АРХИТЕКТУРА ПОСТРОЕНИЯ и характеристики сетей радиодоступа NG-RAN 5G

В.Тихвинский, д.э.н., профессор МТУСИ,
заместитель генерального директора АО "НИИТС"
по инновационным технологиям / vtniir@mail.ru

УДК 621.391.82

В статье показаны достижения и возможности сети радиодоступа 5G для внедрения новой архитектуры построения и технических характеристик оборудования беспроводной связи.

Введение

В июне 2018 года Партнерским проектом 3GPP было заморожено расширение Релиза 15, определившего фазу 1 развития сетей пятого поколения мобильной связи (5G) на основе новой сети радиодоступа NG-RAN[1]. Эта сеть должна реализовать три бизнес-модели [2] – eMBB (enhanced Mobile Broadband – расширенный мобильный широкополосный доступ), uRLLC (ultra-Reliable Low Latency Communications – сверхнадежная связь с низким уровнем задержки) и mMTC (Massive Machine-Type Communications – массовое подключение устройств машинного типа, именуемая также mIoT), а также технологии виртуализации сетевых функций, управления и оркестрации онлайновых виртуальных сетей на основе формирования сетевых слоев и управления выбором диапазонов радиочастотного спектра и используемых частотных каналов.

Архитектура построения сети NG-RAN 5G

Требования к сети радиодоступа 5G будут определяться прежде всего совокупностью услуг, поддерживаемых сетями пятого поколения, которые объединены упомянутыми выше тремя основными бизнес-моделями: eMBB, uRLLC и mMTC или mIoT. Эта концепция получила название сервисно-ориентированной архитектуры сети 5G [3].

Архитектура NG-RAN определена техническими спецификациями 3GPP TS 38.300[4], согласно которым сеть радиодоступа NG-RAN может быть построена с использованием базовых станций (БС) gNB поколения 5G и БС ng-eNB нового поколения 4G (4GPro), подключенных к базовой сети 5GCore. Сеть радиодоступа NG-RAN (рис.1) должна включать совокупность БС, присоединенных к базовой сети 5G Core посредством следующих NG-интерфейсов:

- NG2: интерфейс между NG RAN и подсистемой функций плоскости управления сети (CP) 5G через модуль управления доступом и мобильностью AMF;
- NG3: интерфейс между NG RAN и подсистемой функций плоскости пользователя сети (UP) 5G через модуль передачи данных абонентов UPF.

Таким образом, эта совокупность базовых станций сети NG-RAN в зависимости от используемого сценария может содержать [5]:

- БС типа gNB, радиоинтерфейс которых использует технологию доступа 5-го поколения NR (NR RadioAccess);
- БС типа ng-eNB, радиоинтерфейс которых использует технологию доступа LTE-Advanced (E-UTRA).

Базовые станции будут взаимодействовать между собой – по интерфейсу Xn, а с базовой сетью 5G Core – по интерфейсам NG2 и NG3.

К особенностям построения сети радиодоступа NG-RAN 5G следует отнести сценарии использования базовых станций, при которых:

- БС gNB поддерживают режим FDD, TDD или совмещенный режим dualmode;
- БС gNB взаимодействуют между собой при помощи Xn-интерфейса;
- БС gNB могут иметь распределенную архитектуру, включающую центральный модуль gNB-CU и один или несколько распределенных модулей gNB-DU (рис.2);
- распределенный центральный модуль gNB-CU также может состоять из модуля gNB-CU-CP плоскости управления сетью и одного или нескольких gNB-CU-UP плоскости данных пользователей.

Центральный модуль базовой станции gNB, обозначаемый как gNB-CU, представляет логический узел, в котором размещены протоколы уровня RRC, SDAP и PDCP, входящие в стек протоколов gNB или протоколы RRC и PDCP стека протоколов en-gNB, которые управляют работой одного или нескольких распределенных модулей gNB-DU. Модуль gNB-CU обеспечивает терминацию интерфейса F1, подключенного к модулю gNB-DU.

