

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЧС

Особенности построения и ЭМС-характеристики будущего оборудования сетей мобильной связи 5G

В.О. Тихвинский, заместитель генерального директора АО «НИИТС» по инновационным технологиям, д.э.н., проф. МТУСИ; vtiiir@mail.ru

УДК 621.391.82

Аннотация. Для решения большого количества задач, связанных с будущим внедрением мобильной связи пятого поколения, таких как регулирование использования радиочастотного спектра (РЧС), лицензирования, разработки радиооборудования и решения межсистемных задач электромагнитной совместимости (ЭМС), необходимо знание технических и ЭМС-характеристик, признаваемых ведущими международными организациями связи: МСЭ, CEPT, 3GPP, ETSI и др. В 2017 г. данная задача была решена в рамках деятельности рабочих групп МСЭ и 3GPP, однако эти характеристики различаются по объему охвата параметров и их количественному значению. Приводится сравнительный анализ технических и ЭМС-характеристик радиооборудования 5G и причин, вызвавших эти различия.

Ключевые слова: МСЭ, 3GPP, ЭМС, 5G RAN, 5G Core, IMT-2020.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших проблем текущего этапа развития сетей мобильной связи пятого поколения (5G) является создание первых прототипов оборудования, соответствующих требованиям международных организаций связи. Опубликованные МСЭ и Партнерским проектом 3GPP требования к техническим и ЭМС-характеристикам радиооборудования (базового и абонентского) сети радиодоступа 5G RAN [1–4] различаются как количественными характеристиками, так и целями их определения. Так, МСЭ в феврале 2017 г. при формировании требований к техническим и ЭМС-характеристикам радиооборудования сетей 5G руководствовался необходимостью проведения исследований администрациями связи по возможностям выделения РЧС в диапазонах частот 24,24–86 ГГц, определенных Резолюцией COM 6/20 (ВКР-15) [5].

Партнерский проект 3GPP в рамках Релиза 15 в декабре 2017 г. опубликовал Технические спецификации, в которых были установлены технические и ЭМС-характеристики радиооборудования для фазы I сетей 5G, исходя из возможностей реализации этих требований вендорами и последующего их тестирования на соответствие сертификационными центрами. Эти характеристики определены до уровня L1/L2 для неавтономного режима построения архитектуры сети с опцией 3 [5] для бизнес-модели услуг eMBB (широкополосный интернет). Окончательная версия требований к техническим и ЭМС-характеристикам радиооборудования для фазы I сетей 5G RAN будет опубликована в июне 2018 г. после завершения пленарного собрания рабочей группы RAN 3GPP.

Главной особенностью технических и ЭМС-

характеристик базовых и абонентских станций 5G стала необходимость распространить данные требования к этим характеристикам на миллиметровый диапазон волн (ММДВ). Поэтому рассмотрим характеристики радиооборудования 5G в ММДВ.

ТРЕБОВАНИЯ МСЭ-Р К ТЕХНИЧЕСКИМ И ЭМС-ХАРАКТЕРИСТИКАМ РАДИООБОРУДОВАНИЯ 5G

До ВКР-19 администрации связи должны провести исследования доступности спектра для совместного использования и совместимости в частотных диапазонах, определенных Резолюцией COM 6/20 (ВКР-15) [5]:

- 24,25–27,5; 37–40,5; 42,5–43,5; 45,5–47; 47,2–50,2; 50,4–52,6; 66–76 и 81–86 ГГц, которые будут распределены мобильной подвижной службе на первичной основе; и в полосах
- 31,8–33,4; 40,5–42,5 и 47–47,2 ГГц, которые требуют их дополнительного распределения мобильной подвижной службе на первичной основе.

Для проведения исследований были сформированы сценарии использования спектра в соответствии с техническими и ЭМС-характеристиками радиооборудования (базового и абонентского) сети радиодоступа 5G RAN.

Характеристики используемых режимов разделения каналов и значения ширины каналов показаны в табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает, что администрациями связи при исследовании доступности спектра для совместного использования и ЭМС-совместимости в планируемых частотных диапазонах будет рассматриваться частотный канал только с шириной 200 МГц.

