. Интермодуляционная характеристика приемников БС глобальной сети UMTS (FDD) [30]

TABLE 8. Intermodulation Performance Requirement for UMTS Wide Area BS Receivers (FDD) [30]

Рабочая полоса	Средняя мощность помех, дБм	Отстройка, МГц	Тип мешающего сигнала
Все полосы	-48	±10	Немодулированная несущая (CW)
	-48	±20	Сигнал WCDMA

ТАБЛИЦА 9. Интермодуляционная характеристика приемников БС сети E-UTRA (FDD) [31]

TABLE 9. Intermodulation Performance Requirement for E-UTRA BS Receivers (FDD) [31]

Тип сети БС	Средняя мощность сигнала, дБм	Средняя мощность помехи, дБм	Тип мешающего сигнала
Глобальная	$P_{REF} + 6$ дБ	-52	См. таблицу 10
Локальная	$P_{REF} + 6$ дБ	-44	
Домашняя	$P_{REF} + 6$ дБ	-36	

Оценить степень опасности двухсигнальной интермодуляционной помехи третьего порядка, используя информацию о характеристике интермодуляции, представленную в спецификациях радиотехнологий, можно следующим образом.

Пусть S и N , соответственно, мощность полезного сигнала на входе РПУ и мощность собственного шума приемника, приведенная к его входу. Обе мощности выражены в децибелах относительно милливатта. Минимальный уровень сигнала на входе РПУ, при котором в отсутствие внешних помех обеспечивается требуемое качество приема, соответствует чувствительности приемника, P_R , т. е. $S = P_R$. Отношение сигнал/шум, приведенное к входу приемника, в этом случае составит (P_R/N) , дБ. Пусть на вход приемника поступает сигнал S_1 (дБм) который на x дБ превышает чувствительность приемника. Теперь допустимый уровень шума N_1 , дБм, обусловленный интермодуляционной помехой и собственным шумом приемника, не снижающий качества приема полезного сигнала, может быть на x дБ выше, чем уровень шума в отсутствие помехи. Дей-

ствительно, если качество приема соответствует отношению (P_R/N) , дБ, и $S_1 = P_R + x$, а $N_1 = N + x$, то:

$$(S_1/N_1)[\text{дБ}] = S_1 - N_1 = (P_R + x) - (N + x) = P_R - N = (P_R/N)[\text{дБ}].$$

ТАБЛИЦА 10. Тип мешающих сигналов для приемников БС сети E-UTRA (FDD) [31]

TABLE 10. Interfering Signals for E-UTRA BS Receiver Intermodulation Requirement (FDD) [31]

Ширина полосы канала, МГц	Отстройка помехи, МГц	Тип мешающего сигнала
1,4	±2,1	Немодулированная несущая (CW)
	±4,9	Сигнал 1,4МГц E-UTRA
3	±4,5	Немодулированная несущая (CW)
	±10,5	Сигнал 3МГц E-UTRA
5	±7,5	Немодулированная несущая (CW)
	±17,5	Сигнал 5МГц E-UTRA
10	±7,375	Немодулированная несущая (CW)
	±17,5	Сигнал 5МГц E-UTRA
15	±7,25	Немодулированная несущая (CW)
	±17,5	Сигнал 5МГц E-UTRA
20	±7,125	Немодулированная несущая (CW)
	±17,5	Сигнал 5МГц E-UTRA

Обозначим n и n_1 уровни шума, соответствующие N и N_1 , но выраженные в милливаттах. Учитывая, что $N_1 - N = x$, найдем:

$$(n_1/n) = 10^{x/10} \text{ или } n_1 = n \cdot 10^{x/10}.$$

Максимальный допустимый уровень интермодуляционной помехи $PIM3_{\text{маждоп}}$, мВт, соответствует допустимому приращению уровня шума n :

$$PIM3_{\text{маждоп}} = n_1 - n = n(10^{x/10} - 1)$$

или, записывая в децибельном виде:

$$PIM3_{\text{маждоп}} = N + 10\lg(10^{x/10} - 1), \quad (1)$$

где $PIM3_{\text{маждоп}}$ максимально допустимый уровень интермодуляционной помехи, выраженный в дБм.