Распределенный модуль базовой станции gNB, обозначаемый как gNB-DU, представляет собой логический узел, в котором размещаются протоколы уровня RLC, MAC и PHY, входящие в стек протоколов gNB или en-gNB, а его работа частично контролируется gNB-CU. Один распределенный модуль gNB-DU поддерживает одну или несколько сот. Одна сота сети радиодоступа, как правило, поддерживается только одним модулем gNB-DU. gNB-DU терминирует (завершает) интерфейс F1, подключенный к модулю gNB-CU. Модули распределенной БС gNB-CU и gNB-DU соединены F1-интерфейсом. Модуль gNB-DU может поддерживать одну или несколько сот и присоединен только к одному модулю gNB-CU.

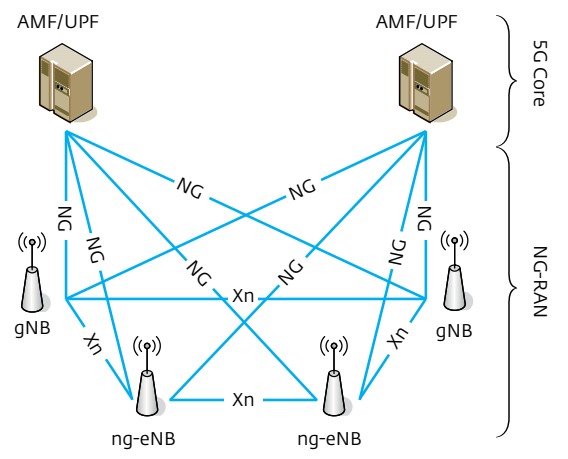

Рис.1. Архитектура сети радиодоступа NG-RAN

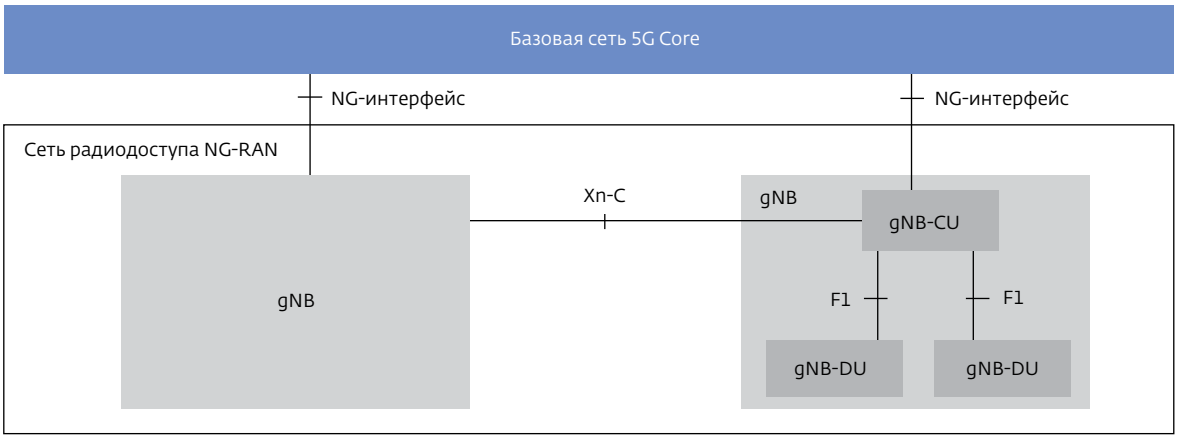

Рис.2. Архитектура базовой станции gNB

Таблица 1

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		Имеет совместную компоновку композитной антенной решетки, радиораспределительной сети антенны и модуля приемопередатчиков антенной решетки
2-О	FR2 (24250–52600)	

Интерфейсы сети радиодоступа 5G F1, Xn, NG2 и NG3 являются открытыми логическими интерфейсами.

F1-интерфейс [6] поддерживает обмен данными пользователя и сигнализации, выполняет разделение плоскости пользователя и плоскости управления и обеспечивает разделение уровня сети радиодоступа и транспортного уровня сети. F1 должен обеспечивать возможность сетевого взаимодействия между gNB-CU и gNB-DU базовых станций 5G различных производителей оборудования.