Для развертывания 5G RAN IMT-2020 в диапазонах

Таблица 1

Характеристики режимов разделения каналов и значения ширины каналов

Параметры	5G RAN IMT-2020	
	Базовые станции	Абонентские терминалы
Метод разделения каналов	TDD	
Ширина частотного канала	200 МГц	
Ширина используемого сигнала	>90% от ширины частотного канала	

Таблица 2

Плотность размещения базовых и абонентских станций 5G RAN для различных сценариев развертывания и диапазонов частот

Параметры	Пригород		Вне помещений в городе	Внутри помещений
	Открытое пространство	В окружении строений		
Характеристики для БС (Плотность БС/Структура сот)				
Сетевая топология	0 или 1 БС/км ²	10 БС/км ²	30 БС/км ²	Внутри офиса: 120 × 50 × 3 м
Коэффициент повторения несущих частот	1	1	1	1
Характеристики для абонентских терминалов				
Доля использования терминалов в сценарии, %	5	5	95	
Плотность излучающих АТ на 1 км ²	30 АТ / км ²	100 АТ/км ²	Офис/дом/школа 3 АТ на БС	

Таблица 3

Типовые и ЭМС-характеристики базовых станций сети 5G RAN IMT-2020 в диапазонах 24,25–86 ГГц

№	Параметры	Базовые станции IMT-2020. Рабочий диапазон, ГГц		
		24,2533,4	3752,6	6686
Характеристики передатчика				
1	Динамический диапазон	0 дБ относительно выходной мощности БС		
2	Спектральная маска	Определена в табл. 5		
3	ACLR, дБ	27,5	25,5	23,5
4	Максимальная выходная мощность, дБм	≥ 34,5	≥ 32,5	≥ 30,5
5	Побочные излучения	–13 дБм/МГц общей излучаемой мощности (Note 1)		
Характеристики приемника				
1	Коэффициент шума, дБ	10	12	14
2	Избирательности по соседнему каналу ACS, дБ	23,5	22,5	21,5
3	Рабочий диапазон SINR	SINR _{MIN} 10 дБ / SINR _{MAX} 2230 дБ		

24,25–86 ГГц рассматриваются четыре сценария:

- точки доступа вне помещений в пригороде (Outdoor Suburban hotspot);
- точки доступа вне помещений для открытого пространства в пригороде (Outdoor suburban open space hotspot);

Таблица 4

Типовые и ЭМС-характеристики абонентских станций сети 5G RAN IMT-2020 в диапазонах 24,25–86 ГГц

№	Параметры	Базовые станции IMT-2020. Рабочий диапазон, ГГц		
		24,2533,4	3752,6	6686
Характеристики передатчика				
1	Динамический диапазон	63 дБ		
2	Спектральная маска	Определена в табл. 5		
3	ACLR, дБ	17	16	15
4	Максимальная выходная мощность, дБм	22	22	22
5	Побочные излучения	–13 дБм/МГц		
Характеристики приемника				
1	Коэффициент шума, дБ	10	12	14
2	Чувствительность	-	-	-
2	Избирательности по соседнему каналу ACS, дБ	22,5	21,5	20,5
3	Рабочий диапазон SINR	SINR _{MIN} 10 дБ / SINR _{MAX} 2230 дБ		

Таблица 5

Спектральные характеристики излучения передатчиков базовых и абонентских станций сети 5G RAN IMT-2020 в диапазонах 24,25–86 ГГц

Частотные расстройки от границы частотного канала	Мощность внеполосных и побочных излучений, дБм			Полоса измерения, МГц	
	БС	АТ ($P_{max} = 10/5/1$ дБм на ант. эл.)			
$0 \leq \Delta f < 20$ МГц	БС	–30	–32	–32	1
$20 \text{ МГц} \leq \Delta f < 400$ МГц	–5	–44,5	–40	–40	1
$\Delta f > 400$ МГц	–13	–38	–33	–33	1

* Ограничения побочных излучений в используемом частотном диапазоне.