Относительно собственного шума приемника имеем, дБ:

$$\Delta_{\text{маждоп}} = PIM3_{\text{маждоп}} - N = 10\lg\left(10^{x/10} - 1\right). \quad (2)$$

С другой стороны, если два сигнала с частотами f_1 и f_2 образуют интермодуляционную помеху вида $f_{0R} = 2f_1 - f_2$, где f_{0R} – частота настройки приемника,

то уровень этой помехи PIM^*3 , дБм, приведенный к входу приемника составит:

$$PIM^*3 = 2I_1 + I_2 + L_p, \quad (3)$$

где I_1 и I_2 – уровни сигналов на частотах f_1 и f_2 , соответственно (дБм), а L_p – потери преобразования при формировании интермодуляционной помехи, (дБ).

Если $I_1 = I_2 = I$, где I – уровень мешающих сигналов, приведенный в спецификациях, соответствующих радиотехнологий, образующих максимально допустимый уровень интермодуляционной помехи $PIM3_{\text{маждоп}}$, то из (1 и 3) получим:

$$PIM3_{\text{маждоп}} = 3I + L_p = N + 10\lg(10^{x/10} - 1).$$

Отсюда найдем:

$$L_p = N + 10\lg\left(10^{\frac{x}{10}} - 1\right) - 3I. \quad (4)$$

В стандартах ETSI превышение мешающих сигналов, образующих интермодуляционную помеху предельно допустимого уровня над заданным уровнем полезного сигнала, называют коэффициентом подавления интермодуляции IMR (от англ. яз. Intermodulation Rejection), дБ:

$$IMR = I - (P_R + x),$$

откуда

$$I = IMR + (P_R + x).$$

Подставляя это выражение в (4), а (4) в (3), получим:

$$PIM^*3 = 2I_1 + I_2 - 3(IMR + P_R + x) + N + 10\lg\left(10^{\frac{x}{10}} - 1\right). \quad (5)$$

Относительно собственного шума приемника (дБ) из (5) имеем:

$$PIM3 = 2I_1 + I_2 - 3(IMR + P_R + x) + 10\lg\left(10^{\frac{x}{10}} - 1\right). \quad (6)$$

Интермодуляционная помеха допустима, если $PIM3 \leq \Delta_{\text{маждоп}}$, или

$$2I_1 + I_2 - 3(IMR + P_R + x) \leq 0. \quad (7)$$

Выражение (6) позволяет оценить мощность интермодуляционной помехи относительно мощности собственного шума приемника, дБ, а (7) позволяет понять, является ли эта помеха опасной.

Список используемых источников

1. Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Выпуск 1. Общие вопросы ЭМС. Межсистемные помехи: Пер. с англ. М.: Советское радио, 1977. 348 с.
2. Князев А.Д., Пчелкин В.Ф. Проблемы обеспечения совместной работы радиоэлектронной аппаратуры. М.: Советское радио, 1971. 200 с.
3. Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1984. 336 с.
4. Виноградов Е.М., Винокуров В.И., Харченко И.П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Л.: Судостроение, 1986. 264 с.
5. Владимирова В.И., Докторов А.Л., Елизаров Ф.В. и др. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / Под ред. Н.М. Царькова. М.: Радио и связь, 1985. 272 с.

Заключение

На основе анализа отечественной и зарубежной литературы, а также обзора стандартов на технологии, используемые СПС, собраны и представлены характеристики и параметры современных РЭС СПС, которые потребуются при анализе электромагнитной совместимости РЭС в условиях совместного использования полос частот.

Анализ показал, что, хотя большинство необходимой информации можно получить из стандартов ETSI и рекомендаций МСЭ, остаются некоторые параметры, особенно в части РПУ, которые необходимы для анализа, но могут быть получены только из спецификаций конкретных используемых РПУ. Например, характеристики блокирования РПУ современных систем связи (за исключением систем GSM) и интермодуляционные характеристики приведены в одной точке, соответствующей ситуации наихудшего случая. При частотно-территориальном планировании это позволяет с высокой вероятностью обеспечить ЭМС вводимых в эксплуатацию и функционирующих РЭС, особенно, когда РЭС совместно используют некоторую полосу частот, но не гарантирует высокую эффективность использования этой полосы частот.

Показано также, что при совместном использовании некоторой полосы частот основными источниками взаимных помех являются РЭС, работающие в этой полосе. Относительно небольшой разнос их рабочих частот требует анализа влияния не только помех по линейным каналам приема, но и возможных нелинейных эффектов в РПУ, особенно при небольшом территориальном разнесении РЭС.