Xn-интерфейс [7] обеспечивает обмен данными пользователя (Xn-U) и сигнализации (управления) (Xn-C) между двумя БС узлами сети NG-RAN. Этот интерфейс поддерживает режимы внутрисетевой мобильности и двойного присоединения (dual connectivity) для базовых станций. Интерфейс Xn, построенный по принципу "точка-точка", должен быть осуществим даже при отсутствии прямого физического соединения между двумя БС – узлами NG-RAN. Так же, как и интерфейс F1, интерфейс Xn обеспечивает взаимную совместимость подключения оборудования базовых станций 5G различных поставщиков.

При развертывании сети радиодоступа 5G могут быть использованы следующие сценарии развертывания gNB, которые определены в TS 38.401 [8]:

- на основе gNB, которая не имеет распределенной структуры;
- на основе gNB, состоящей из элементов gNB-CU и gNB-DU (s);
- на основе gNB с распределенной структурой, которая состоит из трех видов элементов gNB-CU-CP, gNB-CU-UP (s) и gNB-DU (s).

Аналогичные сценарии развертывания предусмотрены для базовых станций gn-eNB.

В сценариях 3GPP базовые станции 5G для задания требований и использования в сетях радиодоступа классифицированы [9] на четыре типа (1-С, 1-Н, 1-О, 2-О) по частотным диапазонам, компоновке модулей БС и антенным системам, а также зонам обслуживания, которые делятся на широкие, средние и локальные. Характеристики базовых станций по указанным параметрам представлены в табл.1 и 2.

Анализ данных табл.1 и 2 позволяет сделать вывод, что на первом этапе развития рассматриваемых сетей радиодоступа в диапазоне миллиметровых длин волн (ММДВ) будет выпускаться только один класс базовых станций – 2-О с широкой зоной обслуживания (до 35 м). Архитектурно базовые станции 5G типа 1-С

Таблица 2

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 (MacroCell)	70	35
Средняя	Микросотовые (MicroCell)	53	5
Локальная	Пикосотовые (PicoCell)	45	2

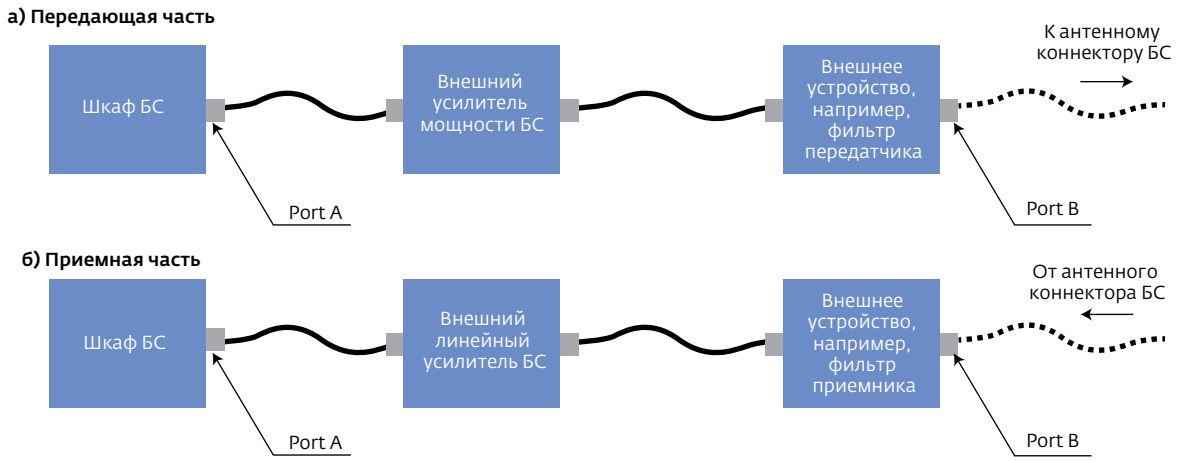

Рис.3. Распределенная структура приемной и передающей части базовой станции типа 1-С

будут иметь распределенную структуру передающей и приемной части, показанную на рис.3 [9].