Таблица 6

Частотные поддиапазоны приемников и передатчиков БС и АС сети радиодоступа 5G

Номера рабочих диапазонов	Рабочие диапазоны БС и АС, ГГц	Режим дуплекса
n257	26,500–29,500	TDD
n258	24,250–27,500	TDD
n260	37,000–40,000	TDD

Таблица 7

Характеристики БС по частотным диапазонам, компоновке модулей БС и антенным системам

Тип БС	Участок спектра, МГц	Конструктивное исполнение
1-С	FR1 (450–6000)	Раздельное исполнение антенны, фильтров передатчика и приемника, усилителя мощности и линейного усилителя приемника, других модулей
1-Н		Раздельное исполнение только композитной антенной решетки, совмещенной с радиораспределительной сетью антенны и модулем приемопередатчиков антенной решетки
1-О		Совместная компоновка композитной антенной решетки, радиораспределительной сети антенны и модуля приемопередатчиков антенной решетки
2-О	FR2 (24250–52600)	

- точки доступа вне помещений в городе (Outdoor Urban hotspot);
- точки доступа внутри помещений (Indoor).

В табл. 2 приведены данные по плотности размещения базовых и абонентских станций 5G RAN для различных сценариев развертывания и диапазонов частот. Анализ табл. 2 показывает, что плотность развертывания базовых станций (БС) будет зависеть от плотности застройки и размеров помещений и колебаться от 1 до 30 БС на км². Число излучающих абонентских терминалов (АТ) в одной соте также будет определяться плотностью застройки и размерами помещений и сможет изменяться от 30 до 100 АТ на км².

Типовые и ЭМС-характеристики базовых и абонентских станций сети 5G RAN IMT-2020 в диапазонах 24,25–86 ГГц приведены в табл. 3 и 4 соответственно. Здесь требования к нежелательным излучениям определены в терминах общей излучаемой мощности Total Radiated Power (TRP). Уровень помехового сигнала ACS, дБм, равен сумме коэффициента шума БС(АС) + NF + ACS + 4,7 дБ.

Анализ табл. 3 и 4 показывает, что характеристики приемника и передатчика базовой и абонентской станции будут зависеть от используемого участка диапазона частот.

Спектральные характеристики излучения передатчиков базовых и абонентских станций сети 5G RAN IMT-2020 в диапазонах 24,25–86 ГГц показаны в табл. 5.

Анализ табл. 5 показывает, что наиболее жесткие требования по уровню внеполосных и побочных излучений предъявляются к абонентскому оборудованию сетей радиодоступа 5G RAN, поэтому понадобятся сложные конструкторские решения по фильтрации этих излучений.

ТРЕБОВАНИЯ ПАРТНЕРСКОГО ПРОЕКТА 3GPP К ТЕХНИЧЕСКИМ И ЭМС-ХАРАКТЕРИСТИКАМ РАДИООБОРУДОВАНИЯ 5G

Требования Партнерского проекта 3GPP к техническим и ЭМС-характеристикам радиооборудования 5G были разработаны в Релизе 15 [2, 3, 6–8]. Главное их отличие от требований МСЭ заключается в ограничении на применение по частотному диапазону миллиметровых волн. Верхняя частота их применения ограничена пока частотой 40 ГГц, несмотря на то что рабочий диапазон определен полосой 24,250–52,600 ГГц (FR2).

В табл. 6 [7] показано, как разделены используемые частотные поддиапазоны приемников и передатчиков базовых и абонентских станций сети радиодоступа 5G.

Анализ частотных диапазонов сети радиодоступа 5G показывает, что ширина полос достигает 2,5–3 ГГц, ряд полос имеют частичное перекрытие, как диапазоны n257 и n258, а также разнос в 7,5 ГГц между диапазонами n258 и n260.

В сценариях 3GPP базовые станции 5G для задания требований и использования в сетях радиодоступа 5G

Таблица 8

Характеристики БС по зонам обслуживания

Зона обслуживания	Сценарий 5G для БС типа 1-С, 2-Н, 1-О и 2-О	Мин. потери соединения БС типа 1-С и 2-Н с АТ, дБ	Территориальный разнос между БС типа 1-О и 2-О и АТ, м
Широкая	Макросотовые (Macro Cell)	70	35
Средняя	Микросотовые (Micro Cell)	53	5
Локальная	Пикосотовые (Pico Cell)	45	2

Таблица 9

Мощность передатчиков базовых станций сетей радиодоступа 5G

Зона обслуживания	БС типа 1-С	БС типа 1-Н	БС типа 1-О и 2-О	Уровни ограничения ACLR БС
Широкая	Без ограничений сверху	Без ограничений сверху	Не определена	-15 дБм/МГц
Средняя	< 38 дБм	$\leq 38 \text{ дБм} + 10 \log(N_{\text{TXU, counted}})$	Не определена	-25 дБм/МГц
Локальная	< 24 дБм	$\leq 24 \text{ дБм} + 10 \log(N_{\text{TXU, counted}})$	Не определена	-32 дБм/МГц

Примечания. 1. ACLR (коэффициент утечки мощности соседнего канала) представляет собой отношение отфильтрованной средней мощности, центрированной по заданной частоте канала, к отфильтрованной средней мощности, центрированной на частоте соседнего канала.
2. NTXU, counted – число активных передатчиков.

Таблица 10

Максимальная конфигурация NRB для полосы канала передачи для FR2

Разнос между поднесущими (SCS) в ресурсном радиоблоке RB, кГц	Ширина полосы частотного канала 5G для FR2, МГц			
	50	100	200	400
60	66	132	264	Исследуется
120	32	66	132	264

классифицированы на четыре типа (1-С, 1-Н, 1-О, 2-О) по частотным диапазонам, компоновке модулей БС и антенным системам, а также по зонам обслуживания, которые делятся на широкие, средние и локальные (табл. 7 и 8).

Анализ табл. 7 и 8 позволяет сделать вывод, что на первом этапе развития сетей радиодоступа в диапазоне ММДВ будет производиться только один класс базовых станций (2-О) с широкой зоной обслуживания (до 35 м).

Мощностные характеристики основного и побочного излучений передатчиков базовых станций сетей радиодоступа 5G приведены в табл. 9 [7].

В радиоинтерфейсе 5G для фазы I принято, что в линии вниз будет использоваться технология CP-OFDM (Cyclic Prefix-Orthogonal Frequency Division Multiplexing – ортогональное частотное мультиплексирование с использованием циклического префикса). Для линии вверх, помимо CP-OFDM, будет задействована технология DFT-S-OFDM (Discrete Fourier Transform-Spread-Orthogonal Frequency Division Multiplexing – ортогональное частотное мультиплексирование с предобработкой

Таблица 14

Чувствительность приемников AC 5G

Номера рабочих диапазонов	Диапазон частот											
	SCS кГц	5 МГц (дБм)	10 МГц (дБм)	15 МГц (дБм)	20 МГц (дБм)	25 МГц (дБм)	30 МГц (дБм)	40 МГц (дБм)	50 МГц (дБм)	60 МГц (дБм)	80 МГц (дБм)	100 МГц (дБм)
n74 (FDD)	15		-96,3	-94,5	-93,3							
	30		-96,6	-94,6	-93,5							
	60		-97,0	-94,9	-93,7							
n77 ¹ (TDD)	15		-95,8	-94,0	-92,7			-89,6	-88,6			
	30		-96,1	-94,1	-92,9			-89,7	-88,7	-87,9	-86,6	-85,6
	60		-96,5	-94,4	-93,1			-89,9	-88,8	-88,0	-86,7	-85,7
n77 (3,8—4,2 ГГц) ¹ (TDD)	15		-95,3	-93,5	-92,2			-89,1	-88,1			
	30		-95,6	-93,6	-92,4			-89,2	-88,2	-87,4	-86,1	-85,1
	60		-96,0	-93,9	-92,6			-89,4	-88,3	-87,5	-86,2	-85,2
n78 ¹ (TDD)	15		-95,8	-94,0	-92,7			-89,6	-88,6			
	30		-96,1	-94,1	-92,9			-89,7	-88,7	-87,9	-86,6	-85,6
	60		-96,5	-94,4	-93,1			-89,9	-88,8	-88,0	-86,7	-85,7
n79 ¹ (TDD)	15							-89,6	-88,6			
	30							-89,7	-88,7	-87,9	-86,6	-85,6
	60							-89,9	-88,8	-88,0	-86,7	-85,7

Примечания: 1. Четыре порта приемной антенны Rx должны быть основой в указанном частотном диапазоне.
2. Передатчик должен быть определен с мощностью PUMAX [8].

вых станций сетей 5G в диапазоне ММДВ для ширины частотного канала 50 МГц показаны в табл. 11 [8].

Абонентские терминалы, которые будут работать в сетях 5G и для которых Партнерским проектом 3GPP заданы технические и ЭМС-характеристики, разделены на три класса по мощности и излучения передатчиков АТ. В табл. 12 приведены классы и значения мощности излучения передатчиков АТ в зависимости от частотных диапазонов поддиапазона частот FR1 (<6 ГГц) и допустимые отклонения этих значений от стандартных.

Анализ табл. 12 показывает, что класс 1 мощности АТ не определен, класс 2 определен только для диапазона n41 (2496–2690 МГц) с мощностью 26 дБм, а класс мощности 3 является классом мощности абонентского терминала 5G по умолчанию для любых диапазонов частот.

Данные о спектральной маске сигналов, излучаемых передатчиками АТ сети 5G, при различной отстройке АТ сети 5G от полосы частотного канала для различных уровней побочных излучений показаны в табл. 13.

Анализ табл. 13 показывает, что ослабление побочных излучений существенно зависит от частотной расстройки между границей частотного канала передатчика АТ сети 5G и частотной настройкой измерительного приемника. В зависимости от частотной расстройки уровни ослабления внеполосных и побочных излучений передатчика АТ сети 5G будут достигать значений –13 или –25 дБм.

В табл. 14 приведены примеры чувствительностей приемников абонентских станций 5G в зависимости от используемого частотного диапазона, режима дуплексного разделения каналов и разносов между поднесущими SCS в ресурсном радиоблоке RB [8]. Анализ

этих требований показывает, что чувствительность приемников абонентских станций 5G при изменении разносов между поднесущими SCS будет меняться, несущественно увеличиваясь на 0,1–0,4 дБм. Значительно более существенное влияние будет оказывать агрегация полос частот, расширяющая полосу частотного канала и снижающая чувствительность приемников более чем на 10 дБм.

Сравнение технических и ЭМС-характеристик радиооборудования (базового и абонентского) сети радиодоступа 5G RAN, разработанных специалистами МСЭ и Партнерского проекта 3GPP (табл. 1–14), свидетельствует о их различиях, порой существенных, что связано с осторожной политикой разработчиков и вендоров в области декларирования прорывных достижений радиоэлектроники и электронной компонентной базы, разрабатываемой для оборудования сетей 5G.

Выводы

1. Публикация ряда документов МСЭ и Релиза 15 Партнерского проекта 3GPP вооружила инженеров-разработчиков и специалистов в области управления радиочастотным спектром ориентирами в части количественных значений основных технических и ЭМС-характеристик радиооборудования (базового и абонентского) сети радиодоступа 5G RAN.
2. Для того чтобы получить непротиворечивые результаты при проведении оценок ЭМС и эффективности использования РЧС, следует учитывать специфику и целевую направленность опубликованных технических и ЭМС-характеристик

радиооборудования (базового и абонентского) сети радиодоступа 5G RAN. Необходимо указывать, какие характеристики использовались в ис-

следованиях и представлении вкладов и расчетов в рабочие органы международных организаций связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Doc. ITU-R 5D/TEMP/265(Rev.3) Attachment 2 on spectrum needs to a liaison statement to Task Group 5/1. Characteristics of terrestrial IMT systems for frequency sharing/interference analyses in the frequency range between 24.25 GHz and 86 GHz.
2. 3GPP TS 38 104. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 15).
3. 3GPP TS 38 101. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception.
4. 3GPP TR 38 913. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Study on scenarios and requirements for next generation access technologies.
5. Resolution COM 6/20 (WRC-15) Studies on frequency-related matters for International Mobile Telecommunications identification including possible additional allocations to the mobile services on a primary basis in portion(s) of the frequency range between 24.25 and 86 GHz for the future development of International Mobile Telecommunications for 2020 and beyond.
6. **Тихвинский В.О.** Технологии 5G – базис мобильной инфраструктуры цифровой экономики // Электросвязь. – 2018. – № 3. С. 49–55.
7. 3GPP TS 38 141-2. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Base Station (BS) conformance testing; Part 2: Radiated conformance testing.
8. 3GPP TS 38 141-2. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone (Release 15).

Получено 21.05.18