Параметры, рассмотренные в работе, необходимы, но не достаточны для полной оценки ЭМС. Анализ ЭМС РЭС требует также информации об антенных системах, среде, в которой они работают, а также обоснованного выбора критериев ЭМС. Однако передатчики и приемники являются основными элементами, которые формируют и принимают сигналы в системах радиосвязи. Передатчики могут создавать помехи, а качество приема зависит не только от параметров поступающих помех, но и того, как на них реагирует РПУ. Это определяет актуальность рассмотрения параметров и характеристик этих устройств с точки зрения ЭМС.

6. Феоктистов Ю.А., Матасов В.В., Башурин Л.И., Селезнев В.И. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1988. 216 с.
7. Вахлаков В.Р., Рожков А.Г., Сосунов Б.В., Чернолес В.П., Школин Ю.Д. и др. Основы обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. СПб: ВАС, 1991. 207 с.
8. Бородич С.В. ЭМС наземных и космических радиолужб: критерии, условия, расчет. М.: Радио и связь, 1990. 272 с.
9. Быховский М.А. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем: учебное пособие. М.: Эко-Трендз, 2006. 376 с.
10. Быховский М.А. Основы управления использованием радиочастотного спектра: Обеспечение электромагнитной совместимости радиосистем. Том 2. М.: КРАСАНД, 2012. 552 с.
11. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.11.2019 № 1203-47 «Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторые постановления Правительства Российской Федерации».
12. ETSI TS 138 104 (2018-07). 5G; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 38 104 version 15.6.0 Release 15).
13. ETSI EN 300 910 (2000-11). Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception (GSM 05.05 version 8.5.1 Release 1999).
14. ETSI TS 137 104 (2018-07). Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G; NR, E-UTRA, UTRA and GSM/EDGE; Multi-Standard Radio (MSR) Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 37.104 version 15.7.0 Release 15).
15. Решение Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 30.06.2015 № 15-33-06-2 «О выделении полос радиочастот для совместного использования радиоэлектронными средствами подвижной радиосвязи».
16. SEAMCAT Handbook. Copenhagen: ECO, January 2010.
17. Рекомендация МСЭ-R SM.1541-5 (08/2013). Нежелательные излучения в области внеполосных излучений.
18. Рекомендация МСЭ-R M.1580-5 (03/2012). Общие характеристики нежелательных излучений базовых станций, использующих наземные интерфейсы IMT-2000.
19. Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 01.04.2016 № 132 «О внесении изменений в Правила применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи. Часть VI. Правила применения оборудования систем базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE и его модификации LTE-Advanced, утвержденные приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 06.06.2011 № 129».
20. Рекомендация МСЭ-R M.1581-5 (02/2014). Общие характеристики нежелательных излучений подвижных станций, использующих наземные интерфейсы IMT-2000.
21. Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций от 21.11.2016 № 580 «О внесении изменений в Правила применения абонентских терминалов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE и его модификации LTE-Advanced, утвержденные приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 06.06.2011 № 128».
22. Нормы 18-13. «Радиопередающие устройства гражданского назначения. Требования на допустимые уровни побочных излучений» // Выписка из решения Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 24.05.2013 № 13-18-03. Москва, 2013.
23. Rec. ITU-R SM.1539-1 (2001-2002). Variation of the boundary between the out-of-band and spurious domains required for application of Recommendations ITU-R SM.1541 and ITU-R SM.329.
24. Рекомендация МСЭ-R SM.329-12 (09/2012). Нежелательные излучения в области побочных излучений.
25. ETSI EN 300 392-2 (2000-12). Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI).
26. ECC Rec. (02)01 (02/2002). Specification on Reference Receiver Performance Parameters.
27. ECC Report 310 (January 2020). Evaluation of receiver parameters and the future role of receiver characteristics in spectrum management, including in sharing and compatibility studies.
28. ECC Report 127 (October, 2008). The Impact of Receiver Standards on Spectrum Management.
29. ETSI TS 125 105 (2007-06). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (TDD) (3GPP TS 25.105 version 15.0.0 Release 15).
30. ETSI TS 125 104 (2005-09). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD) (3GPP TS 25.104 version 15.5.0 Release 15).
31. ETSI TS 136 104 (2016-04). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 11.17.0 Release 11).
32. ETSI TS 125 102 (2011-01). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) radio transmission and reception (TDD) (3GPP TS 25.102 version 9.7.0 Release 9).
33. ETSI TS 125 101 (2009-03). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD) (3GPP TS 25.101 version 6.19.0 Release 6).
34. ETSI TS 136 101 (2011-06). LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 11.25.0 Release 11).
35. Виноградов Е.М. Анализ электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. 300 с.