Базовые станции типа 1-Н архитектурно будут иметь структуру, показанную на рис.4.

Как видно из рис.4, композитная антенна будет содержать модуль RDN (radio distribution network) и антенную решетку АА. Модуль RDN представляет линейную пассивную сеть, которая передает высокочастотный сигнал, генерируемый приемопередающим модулем решетки TRXUA для антенной решетки базовой станции и принимает сигналы, получаемые с приемных элементов АА.

Базовые станции типа 1-О и 2-О (диапазоны ММДВ) архитектурно будут иметь структуру, показанную на рис.5.

Как видно из рис.5, БС типа 1-О и 2-О будут иметь моноблочную архитектуру, объединяющую модули решетки TRXUA, модуль RDN и антенную решетку АА. Базовая станция типа 1-О должна содержать

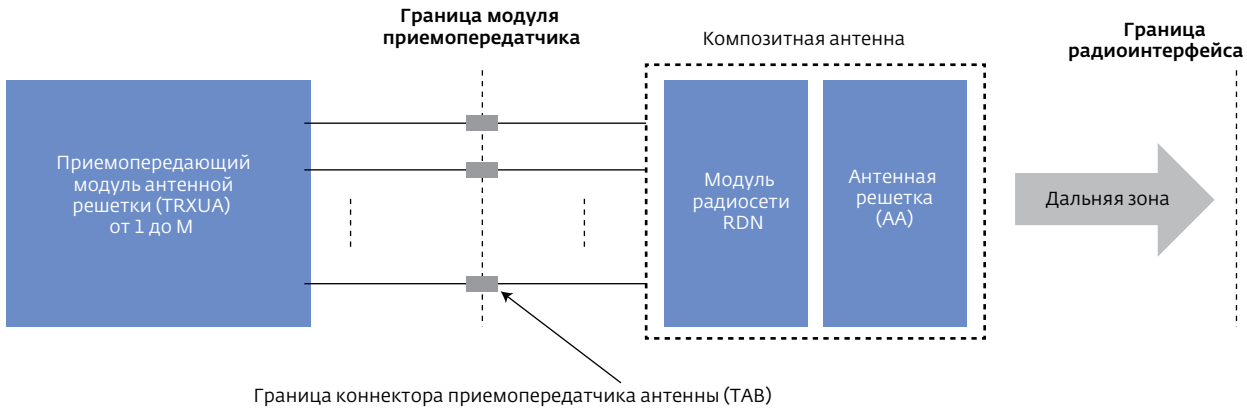

Рис.4. Структура базовой станции типа 1-Н

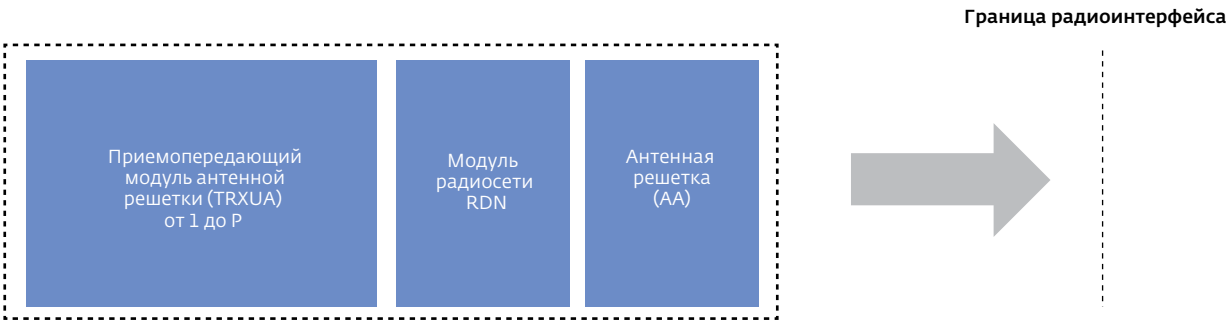

Рис.5. Структура базовых станций типа 1-O и 2-O

как минимум восемь передающих и восемь приемных антенн.