* * *

Characteristics and Parameters of Land Mobile Service Units Necessary for EMC Analysis in Shared Frequency Bands: Analytical Survey

B. Antipin¹, E. Vinogradov¹

¹The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunication,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Article info

DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-2-6-18

Received 15th November 2019

Accepted 15th June 2020

For citation: Antipin B., Vinogradov E. Characteristics and Parameters of Land Mobile Service Units Necessary for EMC Analysis in Shared Frequency Bands: Analytical Survey. *Proc. of Telecom. Universities*. 2020;6(2):6–18. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-2-6-18

Abstract: *The analysis of frequency bands allocated among radio services in the Table of frequency allocations reveals that every band is utilized by several different radio services. The sharing of frequency bands by radio services requires that electromagnetic compatibility of the radio electronic equipment belonging to these services should be ensured. Currently there is a rapid development of land mobile radio communication systems. There are considered the basic parameters of radio transmitters and radio receivers belonging to ATP systems, which are necessary for the electromagnetic compatibility analyzing of such systems between themselves and with other systems sharing a certain frequency band. We can observe ways of using some characteristics.*

Keywords: *land mobile service, shared frequency bands, electromagnetic compatibility, radio communication service, parameters and characteristics of transmitters and receivers.*

References

1. White D. *Electromagnetic Compatibility of Electronic Equipment and Unintentional Interference. Iss. 1. General EMC Issues. Intersystem Interference*. Moscow: Sovetskoye radio Publ.; 1977. 348 p. (in Russ.)
2. Knyazev A.D., Pchelkin V.F. *Problems of Ensuring the Joint Operation of Electronic Equipment*. Moscow: Sovetskoye radio Publ.; 1971. 200 p. (in Russ.)
3. Knyazev A.D. *Elements of the Theory and Practice of Ensuring Electromagnetic Compatibility of Electronic Equipment*. Moscow: Radio i svyaz Publ.; 1984. 336 p. (in Russ.)
4. Vinogradov E.M., Vinokurov V.I., Kharchenko I.P. *Electromagnetic Compatibility of Electronic Equipment*. Leningrad: Sudostroyeniye Publ.; 1986. 264 p. (in Russ.)
5. Vladimirov V.I., Doktorov A.L., Elizarov F.V., et al. *Electromagnetic Compatibility of Radio-Electronic Means and Systems*. Ed. N.M. Tsarkov. Moscow: Radio i svyaz Publ.; 1985. 272 p. (in Russ.)
6. Feoktistov Yu.A., Matasov V.V., Bashurin L.I., Seleznev V.I. *Theory and Methods for Assessing the Electromagnetic Compatibility of Electronic Equipment*. Moscow: Radio i svyaz Publ.; 1988. 216 p. (in Russ.)
7. Vakhlov V.R., Rozhkov A.G., Sosunov B.V., Chernoles V.P., Shkolin Yu.D., et al. *Fundamentals of Ensuring Electromagnetic Compatibility of Electronic Equipment*. St. Petersburg: Telecommunications Military Academy Publ.; 1991. 207 p. (in Russ.)
8. Borodich S.V. *EMC of Terrestrial and Space Radio Pools: Criteria, Conditions, Calculation*. Moscow: Radio i svyaz Publ.; 1990. 216 p. (in Russ.)
9. Bykhovskiy M.A. *Radio Spectrum Management and Electromagnetic Compatibility of Radio Systems*. Moscow: Yeko-Trendz Publ.; 2006. 376 p. (in Russ.)
10. Bykhovskiy M.A. *Fundamentals of Management of the Use of the Radio Frequency Spectrum: Ensuring the Electromagnetic Compatibility of Radio Systems. Vol. 2*. Moscow: KRASAND Publ.; 2012. 552 p. (in Russ.)
11. Decree of the Government of the Russian Federation of November 18, 2019 No. 1203-47 "On Approval of the Table of Distribution of Radio Frequency Bands Between Radio Services of the Russian Federation and Recognition of Certain Decisions of the Government of the Russian Federation". (in Russ.)
12. ETSI TS 138 104. *5G; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 38 104 version 15.6.0 Release 15)*. July 2018.
13. ETSI EN 300 910. *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception (GSM 05.05 version 8.5.1 Release 1999)*. November 2000.