Частотные аспекты функционирования сети радиодоступа 5G

Исследования доступности спектра для совместного использования и совместимости в частотных диапазонах, определенных резолюцией COM 6/20 (ВКР-15), должны быть проведены администрациями связи до конференции ВКР-19 [10] в полосах 24,25–27,5 ГГц, 37–40,5 ГГц, 42,5–43,5 ГГц, 45,5–47 ГГц, 47,2–50,2 ГГц, 50,4–52,6 ГГц, 66–76 ГГц и 81–86 ГГц, которые будут распределены мобильной подвижной службе на первичной основе; и в полосах 31,8–33,4 ГГц, 40,5–42,5 ГГц и 47–47,2 ГГц, которые требуют их дополнительного распределения мобильной подвижной службе на первичной основе.

Характеристики использования спектра радиооборудованием сети радиодоступа 5G RAN, определенные МСЭ-Р, в части разделения частотных каналов и значения ширины каналов представлены в табл.3.

Как видно из табл.3, администрациями связи при исследовании доступности спектра для совместного использования и обеспечения электромагнитной совместимости в планируемых частотных диапазонах будет рассматриваться использование только частотного канала с шириной 200 МГц.

Главным отличием требований Партнерского проекта 3GPP от требований МСЭ является ограничение на применение в частотном диапазоне миллиметровых волн. Верхний предел их использования в Релизе 15 ограничен пока частотой 40 ГГц несмотря на то, что рабочий диапазон определен полосой 24,25–52,6 ГГц (FR2).

Используемые частотные поддиапазоны приемников и передатчиков базовых и абонентских станций сети радиодоступа 5G разделены на поддиапазоны FR1 (0,450–6 ГГц) и FR2 (24,25–52,6 ГГц), как показано в табл.4 и 5 [9, 11].

Анализ табл.4 и 5 показывает, что в число диапазонов ниже 6 ГГц включены не все из 46 диапазонов частот, определенных ранее 3GPP для сетей LTE, и впервые в число рабочих диапазонов включен диапазон 600 МГц (n71). Диапазоны выше 6 ГГц используются только для режима TDD с ограничением до 40 ГГц, а ширина рабочего диапазона полос достигает 2,5–3 ГГц. Кроме того, ряд полос поддиапазона FR2 имеет частичное перекрытие между собой, как

Таблица 3

No.	Параметры	NG-RAN 5G / IMT-2020	
		Базовые станции	Абонентские терминалы
1	Метод разделения каналов	TDD	
2	Ширина частотного канала	200 МГц	
3	Ширина используемого сигнала	>90% от ширины частотного канала	

Таблица 4

Рабочий диапазон	Рабочийдиапазон линии вверх (UL) БС прием / АТ передача F_{UL_low} – F_{UL_high}	Рабочий диапазон линии вниз (DL) БС передача / АТ прием F_{DL_low} – F_{DL_high}	Режим дуплекса
n1	1920–1980 МГц	2110–2170 МГц	FDD
n2	1850–1910 МГц	1930–1990 МГц	FDD
n3	1710–1785 МГц	1805–1880 МГц	FDD
n5	824–849 МГц	869–894 МГц	FDD
n7	2500–2570 МГц	2620–2690 МГц	FDD
n8	880–915 МГц	925–960 МГц	FDD
n20	832–862 МГц	791–821 МГц	FDD
n28	703–748 МГц	758–803 МГц	FDD
n38	2570–2620 МГц	2570–2620 МГц	TDD
n41	2496–2690 МГц	2496–2690 МГц	TDD
n50	1432–1517 МГц	1432–1517 МГц	TDD
n51	1427–1432 МГц	1427–1432 МГц	TDD
n66	1710–1780 МГц	2110–2200 МГц	FDD
n70	1695–1710 МГц	1995–2020 МГц	FDD
n71	663–698 МГц	617–652 МГц	FDD
n74	1427–1470 МГц	1475–1518 МГц	FDD
n75	N/A	1432–1517 МГц	SDL
n76	N/A	1427–1432 МГц	SDL
n77	3300–4200 МГц	3300–4200 МГц	TDD
n78	3300–3800 МГц	3300–3800 МГц	TDD
n79	4400–5000 МГц	4400–5000 МГц	TDD
n80	1710–1785 МГц	N/A	SUL
n81	880–915 МГц	N/A	SUL
n82	832–862 МГц	N/A	SUL
n83	703–748 МГц	N/A	SUL
n84	1920–1980 МГц	N/A	SUL

например, диапазоны n257 и n258, а частотный разнос между диапазонами n257 и n260 составляет 7,5 ГГц.

Технические характеристики радиооборудования сети радиодоступа 5G

Для фазы 1 развития сети радиодоступа NG-RAN Партнерским проектом 3GPP 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 использоваться технология DFT-S-OFDM (Discrete Fourier Transform – Spread – Orthogonal Frequency Division Multiplexing – ортогональное частотное мультиплексирование с предобработкой на базе дискретного преобразования Фурье).

Формируемые базовой и абонентской станцией частотные каналы, как и для технологии 4G(LTE), будут состоять из определенного числа радиоблоков. Каждый радиоблок формируется из поднесуших (SCS) с различной шириной: 15, 30 и 60 кГц для поддиапазона спектра FR1 (ниже 6 ГГц), 60 и 120 кГц – для поддиапазона FR2 (ММДВ).

Максимальные конфигурации радиоблоков NRB при формировании частотных каналов базовых и абонентских станций поддиапазонов FR1 (5–100 МГц) и FR2 (50–400 МГц) для различных разносов между поднесущими SCS представлены в табл.6 и 7 [9].

Таблица 5

Рабочий диапазон	Рабочие диапазоны БС и АТ для поддиапазона FR2	Режим дуплекса
n257	26,500–29,500 ГГц	TDD
n258	24,250–27,500 ГГц	TDD
n260	37,000–40,000 ГГц	TDD

Таблица 6

Разнос между SCS,кГц	Ширина полосы частотного канала 5G для FR1												
	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц	25 МГц	30 МГц	40 МГц	50 МГц	60 МГц	70 МГц	80 МГц	90 МГц	100 МГц
	Максимальная конфигурация NRB для полосы канала передачи для FR1												
15	25	52	79	106	133	[160]	216	270	Иссл.	Иссл.	Иссл.	Иссл.	Иссл.
30	11	24	38	51	65	[78]	106	133	162	[189]	217	[245]	273
60	Иссл.	11	18	24	31	[38]	51	65	79	[93]	107	[121]	135

Таблица 7

Разнос между SCS, кГц	Ширина полосы частотного канала 5G для FR2			
	50 МГц	100 МГц	200 МГц	400 МГц
	Макс. конфигурация NRB для полосы канала передачи для FR2			
60	66	132	264	Исследуется
120	32	66	132	264

Таблица 8

Зона обслуживания	Мощность передатчиков базовых станций сетей радиодоступа 5G			
	БС типа 1-С	БС типа 1-Н	БС типа 1-О и типа 2-О	Уровни ограничения ACLR БС
Широкая	Без ограничений сверху	Без ограничений сверху	Не определена	–15 дБм/МГц
Средняя	< 38 дБм	≤ 38 дБм +10log(NTXU,counted)	Не определена	–25 дБм/МГц
Локальная	< 24 дБм	≤ 24 дБм +10log(NTXU,counted)	Не определена	–32 дБм/МГц

Примечание 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.
Примечание 2: NTXU,counted – число активных передатчиков

Таблица 9

Зона обслуживания	Чувствительность приемников базовых станций сетей 5G, дБм			
	БС типа 1-С	БС типа 1-Н	БС типа 1-О	БС типа 2-О
Широкая	Не определена	Не определена	От –95,3 до –101,7	От –96 до –119
Средняя	Не определена	Не определена	От –90,3 до –96,7	От –91 до –114
Локальная	Не определена	Не определена	От –87,3 до –93,7	От –86 до –109
Источники: TS 38 104иTS 38 141-2				

Из анализа табл.6 и 7 видно, что на первой фазе развития сетей 5G в диапазоне частот ниже 6 ГГц предусмотрено использование полос частот, близких по ширине к ширине агрегированных полос частот предыдущего поколения (4G), а в диапазоне ММДВ – полос шириной 200 и 400 МГц. Максимальное количество радиоблоков, используемых для построения сигнала 5G, может достигать 273 для FR1 и 264 для FR2.