14. ETSI TS 137 104. *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G; NR, E-UTRA, UTRA and GSM/EDGE; Multi-Standard Radio (MSR) Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 37.104 version 15.7.0 Release 15)*. July 2018.
15. *Decision of the State Commission on Radio Frequencies under the Ministry of Telecom and Mass Communications of the Russian Federation of June 30, 2015 No. 15-33-06-2 "On the Allocation of Radio Frequency Bands for Sharing Radio-Electronic Means of Mobile Radio Communication"*. (in Russ.)
16. *SEAMCAT Handbook*. Copenhagen: ECO; January 2010.
17. Rec. ITU-R SM.1541-5. *Unwanted emissions in the out-of-band domain*. August 2013.
18. Rec. ITU-R M.1580-5. *Generic unwanted emission characteristics of base stations using the terrestrial radio interfaces of IMT-2000*. March, 2012.
19. Order of the Ministry of Telecom and Mass Communications of the Russian Federation dated 01.04.2016 No. 132 "On Amending the Rules for the Application of Base Stations and Repeaters of Mobile Radiotelephone Networks. Part VI. Rules for the use of equipment of base station systems and repeaters of mobile radio-telephone networks of LTE standard and its modifications LTE-Advanced, approved by order of the Ministry of Telecom and Mass Communications of the Russian Federation dated 06.06.2011 No. 129". (in Russ.)
20. Rec. ITU-R M.1581-5. *Generic unwanted emission characteristics of mobile stations using the terrestrial radio interfaces of IMT-2000*. February 2014.
21. Order of the Ministry of Telecommunications and Mass Communications dated November 21, 2016 No. 580 "On Amending the Rules for the Use of Subscriber Terminals of Mobile Radiotelephone Communication Networks of the LTE Standard and its Modifications LTE-Advanced, approved by Order of the Ministry of Telecom and Mass Communications of the Russian Federation dated 06.06.2011 No. 128". (in Russ.)
22. Standards 18-13. "Radio transmitting devices for civilian use. Requirements for acceptable levels of spurious emissions". *Extract from the decision of the State Commission on Radio Frequencies under the Ministry of Telecom and Mass Communications of the Russian Federation dated 05.24.2013 No. 13-18-03*. Moscow 2013. (in Russ.)
23. Rec. ITU-R SM.1539-1. *Variation of the boundary between the out-of-band and spurious domains required for application of Recommendations ITU-R SM.1541 and ITU-R SM.329*. 2001-2002.
24. Rec. ITU-R SM.329-12. *Unwanted emissions in the spurious domain*. September 2012.
25. ETSI EN 300 392-2. *Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI)*. December 2000.
26. ECC Rec. (02)01. *Specification on Reference Receiver Performance Parameters*. February 2002.
27. ECC Report 310. *Evaluation of receiver parameters and the future role of receiver characteristics in spectrum management, including in sharing and compatibility studies*. January 2020.
28. ECC Report 127. *The Impact of Receiver Standards on Spectrum Management*. October 2008.
29. ETSI TS 125 105. *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (TDD) (3GPP TS 25.105 version 15.0.0 Release 15)*. June 2007.
30. ETSI TS 125 104. *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD) (3GPP TS 25.104 version 15.5.0 Release 15)*. September 2005.
31. ETSI TS 136 104. *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 11.17.0 Release 11)*. April 2016.
32. ETSI TS 125 102. *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) radio transmission and reception (TDD) (3GPP TS 25.102 version 9.7.0 Release 9)*. January 2011.
33. ETSI TS 125 101. *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD) (3GPP TS 25.101 version 6.19.0 Release 6)*. March 2009.
34. ETSI TS 136 101. *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 11.25.0 Release 11)*. June 2011.
35. Vinogradov E.M. *Analysis of Electromagnetic Compatibility of Electronic Equipment*. St. Petersburg: Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" Publ.; 2010. 300 p. (in Russ.)

Сведения об авторах:

АНТИПИН
Борис Маврович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, boris_antipin@mail.ru

ВИНОГРАДОВ
Евгений Михайлович

кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник исследовательской лаборатории радиоконтроля и электромагнитной совместимости Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, vinog1936@mail.ru