Мощностные характеристики основного и побочного излучений передатчиков базовых станций сети радиодоступа 5G приведены в табл.8 [9].

Анализ табл.8 показывает, что мощность передатчиков базовых станций сети радиодоступа 5G будет определяться типом базовой станции и лежать в пределах 24–38 дБм. Для БС, относимых к типу 1-О и 2-О, мощность передатчиков будет определена в Релизе 16.

Характеристики чувствительности приемников базовых станций сетей 5G в диапазоне ММДВ для ширины частотного канала 50 МГц показаны в табл.9 [9].

Из табл.9 следует, что чувствительность приемников базовых станций сети радиодоступа 5G будет определяться типом БС и лежать в пределах от –86 до –119 дБм. Для базовых станций, относимых к типу 1-С и 1-Н, чувствительность приемников также будет определена в Релизе 16. Однако для наиболее популярного диапазона 3300–3800 МГц (n78) чувствительность приемников уже специфицирована для того, чтобы не тормозить развитие сетей. Значения этой чувствительности показаны в табл.10 [9].

Таблица 10

Рабочий диапазон	SCS,кГц	Чувствительность приемников БС для различных частотных каналов, дБм								Режим дуплекса
		10 МГц	15 МГц	20 МГц	40 МГц	50 МГц	60 МГц	80 МГц	100 МГц	
n78	15	−95,8	−94,0	−92,7	−89,6	−88,6				TDD
	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	

Сравнение технических характеристик радиооборудования (базового и абонентского) сети радиодоступа NG-RAN, разработанных в МСЭ [10] и 3GPP, приведенных в табл.3–10, показывает их различия, порой существенные, связанные с осторожной политикой разработчиков и производителей в области декларирования прорывных достижений радиоэлектроники и электронной компонентной базы, разрабатываемой для оборудования сетей радиодоступа NG-RAN.

Заключение

Публикация технических спецификаций Релиза 15 3GPP (фаза 1 5G) вооружила инженеров-разработчиков и специалистов по управлению радиочастотным спектром ориентирами и пониманием технического облика сети радиодоступа NG-RAN, а также количественными значениями основных технических характеристик радиооборудования сети 5G (базового и абонентского) для его разработки и предъявления рынку мобильной связи в 2020 году.

Сравнение технических характеристик радиооборудования NG-RAN от МСЭ и Партнерского проекта 3GPP показывает их различия, обусловленные разными целями формирования требований к сети. В первом случае характеристики носят индикативный характер для администраций связи, исследующих возможности выделения спектра. Во втором – в центре внимания были обязательства по созданию и предъявлению рынку коммерческих образцов оборудования.

При проведении оценок эффективности использования радиочастотного спектра и ЭМС для получения непротиворечивых результатов следует учитывать специфику и целевую направленность опубликованных технических и ЭМС-характеристик радиооборудования сети радиодоступа NG-RAN (базового и абонентского), четко оговаривая, какие характеристики использовались при проведении исследований для разработки оборудования и подготовки вкладов и расчетов в рабочие органы международных организаций связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. 3GPP TS 38.201. NR; Physical Layer – General Description.
2. 3GPP TS 38.202. NR; Services provided by the physical layer.
3. Service-Based Architecture in 5Gby NGMN Alliance.V.1.0, NGMN, 19 January 2018.
4. 3GPP TS 38.300: NR; Overall description; Stage2.
5. 3GPP TS 38.410: NG-RAN; NG general aspect and principles.
6. 3GPP TS 38.470:NG-RAN; F1 general aspects and principles.
7. 3GPPTS 38.420: NG-RAN; Xn general aspects and principles.
8. 3GPPTS 38.401: NG-RAN; Architecture description.
9. 3GPP TS 38 104. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 15).
10. 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.
11. 3GPP TS 38 101. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception.