

ТЕХНОЛОГИЯ 5G NEW RADIO ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ПРОЦЕДУРЫ, ОСОБЕННОСТИ ТЕСТИРОВАНИЯ

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



ОБЗОР СЦЕНАРИЕВ ПРИМЕНЕНИЯ 5G

Массовый Интернет вещей

- Распределенная инфраструктура (операторы, производители, местные органы управления, сертификация только для нескольких технологий)
- Набор технологий (GSM, Lora, Zigbee, WLAN, Bluetooth, Cat M, NB-IoT, ...)
- Приоритет на экономическую эффективность и массовую связь
- 3GPP: отсутствие решения на базе NR; будет решено путем развития технологий LTE-M (eMTC) и NB-IoT

Сверхширокополосный
мобильный доступ



eMBB – общепризнанная среда

- Традиционная инфраструктура (операторы, производители, сертификация устройств)
- Развитие на базе существующих технологий и революционные дополнения (мм/см волны)
- Приоритет на данные (скорость и полоса частот)
- Постановка и решение задач, возникающих в диапазоне сантиметровых волн и в области эфирных (OTA) испытаний; диапазон 3,5 ГГц имеет значение!

Связь URLLC

- Значительно улучшенная распределенная инфраструктура (операторы (?), производители, области применения, сертификация пока отсутствует)
- Принципиально важное обеспечение высокого разнесения поднесущих (SCS) и независимых слотов
- Приоритет на надежность и защищенность (данные и полоса частот)

ТЕХНОЛОГИЯ URLLC – ЭТО БУДУЩЕЕ! РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ 5G

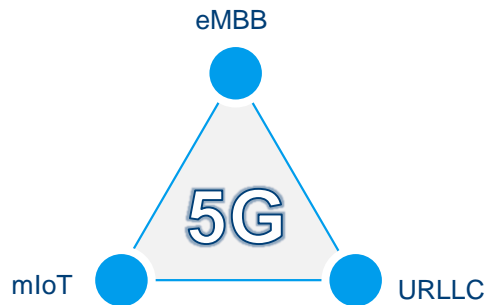
- ▶ Компания Ericsson провела опрос среди крупных компаний (не меньше 1000 сотрудников), представляющих 10 ключевых отраслей промышленности, в октябре и ноябре 2017 года
- ▶ В каждой из 10 отраслей промышленности были обозначены ключевые задачи, которые могут быть решены путем преобразования производственных процессов в части технологий 5G
- ▶ **Опрос показал, что улучшения технологий 5G во всех отраслях будут касаться вопросов защищенности данных, задач обеспечения связи и автоматизации производственных процессов**

Источник: [отчет компании Ericsson](#)

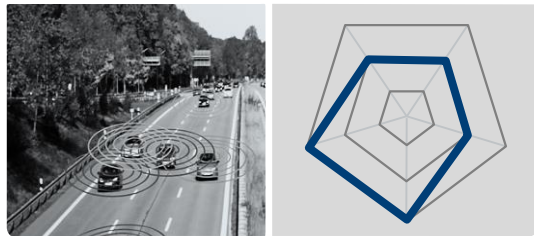


ОТРАСЛЕВЫЕ ВЕРТИКАЛИ: СОСТОЯНИЕ СПЕЦИФИКАЦИЙ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ДВЕ КЛЮЧЕВЫЕ ОТРАСЛЕВЫЕ ВЕРТИКАЛИ НАПРАВЛЯЮТ ОТРАСЛЕВЫЕ АЛЬЯНСЫ И ОПРЕДЕЛЯЮТ РАБОТУ НАД СПЕЦИФИКАЦИЯМИ



Автомобильная промышленность



Индустрия 4.0 / Роботы

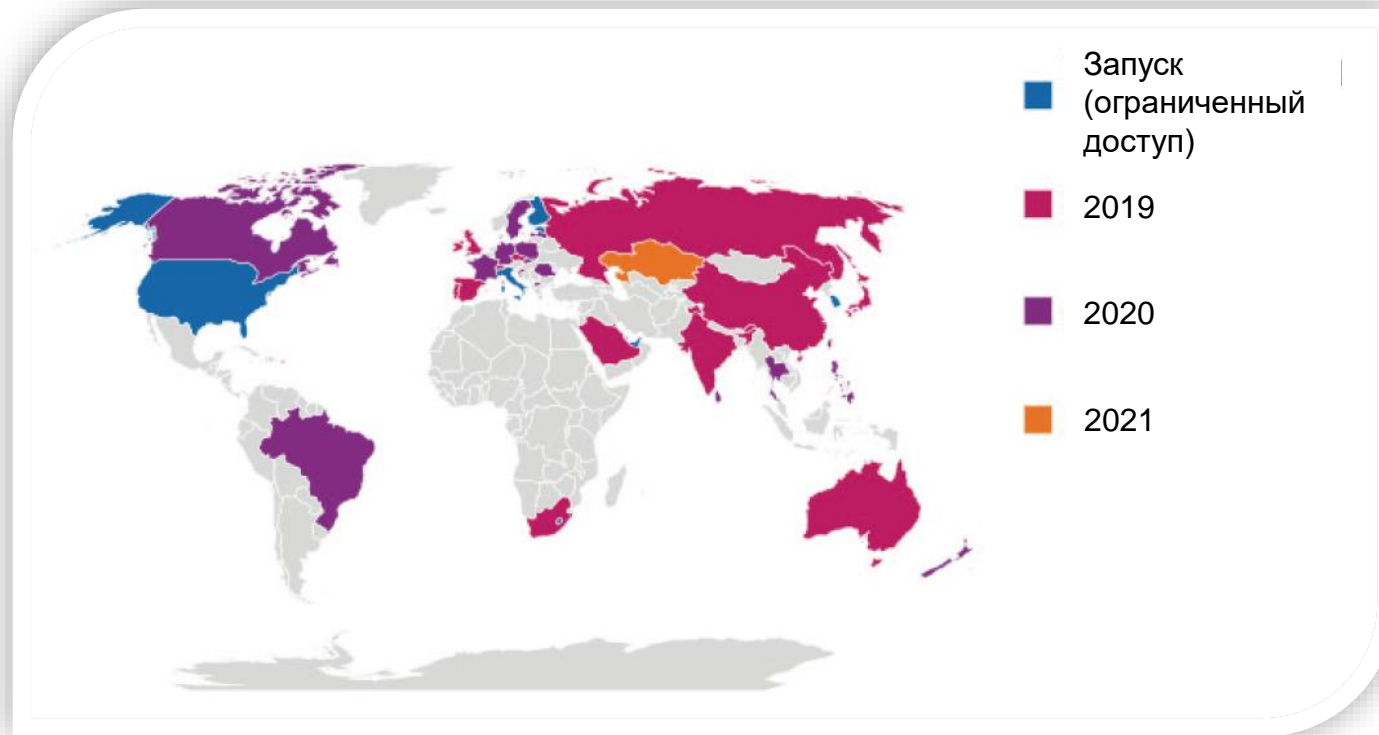


Рабочие задачи 3GPP версии 16: NR V2X



Рабочие задачи 3GPP версии 16: промышленный Интернет вещей NR / закрытые сети (NPN)

ОЖИДАЕМЫЕ ДАТЫ КОММЕРЧЕСКОГО ЗАПУСКА СЕТЕЙ 5G (МОБИЛЬНЫЙ ИЛИ ФИКСИРОВАННЫЙ БЕСПРОВОДНОЙ ДОСТУП)

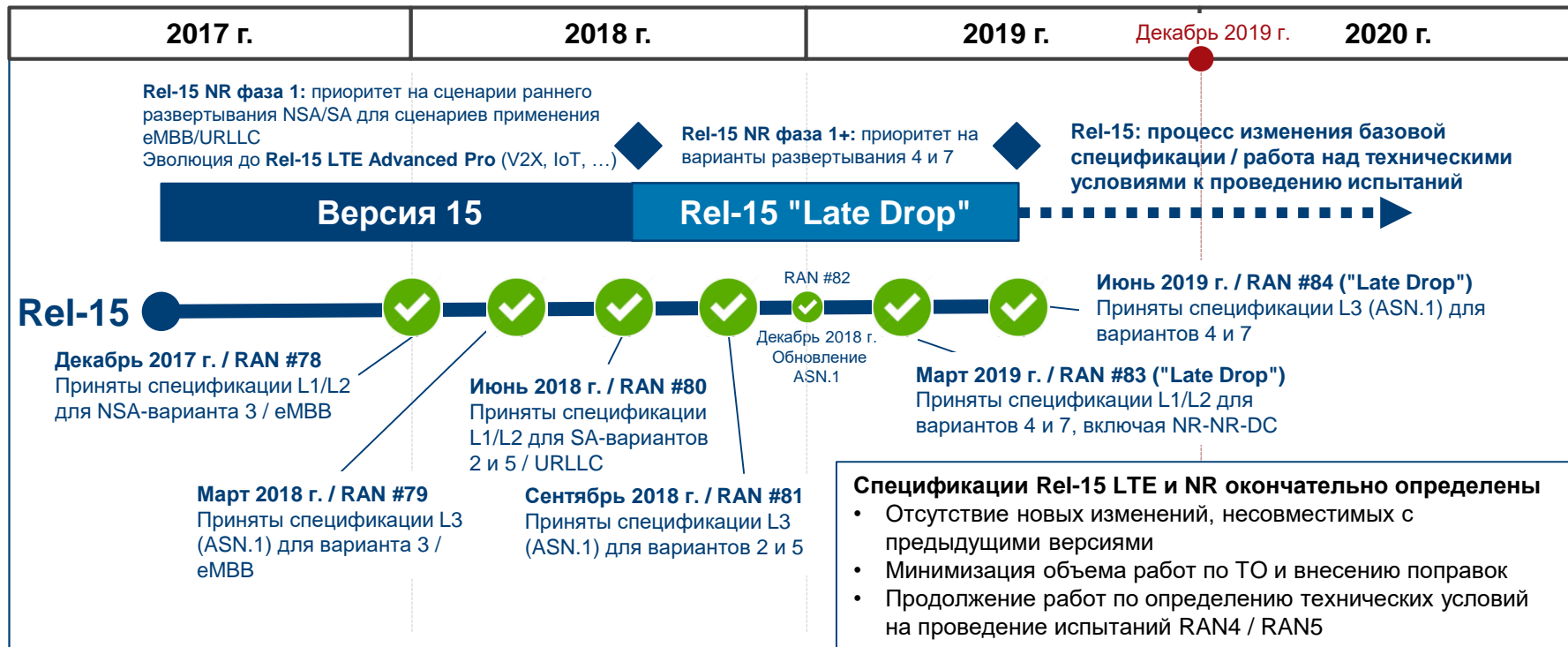


Источник: отчет GSA: Evolution from LTE to 5G: Global Market Status (переход с LTE на 5G: состояние всемирного рынка), январь 2019 г.

ОБЗОР СТАНДАРТИЗАЦИИ 3GPP RAN

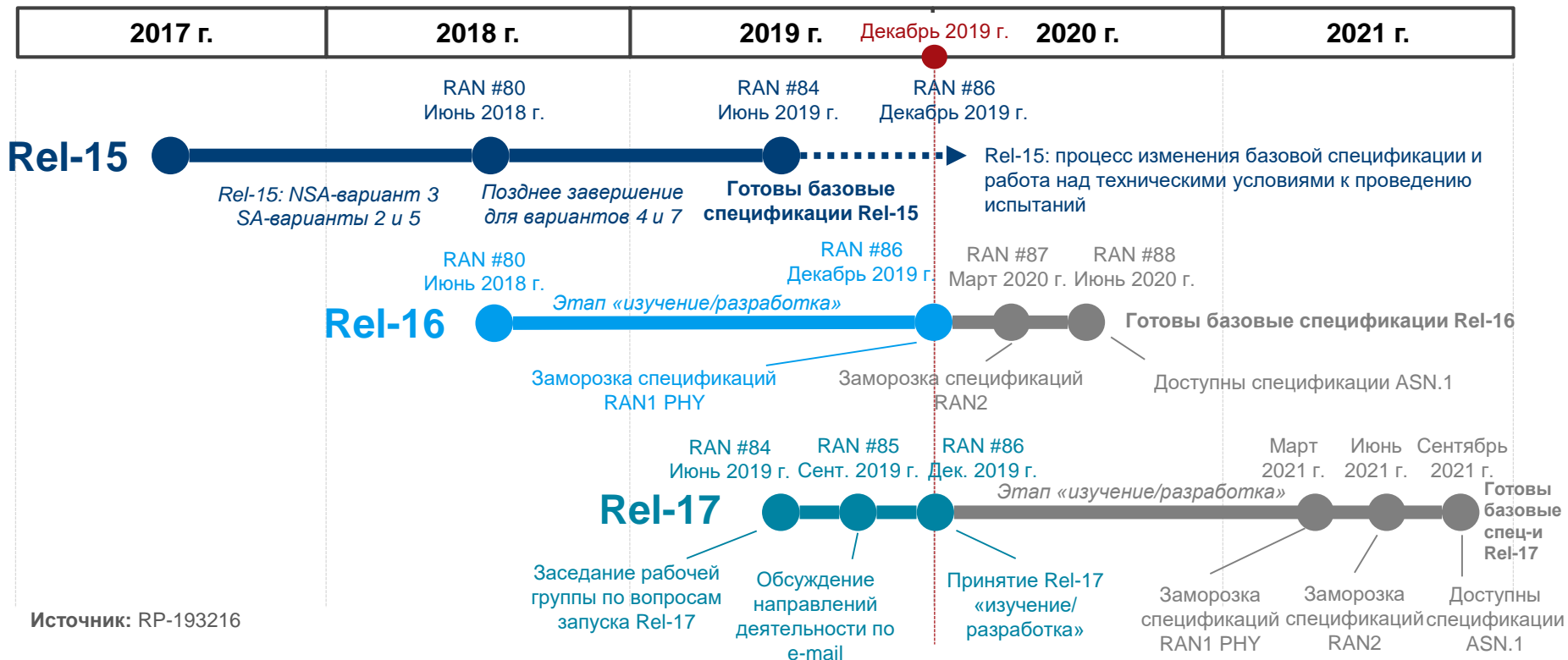
REL-15: СОСТОЯНИЕ ПОСЛЕ RAN #86 (ДЕКАБРЬ 2019 Г.)

NR: технология New Radio
 SA: автономный режим
 NSA: неавтономный режим
 eMBB: сверхширокополосный мобильный доступ
 URLLC: сверхнадежная связь с малой задержкой
 mMTC: массовая межмашинная связь



ОБЗОР СТАНДАРТИЗАЦИИ 3GPP RAN

ОБЩАЯ ХРОНОЛОГИЯ ВЕРСИЙ REL-15 ... REL-17

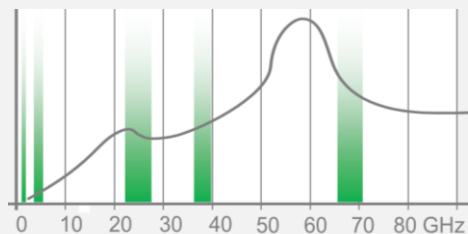


Источник: RP-193216

КЛЮЧЕВЫЕ КОМПОНЕНТЫ 5G

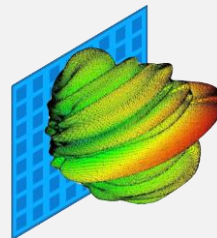
ТЕХНОЛОГИЯ NR БАЗИРУЕТСЯ НА ЧЕТЫРЕХ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПРИНЦИПАХ

Новые частотные ресурсы



- l < 1 ГГц
- l ~ 3,5 ГГц
- l ~ 26/28/39 ГГц

Технология Massive MIMO и формирование ДН



- l Формирование ДН гибридной антенны
- l Управление ДН антенны и работа на частотах > 6 ГГц

Многосвязность



Изначально базируется на принципе двойного подключения (Dual Connectivity) с E-UTRA в качестве ведущего

Гибкость сети – виртуализация



- l Гибкость численных данных физического уровня
- l Сетевое сегментирование
- l Технология NFV/SDN

АРХИТЕКТУРА СЕТИ 5G: ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ

Базовая сеть LTE = EPC



Базовая сеть 5G = 5GC



— Данные
..... Управление

MME = узел управления мобильностью

S-GW = обслуживающий шлюз

AMF = функция управления доступом и мобильностью

UPF = функция уровня пользователя

Базовая станция LTE = eNB

(подключено к EPC)



Базовая станция LTE = NG-eNB

(подключено к 5GC)



Базовая станция 5G = gNB



Базовая станция, подключенная к АО (UE) в режиме DC (двойное подключение), может выступать в следующих ролях:

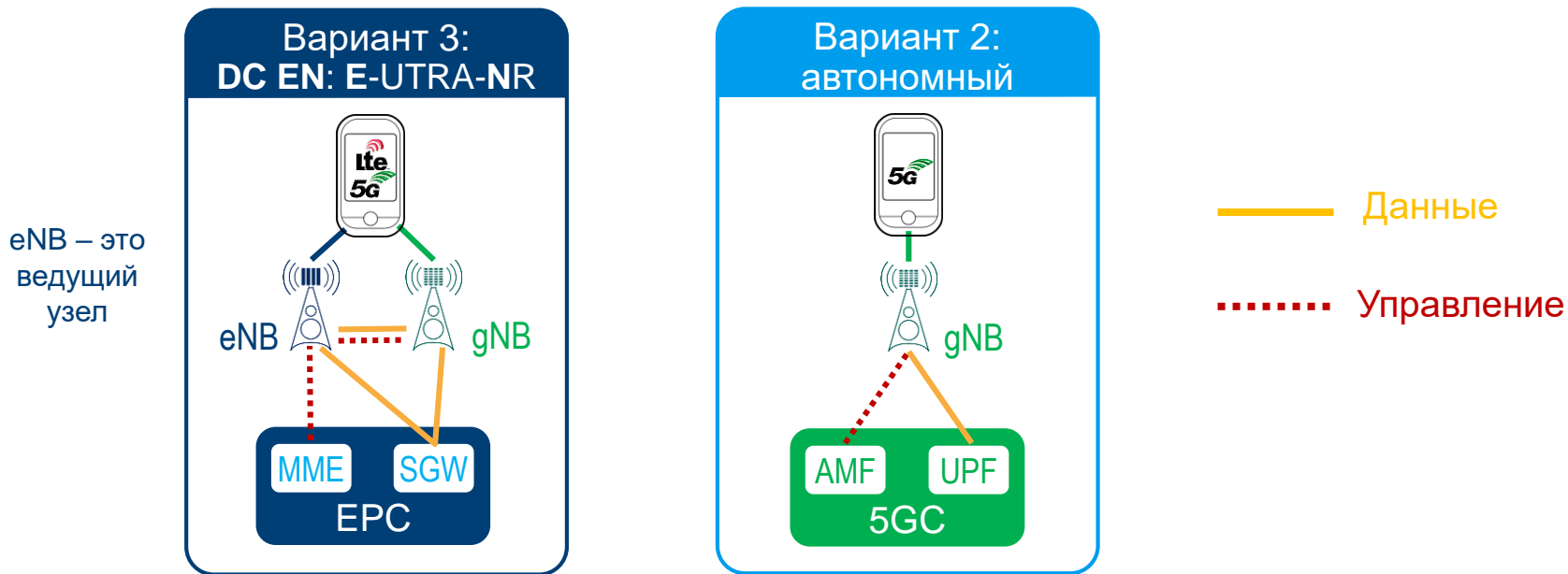
MN = ведущий узел

или

SN = вторичный узел

ВАРИАНТЫ АРХИТЕКТУРЫ

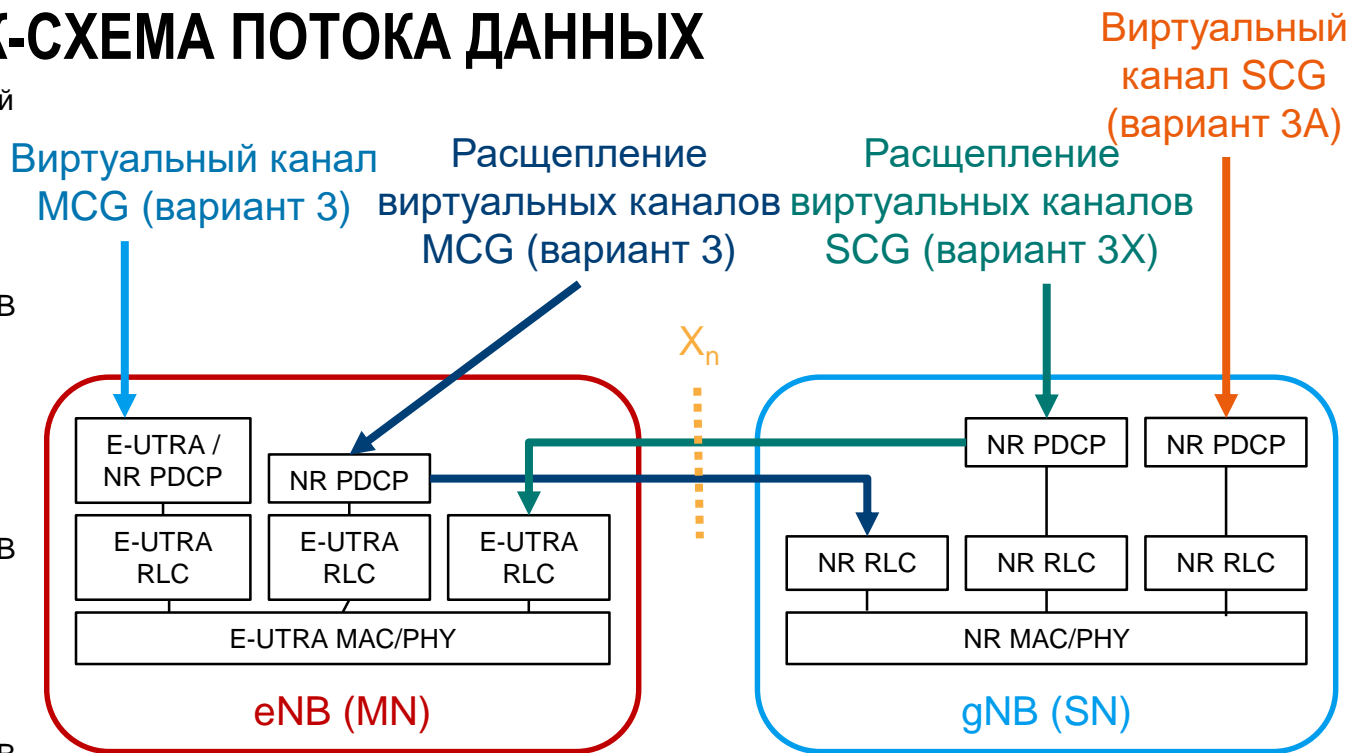
ВАРИАНТ 3 ОБЛАДАЕТ НАИВЫСШИМ ПРИОРИТЕТОМ В 3GPP,
СЛЕДОМ ИДЕТ ВАРИАНТ 2



ЭВОЛЮЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ – ВАРИАНТ 3

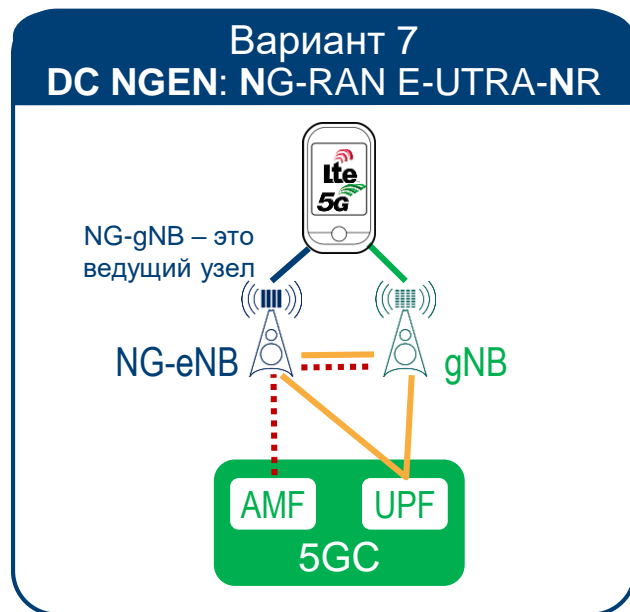
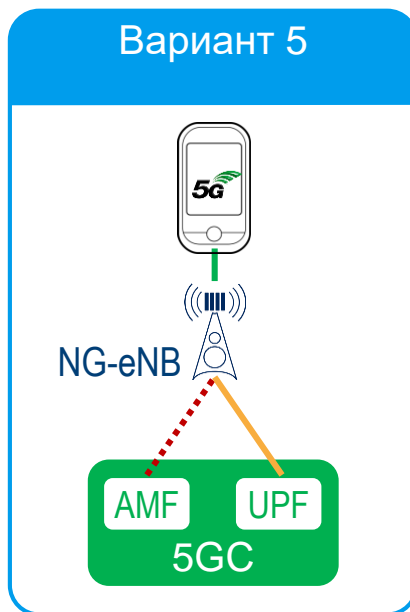
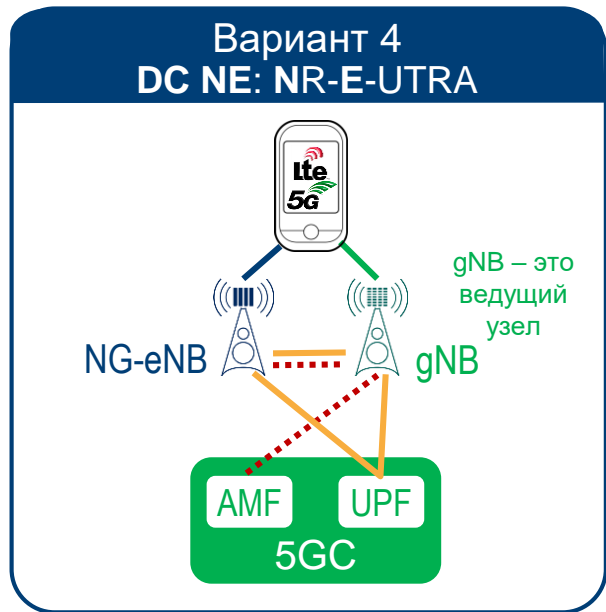
ВАРИАНТ 3: БЛОК-СХЕМА ПОТОКА ДАННЫХ

- ▶ Запоминание всей управляющей информации LTE-соединения
- ▶ Расщепление виртуальных каналов MCG (= 3)
 - Пользовательские данные маршрутизируются через eNB или gNB; решение принимается по eNB
- ▶ Расщепление виртуальных каналов SCG (= 3X)
 - Пользовательские данные маршрутизируются через eNB или gNB; решение принимается по gNB
- ▶ Виртуальный канал SCG (= 3A)
 - Пользовательские данные маршрутизируются через gNB
- ▶ Большинство операторов сетей предпочитают вариант 3X



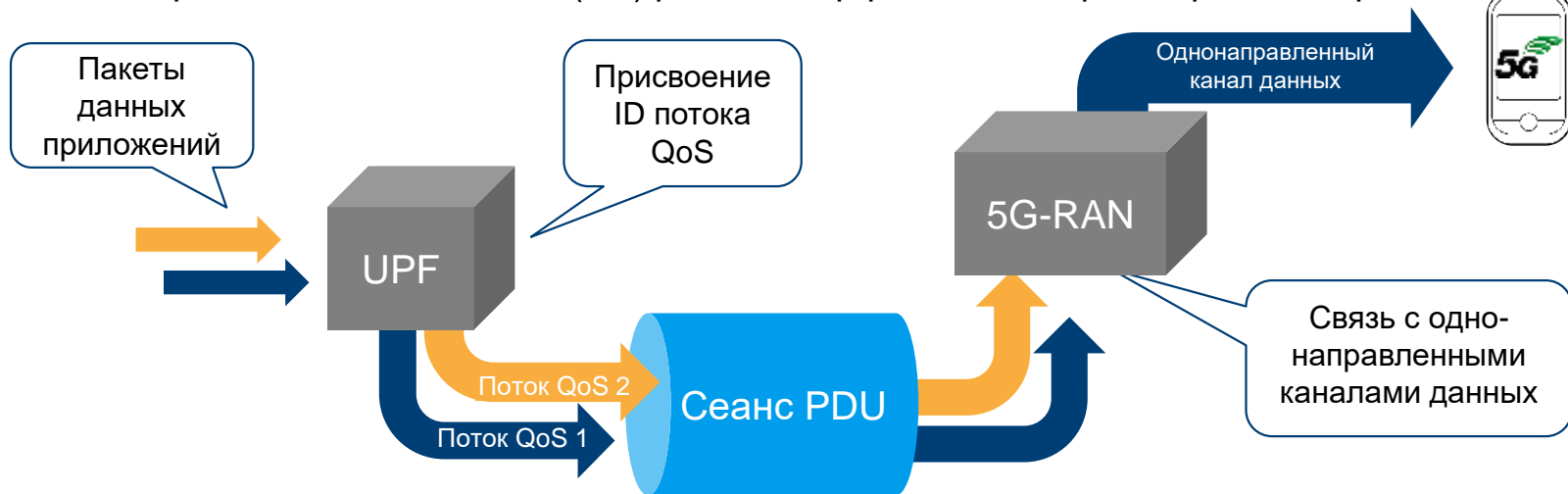
ВАРИАНТЫ АРХИТЕКТУРЫ ОПРЕДЕЛЕННЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ

— Данные
- - - - - Управление

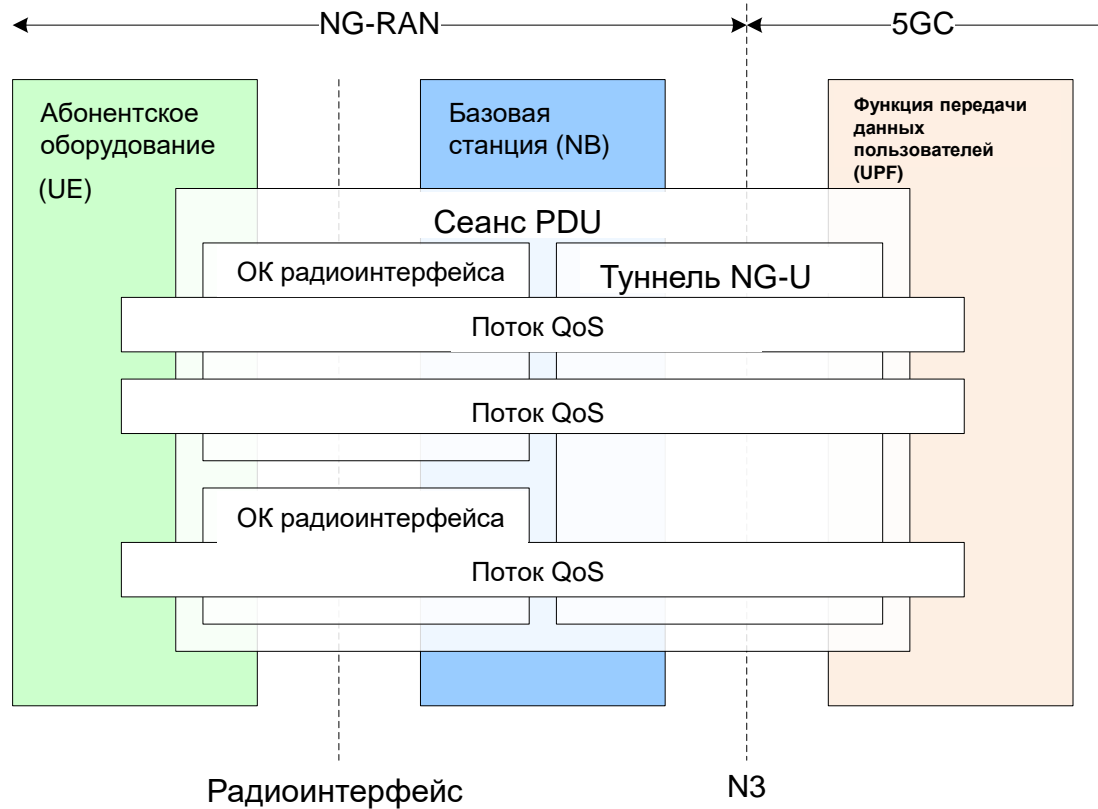


ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ QoS (КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ)

- ▶ Использование пакетных идентификаторов (ID) QoS позволяет выполнять дифференциацию услуг в рамках отдельного сеанса связи
- ▶ Прикладной протокол служебных данных (SDAP) связывает потоки QoS с соответствующими однонаправленными каналами (ОК) радиоинтерфейса на стороне протокола радиосвязи



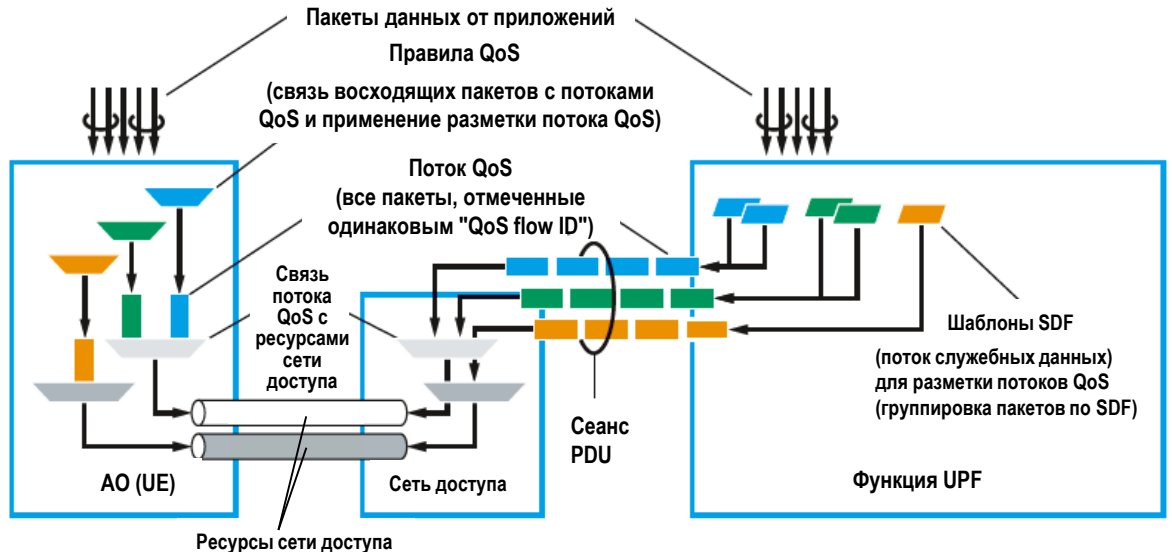
ТЕХНОЛОГИЯ 5G NR: ПОТОК QoS (КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ)



КЛАССИФИКАЦИЯ ПОТОКА QoS ТЕХНОЛОГИИ 5G NR

Спецификация TS 23.501 определяет стандартизированные идентификаторы 5QI для соединений GBR (гарантированная скорость), non-GBR (не гарантированная скорость) и GBR, критичных к задержке

Прикладной/служебный уровень



Значение 5QI	Тип ресурса	Стандартный уровень приоритета	Единица задержки пакетов	Коэффициент латентный ошибок	Стандартный максимальный объем пакета данных	Стандартное время удержания	Примеры услуг	
1	GBR	20	100 мс	10^{-2}	н/д	2000 мс	Интерактивная речь	
2		40	150 мс	10^{-3}	н/д	2000 мс	Интерактивное видео (готововое вещание)	
3		30	50 мс	10^{-3}	н/д	2000 мс	Игровой процесс в реальном времени, сообщения V2X, распределение электроэнергии – среднее напряжение, автоматизация процессов – мониторинг	
4		50	300 мс	10^{-4}	н/д	2000 мс	Неинтерактивное видео (буферизация передачи видеопотока)	
65		7	75 мс	10^{-2}	н/д	2000 мс	Критический уровень пользователя Речь в режиме рации (например, MCPTT)	
66		20	100 мс	10^{-2}	н/д	2000 мс	Некритический уровень пользователя Речь в режиме рации	
67		15	100 мс	10^{-3}	н/д	2000 мс	Критический уровень пользователя для видеосигналов	
75		25	50 мс	10^{-2}	н/д	2000 мс	Сообщения V2X	
5		Non-GBR	10	100 мс	10^{-6}	н/д	н/д	Сигнализация IMS
6			60	300 мс	10^{-6}	н/д	н/д	Видео (буферизация передачи видеопотока) TCP-приложения (например, www, e-mail, chat, ftp, общий р2р-доступ к файлам, прогрессивное видео и др.)
7	70		100 мс	10^{-3}	н/д	н/д	Видео, речь (готововое вещание), интерактивный игровой процесс	
8	80		300 мс	10^{-6}	н/д	н/д	Видео (буферизация передачи видеопотока) TCP-приложения (например, www, e-mail, chat, ftp, общий р2р-доступ к файлам, прогрессивное видео и др.)	
9	90			10^{-6}	н/д	н/д	Видео (буферизация передачи видеопотока) TCP-приложения (например, www, e-mail, chat, ftp, общий р2р-доступ к файлам, прогрессивное видео и др.)	
69	5		60 мс	10^{-6}	н/д	н/д	Критически важные сигнализация, чувствительная к задержке (например, сигнализация MC-PTT)	
70	55		200 мс	10^{-6}	н/д	н/д	Критически важные данные (например, услуги идентификации QCI (6-9))	
79	65		50 мс	10^{-2}	н/д	н/д	Сообщения V2X	
80	68		10 мс	10^{-6}	н/д	н/д	Приложения eMBB с низкой задержкой Дополненная реальность	
82	GBR, критичное к задержке		19	10 мс	10^{-4}	255 байт	2000 мс	Дискретные автоматы
83			22	10 мс	10^{-4}	1358 байт	2000 мс	Дискретные автоматы
84			24	30 мс	10^{-5}	1354 байт	2000 мс	Интеллектуальные транспортные системы
85			21	5 мс	10^{-6}	255 байт	2000 мс	Распределение электроэнергии – высокое напряжение

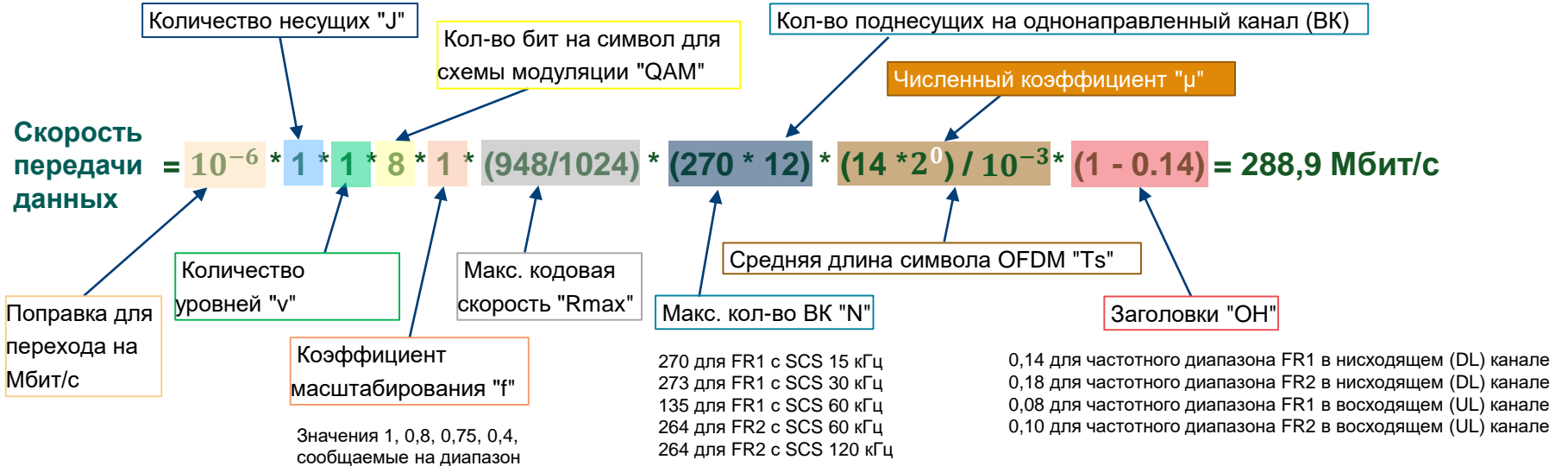
РАСЧЕТ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТЯХ 5G NR

Скорость передачи данных (Мбит/с) = $10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J \left(v_{\text{Layers}}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{\text{max}} \cdot \frac{N_{\text{PRB}}^{BW(j), \mu} \cdot 12}{T_s^\mu} \cdot (1 - OH^{(j)}) \right)$

$$T_s^\mu = \frac{10^{-3}}{14 \cdot 2^\mu}$$

Источник: 3GPP TS 38.306 V15.2.0 (июнь 2018 г.)

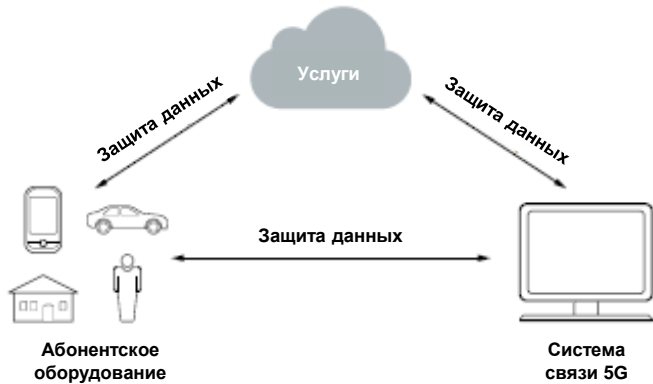
Пример FR1 для отдельного уровня при разнесении поднесущих (SCS) 15 кГц в нисходящем (DL) канале с модуляцией 256QAM:



МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА УРОВЕНЬ В СЕТЯХ 5G NR

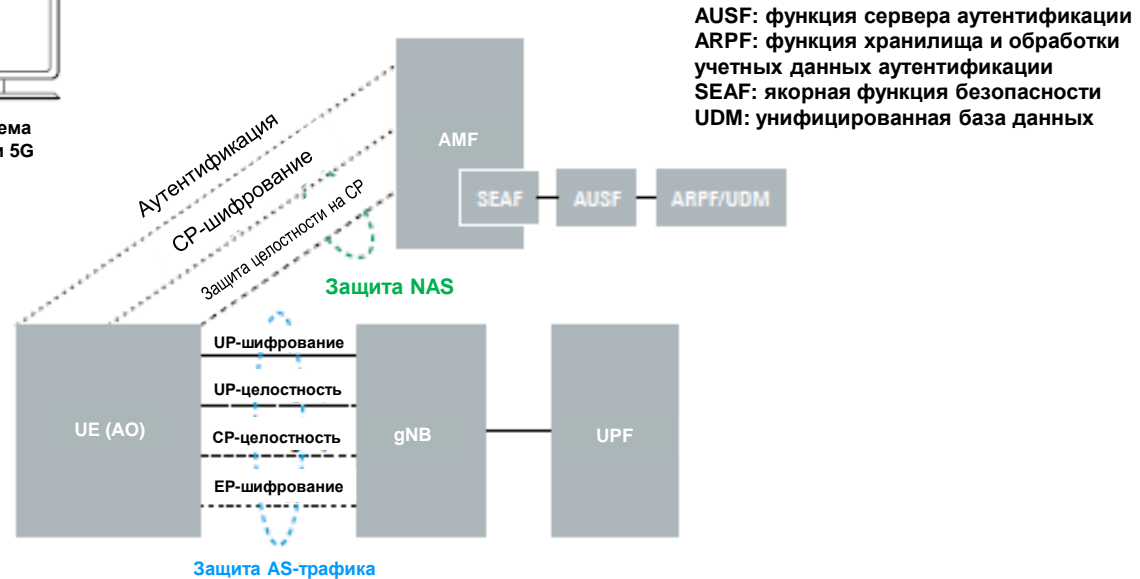
Частотный диапазон	SCS	Полоса частот	Нисходящий (DL) канал	Восходящий (UL) канал	Спектральная эффективность (DL)	Спектральная эффективность (UL)
FR1	15 кГц	50 МГц	288,9 Мбит/с	309,1 Мбит/с	5,78 бит/с/Гц	6,18 бит/с/Гц
FR1	30 кГц	100 МГц	584,3 Мбит/с	625 Мбит/с	5,84 бит/с/Гц	6,25 бит/с/Гц
FR1	60 кГц	100 МГц	577,8 Мбит/с	618,1 Мбит/с	5,78 бит/с/Гц	6,18 бит/с/Гц
FR2	60 кГц	200 МГц	1,08 Гбит/с	1,18 Гбит/с	5,40 бит/с/Гц	5,90 бит/с/Гц
FR2	120 кГц	400 МГц	2,15 Гбит/с	2,37 Гбит/с	5,38 бит/с/Гц	5,93 бит/с/Гц
сравнение с LTE	15 кГц	20 МГц	100 Мбит/с	100 Мбит/с	5 бит/с/Гц	5 бит/с/Гц

МЕХАНИЗМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ В СЕТЯХ 5G NR



В системе связи 5G NR реализованы независимые функции обеспечения защиты на уровнях пользователя (UP) и управления (CP):

- Аутентификация
- Шифрование
- Защита целостности

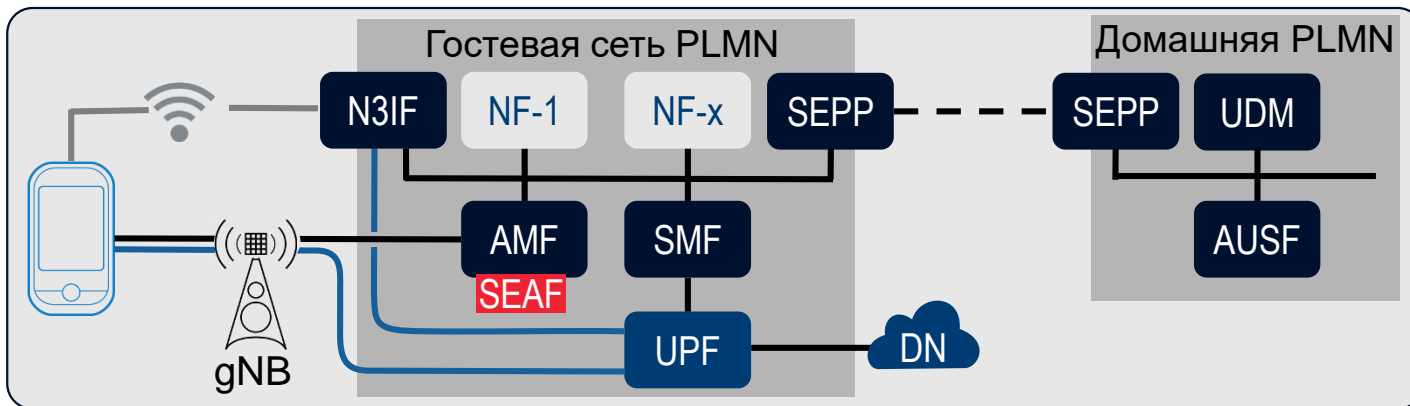


Основной аспект безопасности, охватываемый стандартом 3GPP версии 15

Новый фреймворк аутентификации для доступа к 3GPP/ non-3GPP (EPA-AKA/5G-AKA)

Эффективное использование архитектуры на основе служб Ipsec and OAuth2.0

Защищенное взаимодействие между VPLMN и HPLMN на сетевом и прикладном уровнях



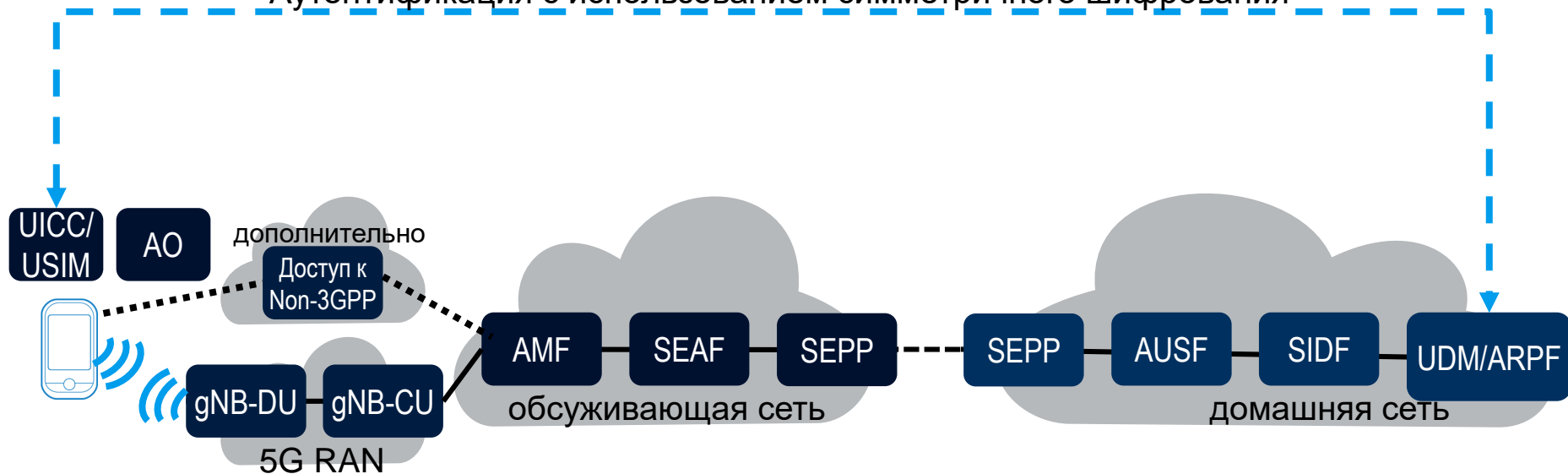
Защита конфиденциальных данных (идентификатор **SUPI** всегда защищен открытым ключом)

Защита целостности и обеспечение секретности в плоскости сигнализации и на уровне пользователя

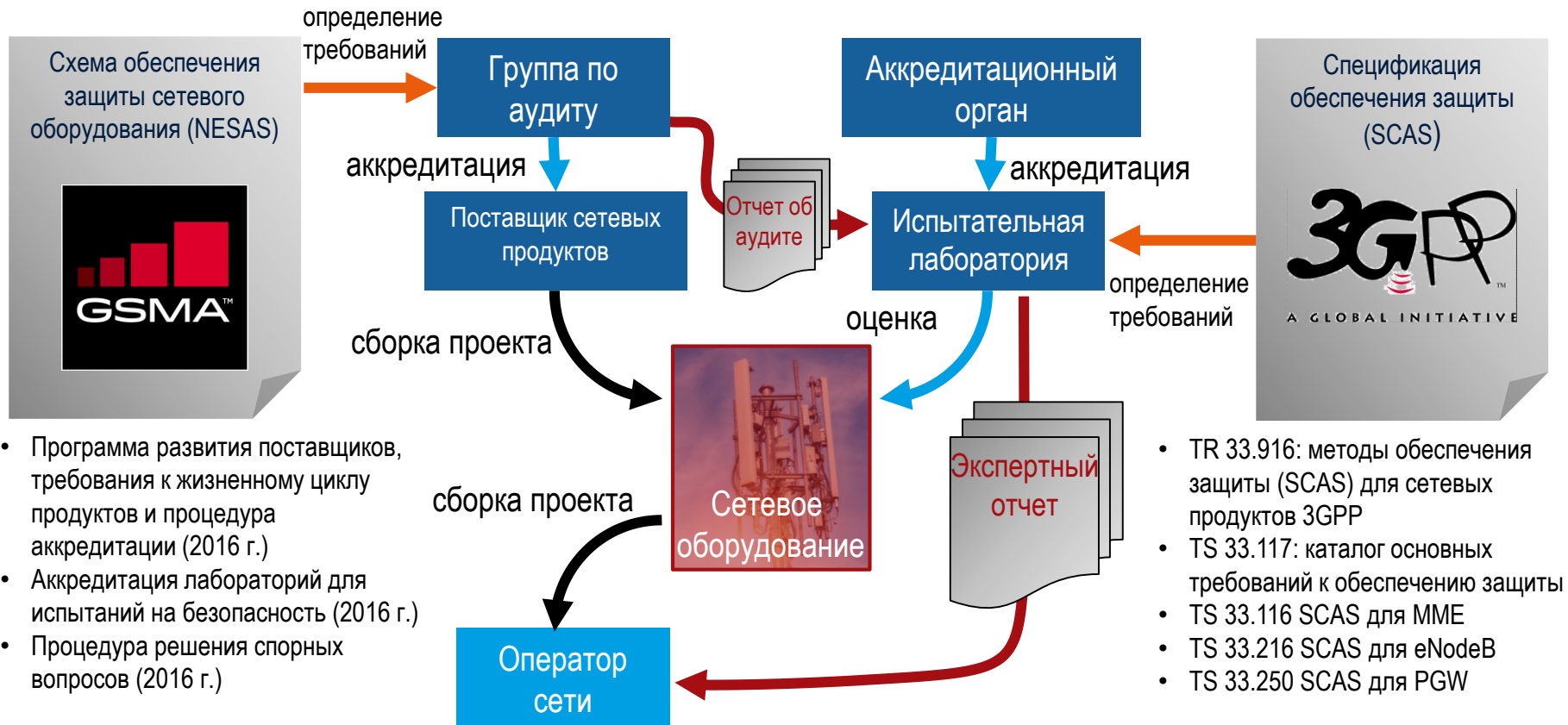
Защита сетей, работающих в режиме двойного подключения, частных сетей, сетевого сегментирования и др.

Модель доверия в сетях 5G

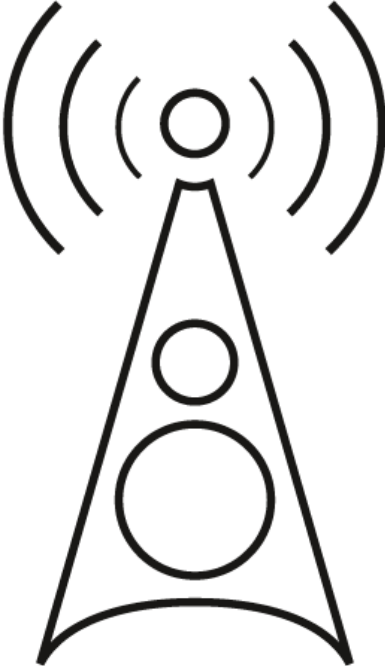
Аутентификация с использованием симметричного шифрования



Обеспечение защиты сетевого оборудования для сетей мобильной связи

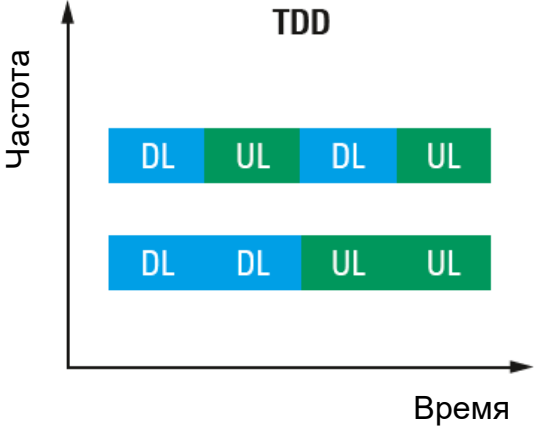
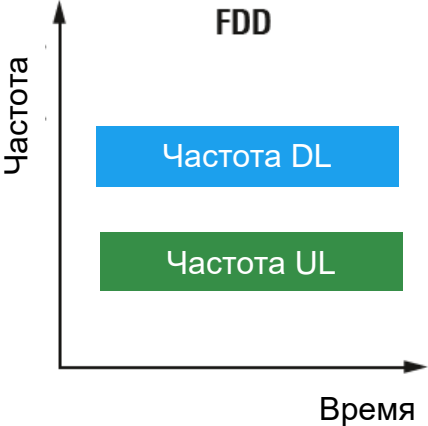


АСПЕКТЫ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ В СЕТЯХ 5G NR

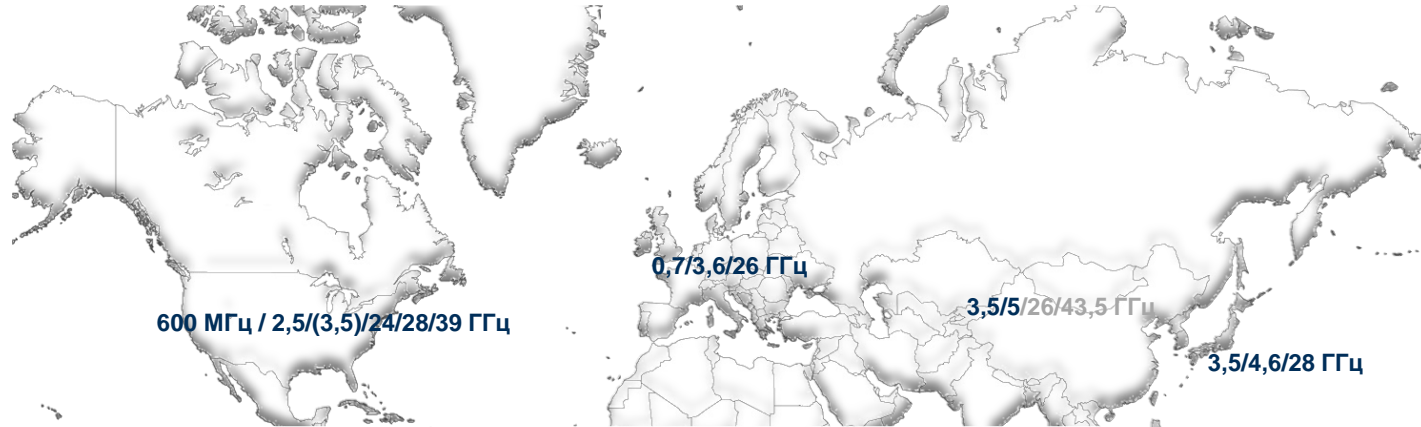


Нисходящий (DL) канал

Восходящий (UL) канал



ДИНАМИКА ОСВОЕНИЯ ЧАСТОТ В СЕТЯХ 5G



- Европа**
700 МГц
3,4 – 3,8 ГГц
24,25 – 27,5 ГГц
- Китай**
2,5 – 2,6 ГГц
3,3 – 3,6 ГГц
4,8 – 5 ГГц
24,75 – 27,5 ГГц
(изучение)
37 – 43,5 ГГц
(изучение)
- США**
600 МГц
2,4 ГГц
[диапазон CBRS (3,5 ГГц)]
27,5 – 28,35 ГГц
37 – 40 ГГц
- Австралия**
3,6 ГГц
26 ГГц
- Корея**
3,42 – 3,7 ГГц
26,5 – 28,9 ГГц
- Япония**
4,4 – 4,9 ГГц
28 ГГц

NR, частотный диапазон 1
зарезервированы номера 65-256

NR, частотный диапазон 2
зарезервированы номера 257-512

	Нисходящий канал	Восходящий канал
...
n77	3,3 – 4,2 ГГц	3,3 – 4,2 ГГц
n78	3,3 – 3,8 ГГц	3,3 – 3,8 ГГц
n79	4,4 – 5 ГГц	4,4 – 5 ГГц
...

	Нисходящий канал	Восходящий канал
n257	26,5 – 29,5 ГГц	26,5 – 29,5 ГГц
n258	24,25 – 27,5 ГГц	24,25 – 27,5 ГГц
n259	н/д	н/д
n260	37 – 40 ГГц	37 – 40 ГГц

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СЕТЯХ 5G NR

- ▶ В спецификациях 3GPP используются два основных диапазона частот (FR1 и FR2)
 - **FR1: от 410 МГц до 7,125 ГГц; FR 2: от 24,25 до 52,6 ГГц** для 3GPP версии 15
- ▶ Следует заметить, что требования к ВЧ-характеристикам в ряде случаев определяются для этих диапазонов частот по отдельности
- ▶ Определение RAN4 для опорных частот (частотная сетка каналов, сетка блоков синхронизации):

$$F_{\text{оп}} = F_{\text{оп-смещ}} + \Delta F_{\text{глоб}} (N_{\text{оп}} - N_{\text{оп-смещ}})$$

зависит от диапазона частот
(равно или больше $\Delta F_{\text{глоб}}$)

Диапазон частот	$\Delta F_{\text{глоб}}$	$F_{\text{оп-смещ}}$	$N_{\text{оп-смещ}}$	Диапазон $N_{\text{оп}}$
0 – 3000 МГц	5 кГц	0 МГц	0	0 – 599999
3000 – 24250 МГц	15 кГц	3000 МГц	600000	600000 – 2016666
24250 – 100000 МГц	60 кГц	24250,08 МГц	2016667	2016667 – 3279165

NR-ARFCN

Источник: TS 38.104

ЧАСТОТНЫЕ РЕСУРСЫ СЕТИ 5G NR: РАБОЧИЕ ДИАПАЗОНЫ В FR1 (<24 ГГц)

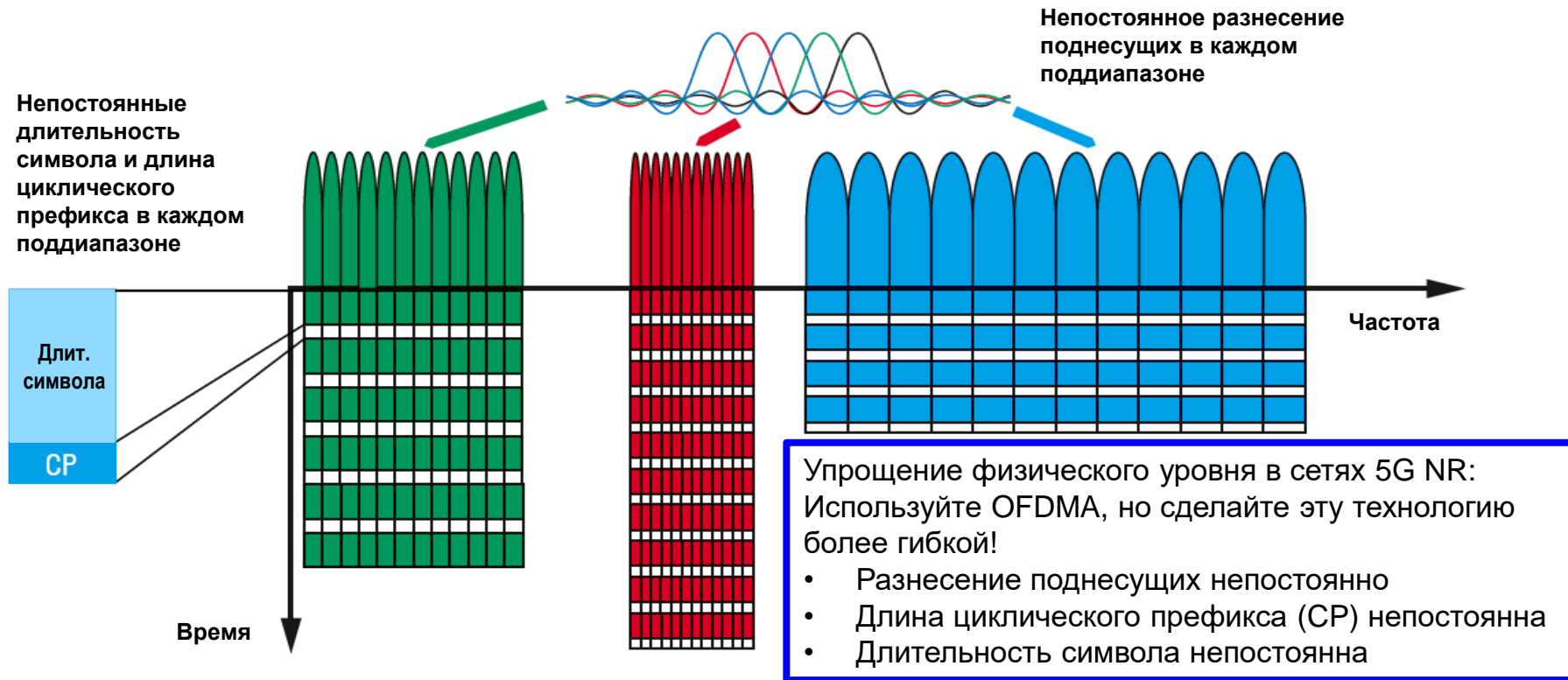
Рабочий диапазон NR	Рабочий диапазон восходящего (UL) канала БС в режиме приема АО в режиме передачи		Рабочий диапазон нисходящего (DL) канала БС в режиме передачи АО в режиме приема		Дуплексный режим
	$F_{UL_низ} - F_{UL_выс}$		$F_{DL_низ} - F_{DL_выс}$		
n1	1920 МГц	– 1980 МГц	2110 МГц	– 2170 МГц	FDD
n2	1850 МГц	– 1910 МГц	1930 МГц	– 1990 МГц	FDD
n3	1710 МГц	– 1785 МГц	1805 МГц	– 1880 МГц	FDD
n5	824 МГц	– 849 МГц	869 МГц	– 894 МГц	FDD
n7	2500 МГц	– 2570 МГц	2620 МГц	– 2690 МГц	FDD
n8	880 МГц	– 915 МГц	925 МГц	– 960 МГц	FDD
n20	832 МГц	– 862 МГц	791 МГц	– 821 МГц	FDD
n28	703 МГц	– 748 МГц	758 МГц	– 803 МГц	FDD
n38	2570 МГц	– 2620 МГц	2570 МГц	– 2620 МГц	TDD
n41	2496 МГц	– 2690 МГц	2496 МГц	– 2690 МГц	TDD
n50	1432 МГц	– 1517 МГц	1432 МГц	– 1517 МГц	TDD
n51	1427 МГц	– 1432 МГц	1427 МГц	– 1432 МГц	TDD
n66	1710 МГц	– 1780 МГц	2110 МГц	– 2200 МГц	FDD
n70	1695 МГц	– 1710 МГц	1995 МГц	– 2020 МГц	FDD
n71	663 МГц	– 698 МГц	617 МГц	– 652 МГц	FDD
n74	1427 МГц	– 1470 МГц	1475 МГц	– 1518 МГц	FDD
n75		н/д	1432 МГц	– 1517 МГц	SDL
n76		н/д	1427 МГц	– 1432 МГц	SDL
n78	3300 МГц	– 3800 МГц	3300 МГц	– 3800 МГц	TDD
n77	3300 МГц	– 4200 МГц	3300 МГц	– 4200 МГц	TDD
n79	4400 МГц	– 5000 МГц	4400 МГц	– 5000 МГц	TDD
n80	1710 МГц	– 1785 МГц		н/д	SUL
n81	880 МГц	– 915 МГц		н/д	SUL
n82	832 МГц	– 862 МГц		н/д	SUL
n83	703 МГц	– 748 МГц		н/д	SUL
n84	1920 МГц	– 1980 МГц		н/д	SUL

ЧАСТОТНЫЕ РЕСУРСЫ СЕТИ 5G NR: РАБОЧИЕ ДИАПАЗОНЫ В FR2 (>24 ГГц)

	Рабочий диапазон NR	Рабочий диапазон восходящего (UL) канала БС в режиме приема АО в режиме передачи		Рабочий диапазон нисходящего (DL) канала БС в режиме передачи АО в режиме приема			Дуплексный режим
		$F_{UL_низ}$	$F_{UL_выс}$	$F_{DL_низ}$	$F_{DL_выс}$		
	n257	26500 МГц	– 29500 МГц	26500 МГц	– 29500 МГц		TDD
	n258	24250 МГц	– 27500 МГц	24250 МГц	– 27500 МГц		TDD
	n260	37000 МГц	– 40000 МГц	37000 МГц	– 40000 МГц		TDD
	n261	27500 МГц	– 28350 МГц	27500 МГц	– 28350 МГц		TDD

АСПЕКТЫ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ В СЕТЯХ 5G NR

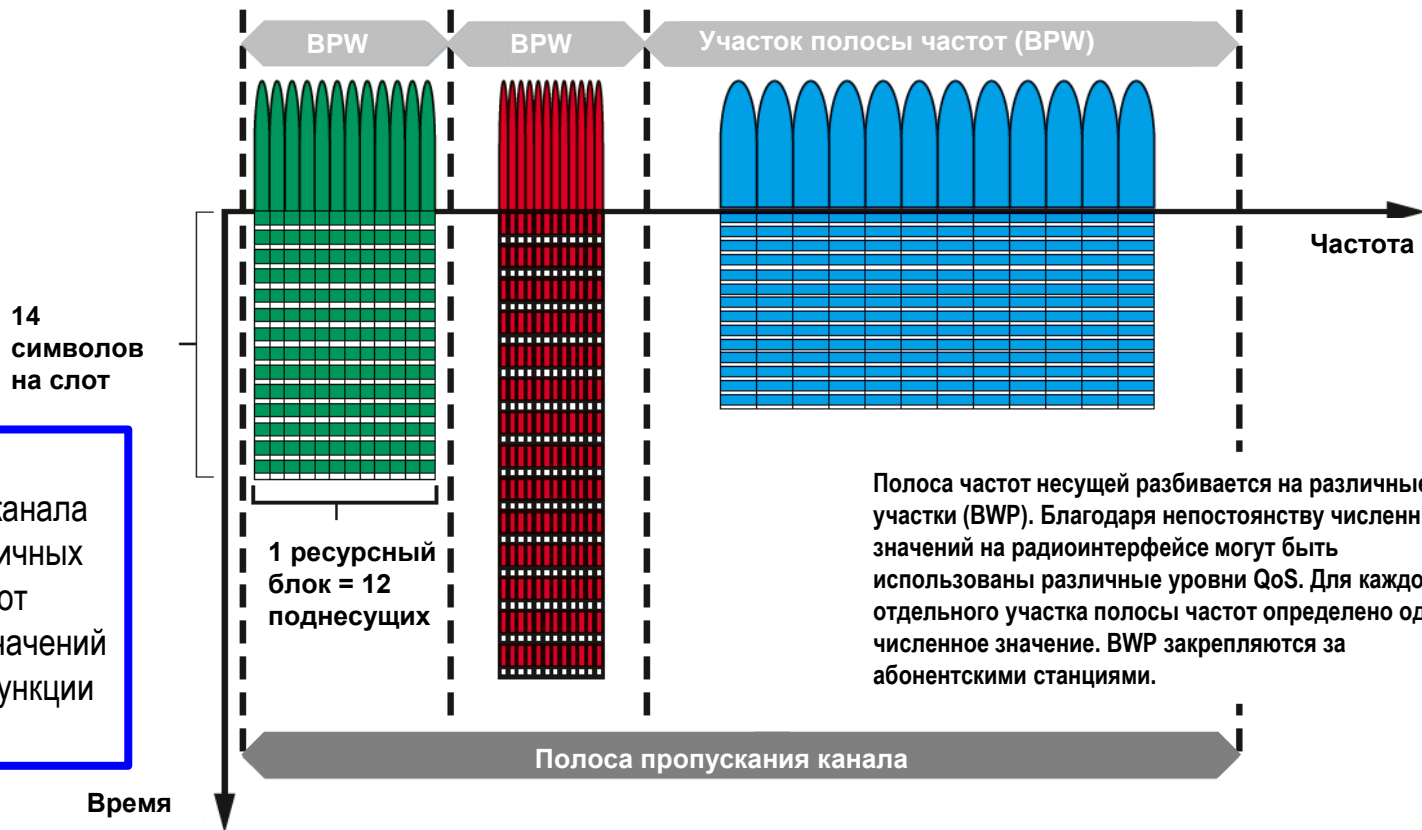
ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ТЕХНОЛОГИИ F-OFDMA



5G NR: НЕПОСТОЯННЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ F-OFDMA

Разнесение поднесущих (кГц)	15	30	60	120	240
Длительность символа (мкс)	66,7	33,3	16,7	8,33	4,17
Длина циклического префикса (мкс)	4,7	2,3	1,2 (нормальный) 4,13 (расширенный)	0,59	0,29
Макс. номинальная ширина полосы частот (МГц)	50	100	100 для FR1 200 для FR2	400	400
Макс шаг БПФ	4096	4096	4096	4096	4096
Кол-во символов на слот	14	14	14 12 (расширенный CP)	14	14
Кол-во слотов на подкадр	1	2	4	8	16
Кол-во слотов на кадр	10	20	40	80	160

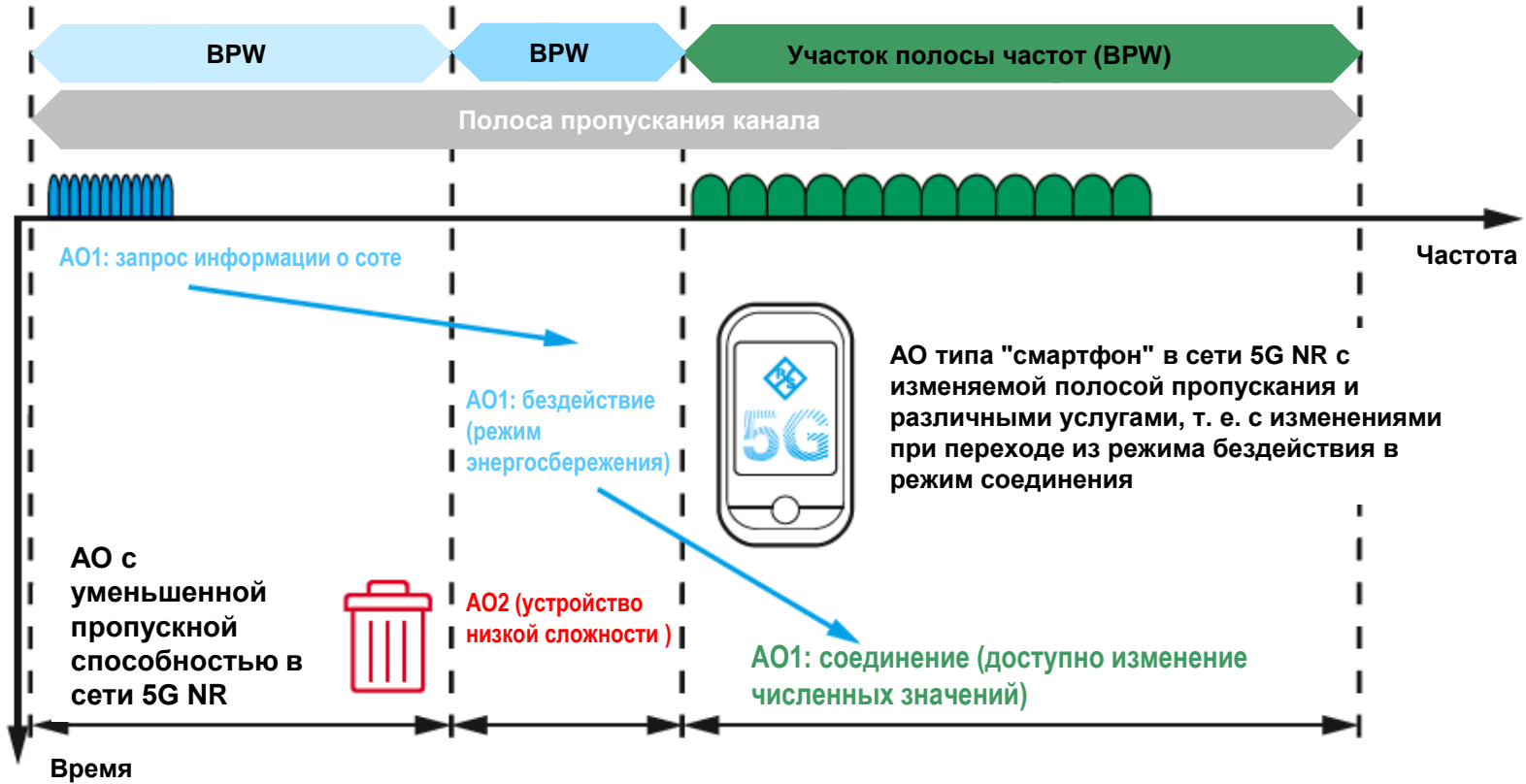
5G NR: ГИБКОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ F-OFDMA В ЧАСТИ СПЕКТРА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ



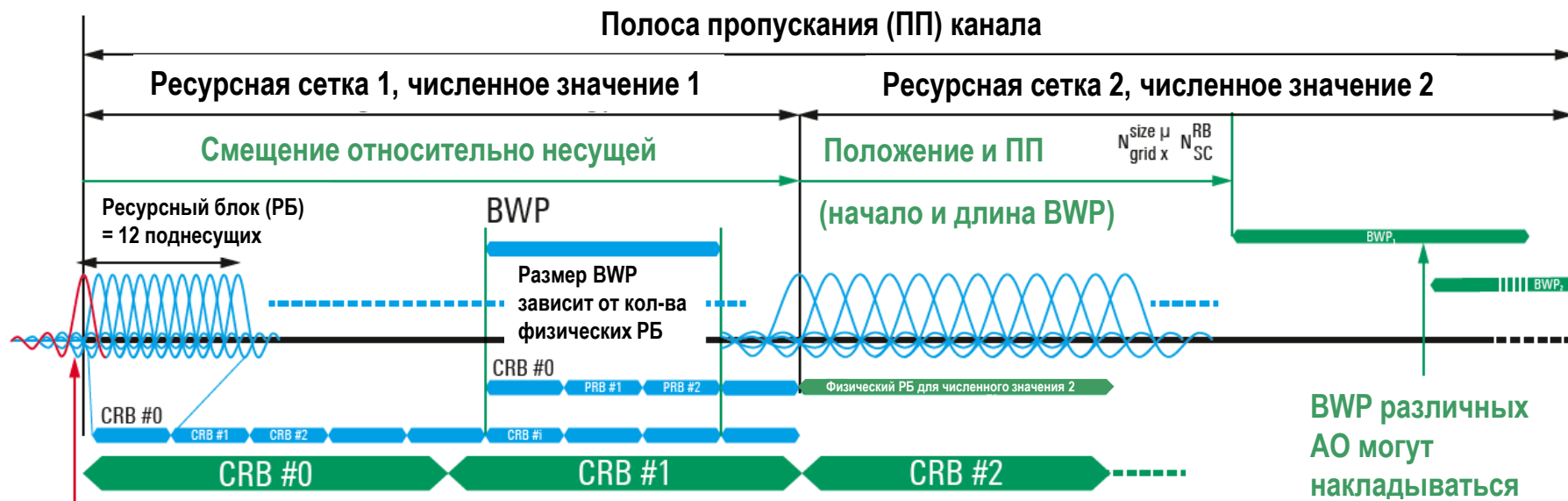
Идея для 5G NR:
Полоса пропускания канала
Задействование различных
участков полосы частот
(BWP) и численных значений
для использования функции
QoS на уровне 1

Полоса частот несущей разбивается на различные участки (BWP). Благодаря непостоянству численных значений на радиointерфейсе могут быть использованы различные уровни QoS. Для каждого отдельного участка полосы частот определено одно численное значение. BWP закрепляются за абонентскими станциями.

СЦЕНАРИИ С УЧАСТКАМИ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ



5G NR: ИНФОРМАЦИЯ О РЕСУРСНОЙ СЕТКЕ



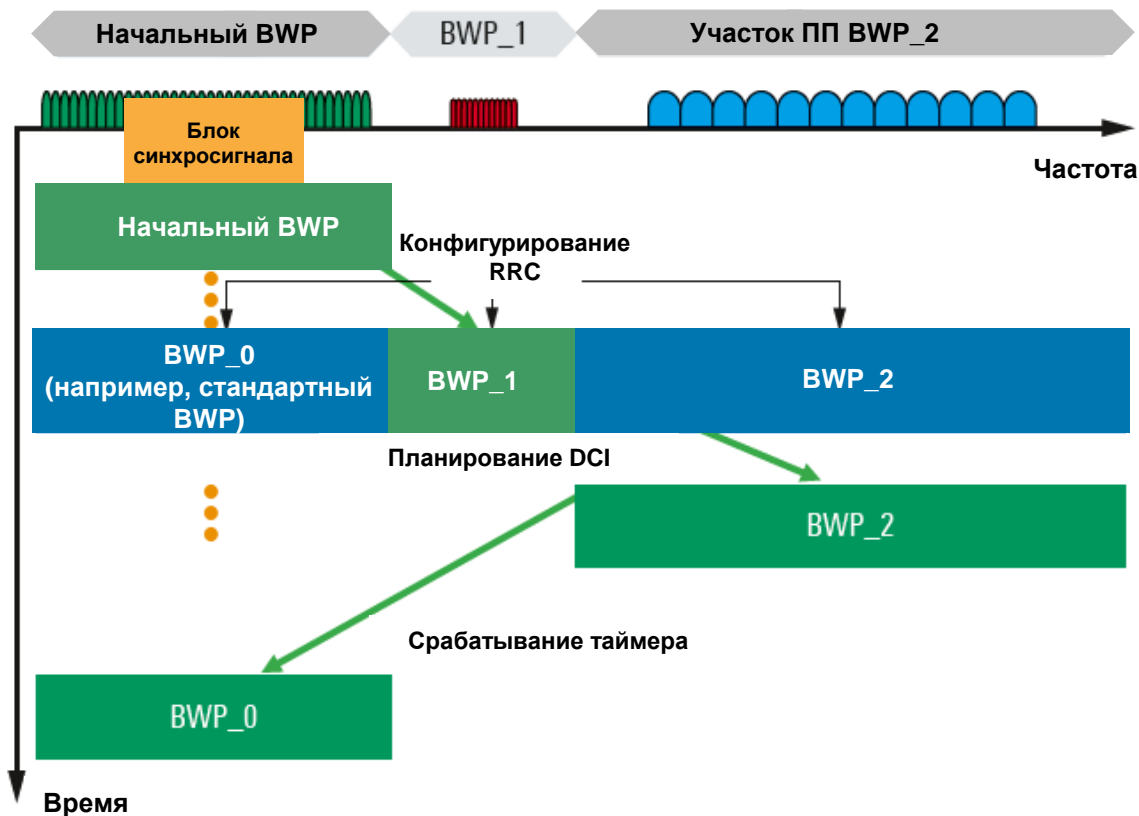
Точка А, представляющая точку абсолютной частоты А, выраженная в виде абсолютного номера частотного канала (ARFCN)

Физические ресурсные блоки (относительно общих ресурсных блоков), привязанные к BWP

Общие ресурсные блоки для численного значения 2 (относительно точки А, зависит от разнесения поднесущих (SCS))

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ УЧАСТКОВ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ

1. Запрос АО информации о сети в начальном BWP.
2. Установление соединения, конфигурирование протоколом RRC до 4 BWP, активация, например, BWP_1.
3. При установленном соединении BWP может быть изменен в ходе планирования DCI.
4. Изменение BWP вследствие срабатывания таймера.



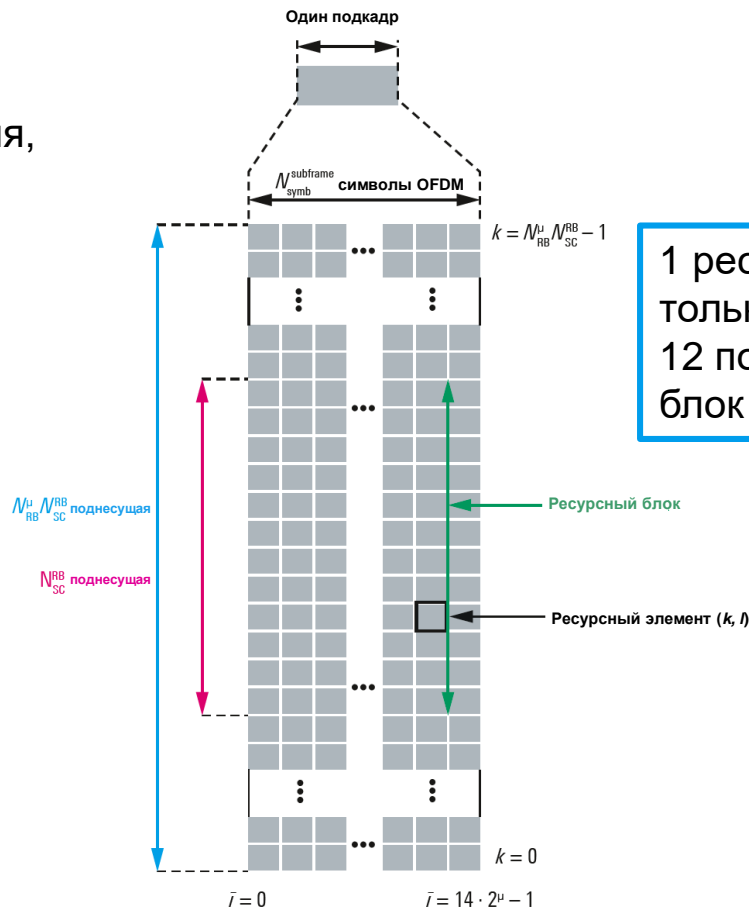
5G NEW RADIO (NR): УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РАДИОИНТЕРФЕЙС

ОБЗОР КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ

Параметр	FR1 (410 МГц – 7,125 ГГц)	FR2 (24,25 – 52,6 ГГц)
Агрегация несущих	До 16 несущих	
Полоса частот на несущую	5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 90, 100 МГц	50, 100, 200, 400 МГц
Разнесение поднесущих	15, 30, 60 кГц	60, 120, 240 (не для данных) кГц
Макс. количество поднесущих	3300 (необходимо для FFT4096)	
Схема модуляции	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM; в восходящем (UL) канале поддерживается также π/2-BPSK (только для DFT-s-OFDM)	
Длина радиокадра	10 мс	
Длина подкадра	1 мс (выравнивание по границам символов каждую 1 мс)	
Схема MIMO	До двух кодовых слов связываются с максимум 8 уровнями в нисходящем (DL) канале и максимум 4 уровнями в восходящем (UL) канале	
Дуплексный режим	TDD, FDD	TDD
Схема доступа	DL: CP-OFDM; UL: CP-OFDM, DFT-s-OFDM	

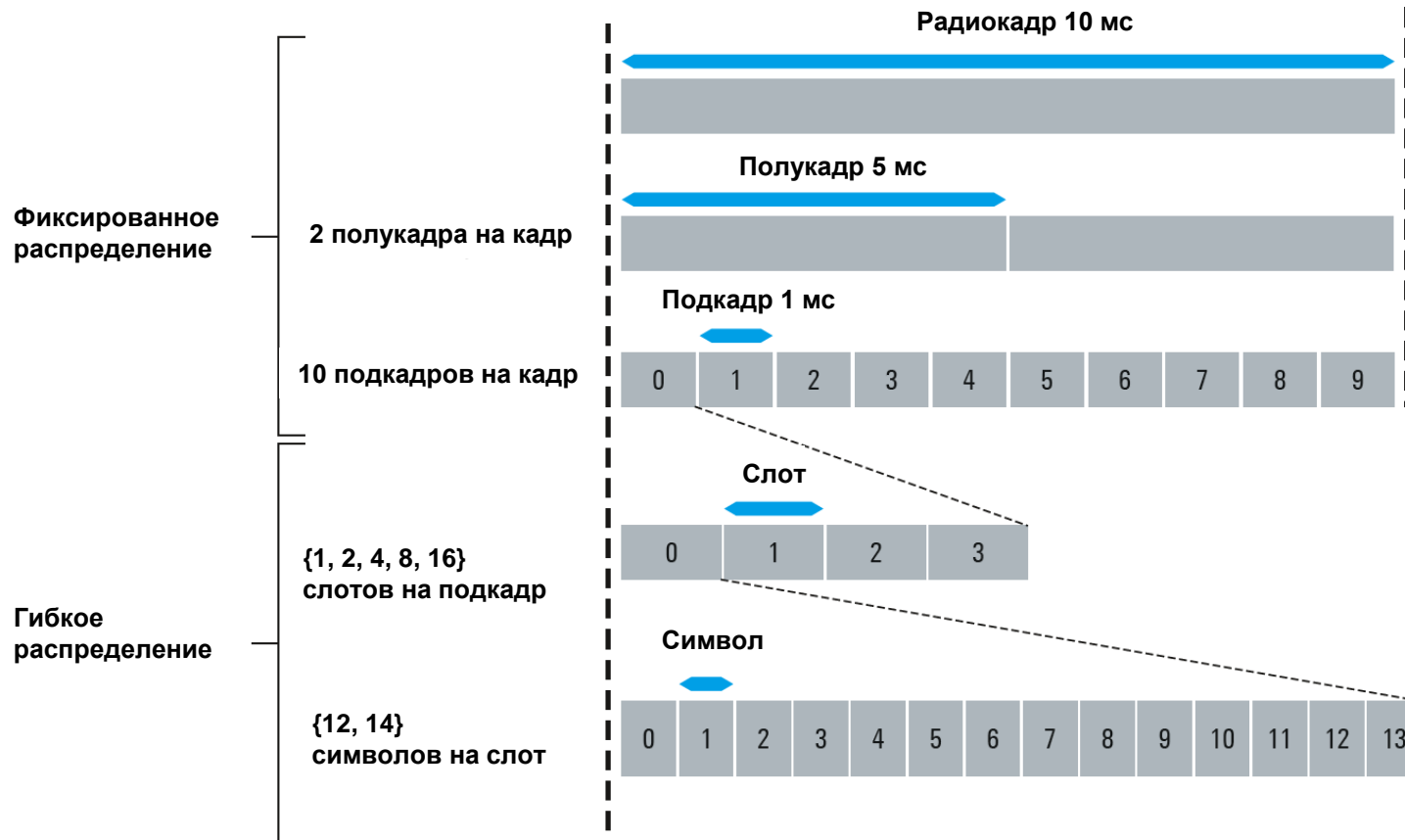
5G NR: РЕСУРСЫ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ

В технологии 5G NR
используются те же понятия,
что и в LTE:
поднесущая, ресурсный
элемент, ресурсный блок,
подкадр и др.

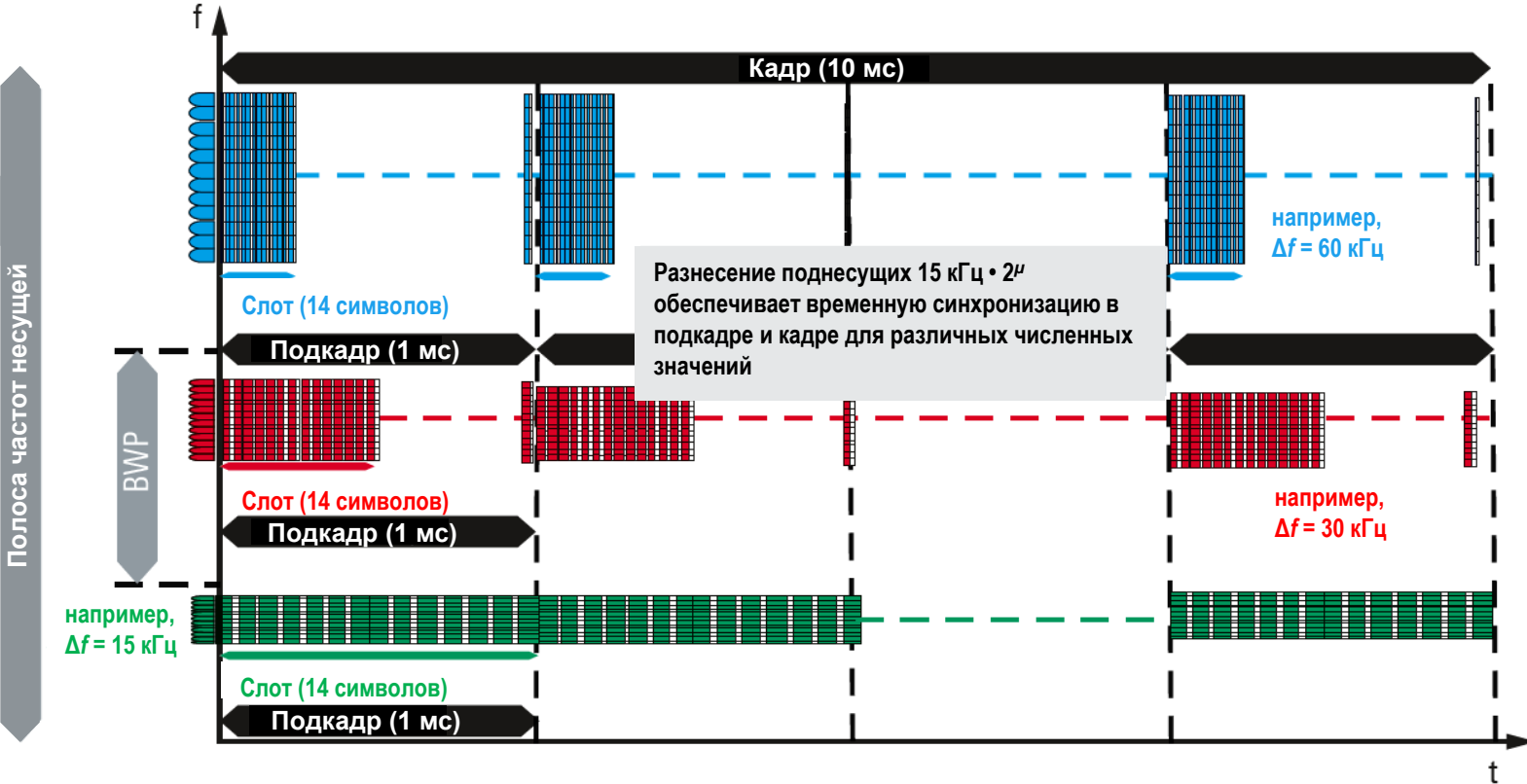


1 ресурсный блок определяется
только в частотной области!
12 поднесущих = 1 ресурсный
блок

5G NR: СТРУКТУРА КАДРА



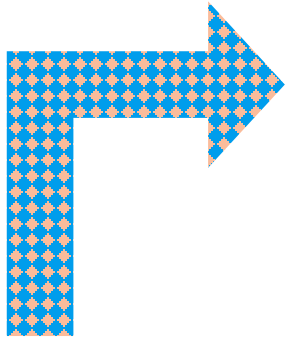
5G NR: СТРУКТУРА КАДРА, ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ МЕЖСИСТЕМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ



5G NR: КАНАЛЫ И СИГНАЛЫ

Пользовательские
данные канала
PUSCH

Восходящий разделяемый
канал (пользовательские
данные и дополнительная
управляющая информация в
восходящем канале (UCI))

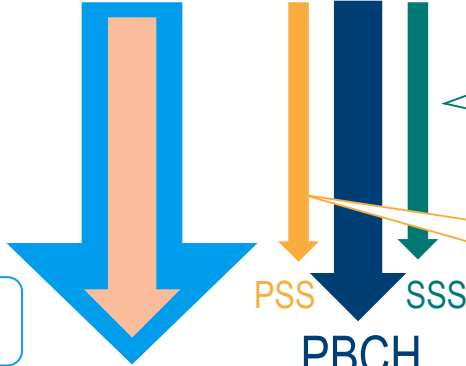
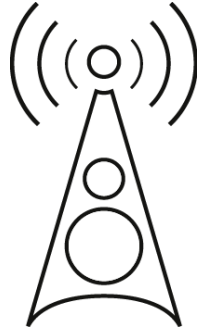


Нисходящий
разделяемый канал

Пользовательские данные PDSCCH

Разделяемый канал
управления

Управляющая информация PDCCCH



Вторичный
сигнал
синхронизации

Первичный
сигнал
синхронизации

Широковещательный
канал

Управляющая
информация канала
PUCCH

PRACH

Управляющая
информация в
восходящем
канале (UCI)

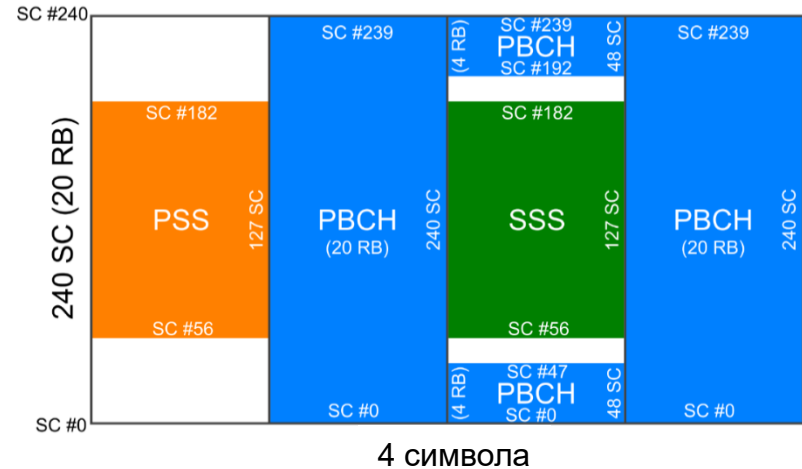
Физический
канал
произвольного
доступа



БЛОКИ SS/PBCH

- ▶ Во временной области блок SS/PBCH состоит из 4 символов OFDM, пронумерованных в порядке возрастания от 0 до 3 в рамках этого блока, где PSS, SSS и PBCH с соответствующими данными DM-RS занимают различные символы
- ▶ В частотной области блок SS/PBCH состоит из 240 смежных поднесущих, пронумерованных в порядке возрастания от 0 до 239 в рамках этого блока
- ▶ Два типа блоков SS/PBCH:
 - Тип А (15 кГц и 30 кГц)
 - Тип В (120 кГц и 240 кГц)

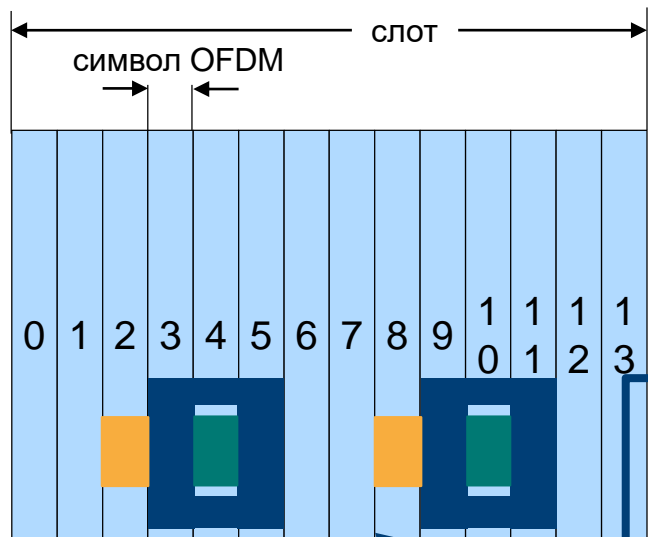
Блок SS/PBCH



- Как и в LTE, идентификатор соты (Cell ID) может быть получен из используемых последовательностей PSS/SSS

БЛОКИ SS/PBCH

ЧАСТОТА ПОЯВЛЕНИЯ В КАДРЕ ЗАВИСИТ ОТ РАЗНЕСЕНИЯ ПОДНЕСУЩИХ (SCS)



Начальный символ SSB
зависит от разнесения
поднесущих

Разнесение поднесущих	$f_c < 3$ ГГц ($L_{\text{макс}} = 4$)	3 ГГц $< f_c < 6$ ГГц ($L_{\text{макс}} = 8$)	$f_c > 6$ ГГц ($L_{\text{макс}} = 64$)
Сценарий А: 15 кГц	2,8,16,22	2,8,16,22,30,38,44,50	н/д
Сценарий В: 30 кГц	4,8,16,20	4,8,16,20,32,36,44,48	н/д
Сценарий С: 30 кГц TDD	$f_c < 2,4$ ГГц: 2,8,16,22	$f_c > 2,4$ ГГц: 2,8,16,22,30,38,44,50	н/д
Сценарий С: 30 кГц FDD	$f_c < 3$ ГГц: 2,8,16,22	$f_c > 3$ ГГц: 2,8,16,22,30,38,44,50	н/д
Сценарий D: 120 кГц	н/д	н/д	4,8,16,20, ..., 508,512,520,524
Сценарий E: 240 кГц	н/д	н/д	8,12,16,20, ..., 480,484,488,492

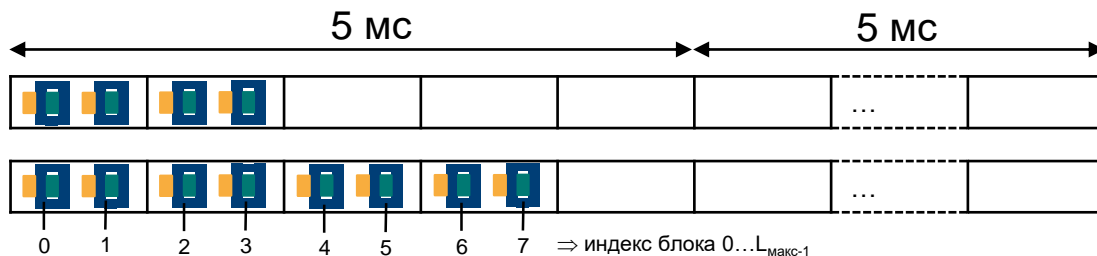
БЛОКИ SS/PBCH

ЧАСТОТА ПОЯВЛЕНИЯ В КАДРЕ: СЦЕНАРИИ А, В И С

Сценарий А (15 кГц)

$f \leq 3$ ГГц ($L=4$)

$3 < f \leq 6$ ГГц ($L=8$)

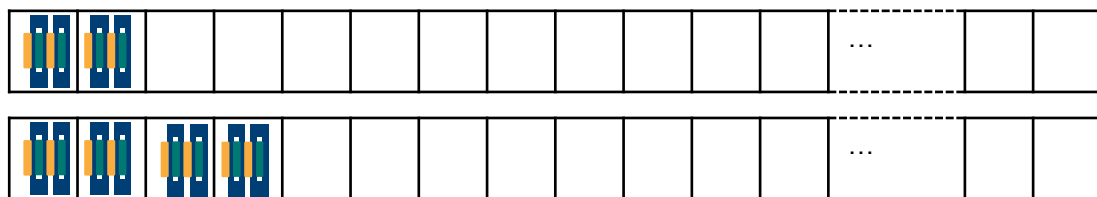


3,6 МГц

Сценарий В (30 кГц)

$f \leq 3$ ГГц ($L=4$)

$3 < f \leq 6$ ГГц ($L=8$)

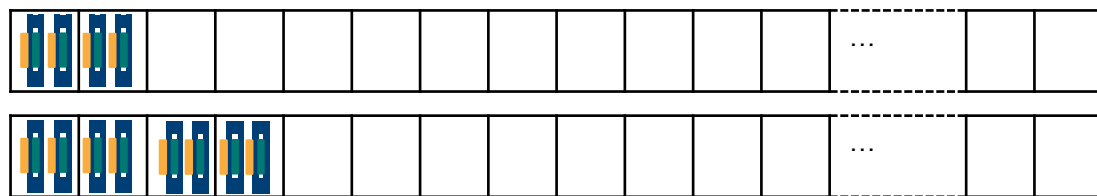


7,2 МГц

Сценарий С (30 кГц)

$f \leq 3$ ГГц ($L=4$)

$3 < f \leq 6$ ГГц ($L=8$)



ПОДРОБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О БЛОКАХ SS/PBCH

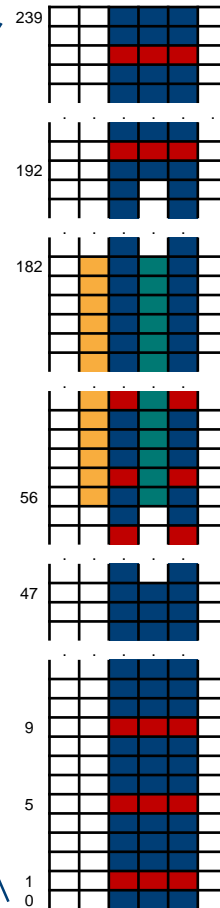
РЕСУРСЫ PSS, SSS, PBCH И DM-RS ДЛЯ PBCH

- Последовательность, используемая для DM-RS в канале PBCH, зависит от идентификатора соты, количества полукадров, которые передаются в кадре PBCH, и индекса SS/PBCH (подробная информация приводится в спецификации TS38.213, раздел 4.1)
- Фактически это позволяет передавать $L_{\text{макс}}$ различных "типовых" лучей

Канал или сигнал	Номер символа OFDM / относительно начала блока SS/PBCH	Номер поднесущей k относительно начала блока SS/PBCH
PSS	0	56, 57, ..., 182
SSS	2	56, 57, ..., 182
установка на 0	0	0, 1, ..., 55, 183, 184, ..., 236
	2	48, 49, ..., 55, 183, 184, ..., 191
PBCH	1, 3	0, 1, ..., 239
	2	0, 1, ..., 47, 192, 193, ..., 239
DM-RS для PBCH	1, 3	$0+v, 4+v, 8+v, \dots, 236+v$
	2	$0+v, 4+v, 8+v, \dots, 44+v$ $192+v, 4+v, 196+v, \dots, 236+v$

■ v следующим образом зависит от идентификатора соты:

$$v = N_{\text{ID}}^{\text{cell}} \bmod 4$$



Пример с $v=1$

ОПОРНЫЕ СИГНАЛЫ ДЕМОДУЛЯЦИИ SS/PBCH

В каждом блоке SS/PBCH содержится собственная последовательность DMRS, зависящая от идентификатора соты

$$r(m) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m)) + j \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m + 1))$$

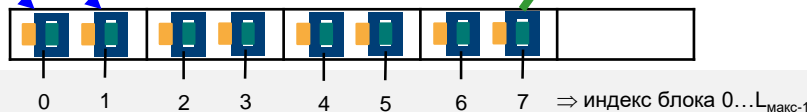
с исходными значениями $c_{init} = 2^{11}(\bar{i}_{SSB} + 1)(\lfloor N_{ID}^{cell} / 4 \rfloor + 1) + 2^6(\bar{i}_{SSB} + 1) + (N_{ID}^{cell} \bmod 4)$
 $\bar{i}_{SSB} = 4i_{SSB} + n_{hf}$

Индекс SSB в полукadre инициирует генерацию последовательности

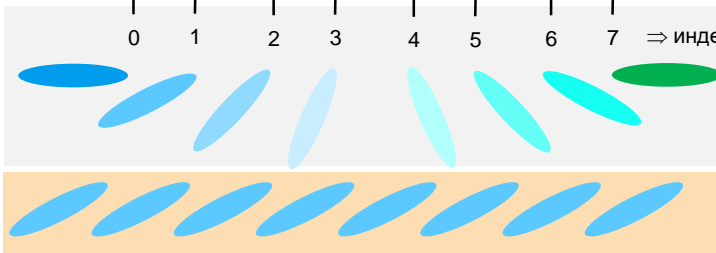
$r(0), \dots, r(143)$

Различные последовательности DMRS

5 мс



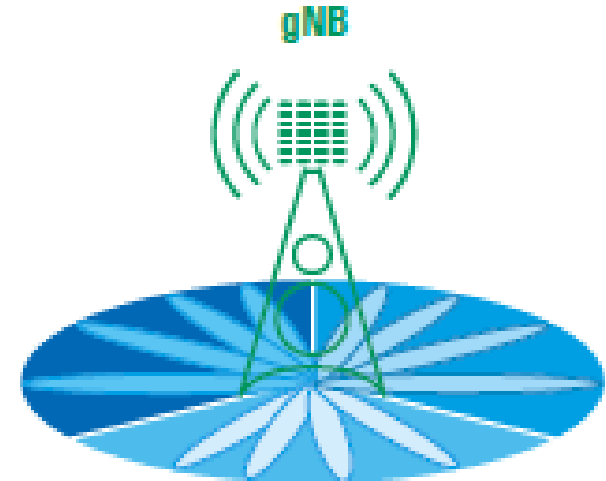
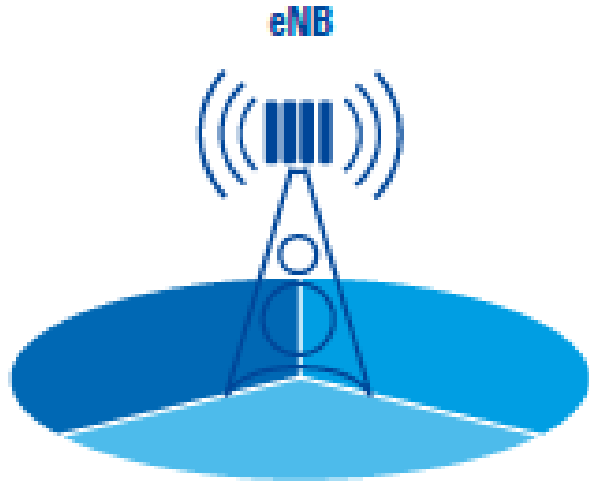
Блоки SSB могут быть по отдельности назначены портам антенны



Назначение SSB портам антенны: качание луча ДН

Назначение SSB портам антенны: статичный луч ДН

ВАРИАНТЫ АРХИТЕКТУРЫ: LTE И 5G NR

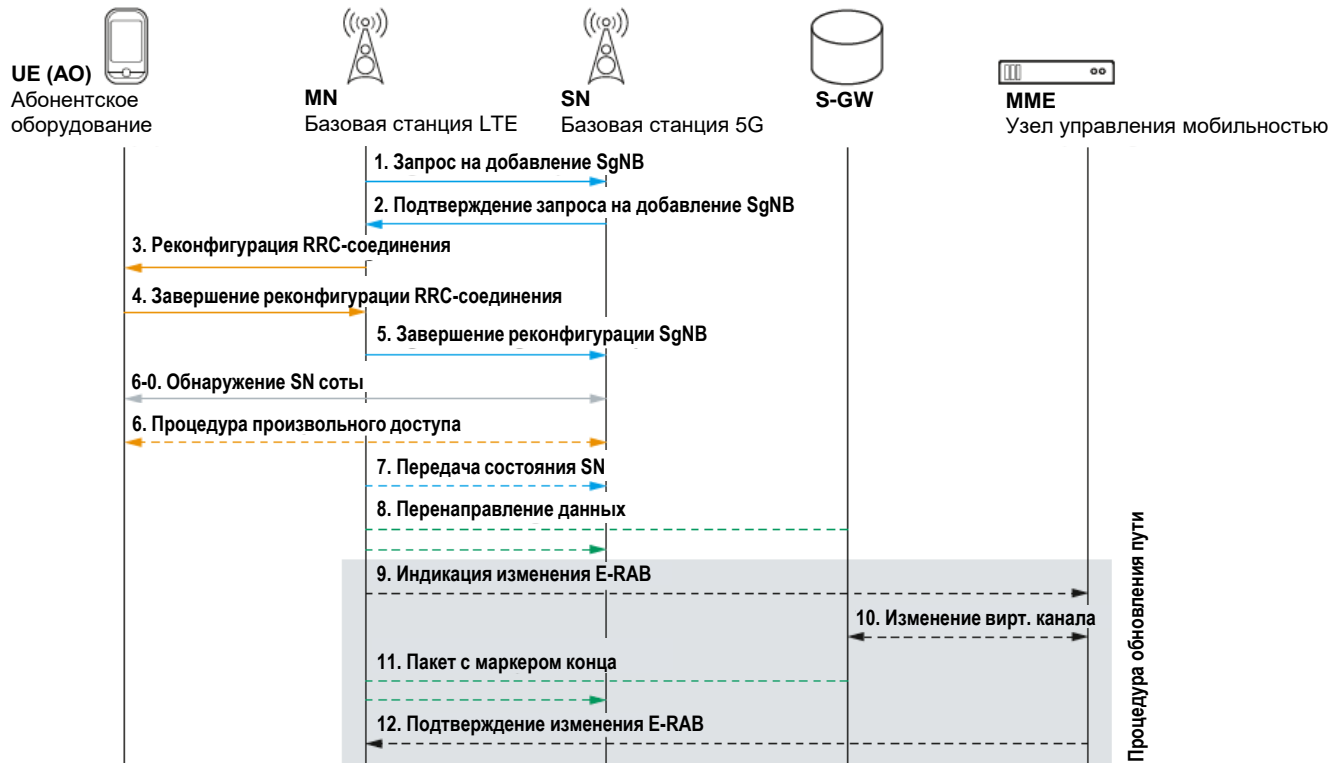


Различие между секторизованной сотой eNB и секторизованной сотой gNB с формированием SSB-сигнала

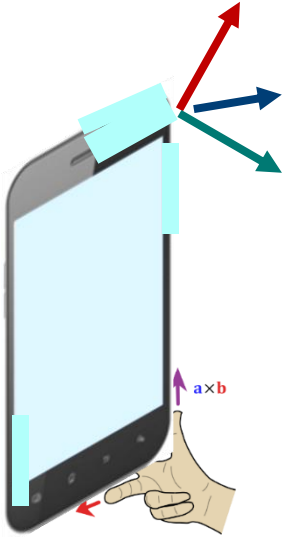
5G NR В РЕЖИМЕ SA: УСТАНОВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ



5G NR В РЕЖИМЕ NSA: УСТАНОВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ



ДОПУЩЕНИЯ В ЧАСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АБОНЕНТСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ ДИАПАЗОНА FR2

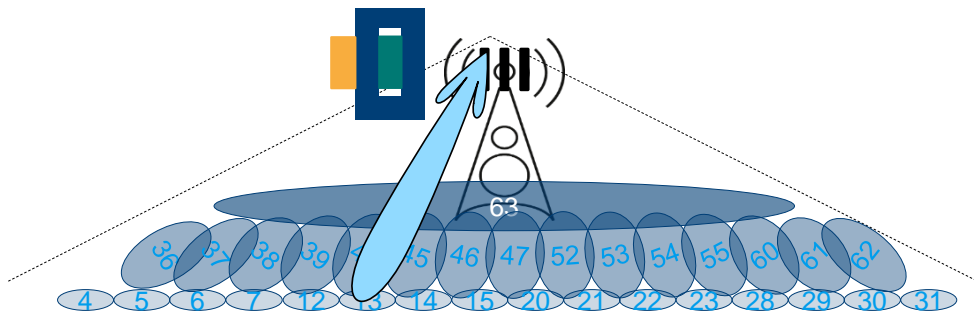


- На стороне АО используется несколько антенных решеток, расположенных по периметру устройства
- Использование нескольких антенных решеток, вероятно, позволит избежать блокировки сигнала руками
- Только одна антенная решетка будет активна в каждый момент времени (разнесение с коммутацией)
- Количество элементов на решетку: предположительно 4
- Коэффициент усиления антенны: предположительно 4-5 дБ
- Коэффициент шума: предположительно 10 дБ

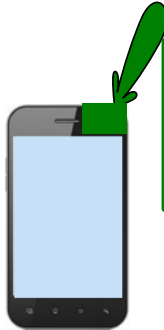
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДАЧИ В ДИАПАЗОНАХ FR1 И FR2

Параметр	FR1	FR2
Класс мощности	PC3 = 23 дБмВт PC2 = 26 дБмВт, HPAE	4 класса с различными сценариями использования PC1 = FWA PC2 = использование на транспортном средстве PC3 = портативное использование PC4 = высокая мощность, портативное использование невозможно
Макс. выходная мощность	Измерено при подключении к порту антенны: +23 дБмВт ± 2 дБ	Определяется как EIRP (ЭИИМ, эквивалентная изотропно излучаемая мощность) Мин. EIRP в главном лепестке ~22,4 дБмВт Макс. EIRP в главном лепестке ~43 дБмВт (портативное использование) Поддержка многодиапазонности = ослабление <2 дБ
Мин. выходная мощность	Измерено при подключении к порту антенны: от -33 дБмВт до -40 дБмВт в зависимости от полосы пропускания	На основе EIRP, 50-й процентиль: -13 дБмВт в направлении главного (фиксированного) лепестка

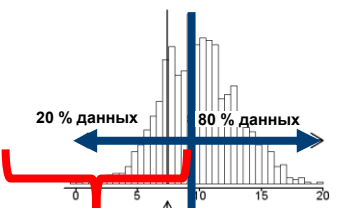
ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ О ПОКРЫТИИ И ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ В ДИАПАЗОНЕ FR2



Предполагается, что покрытие будет определяться по измеренному значению SS-RSRP, характеризующему условия надлежащего приема сформированных SSB-сигналов



В реальности необходимо будет также учитывать восходящий канал: в этом случае значение EIRP для АО как минимум равно +23 дБмВт, но только в направлении главного лепестка ☹️

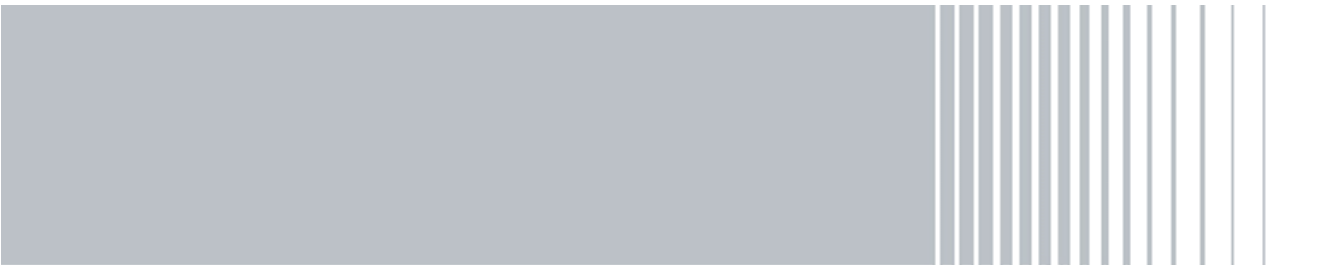


Вторая реальная особенность: для АО достигим только 50-й перцентиль: +11,5 дБмВт

=> имеем 50% передачи в восходящем направлении: < 11,5 дБмВт!!!

50 % EIRP: 11,4 дБмВт

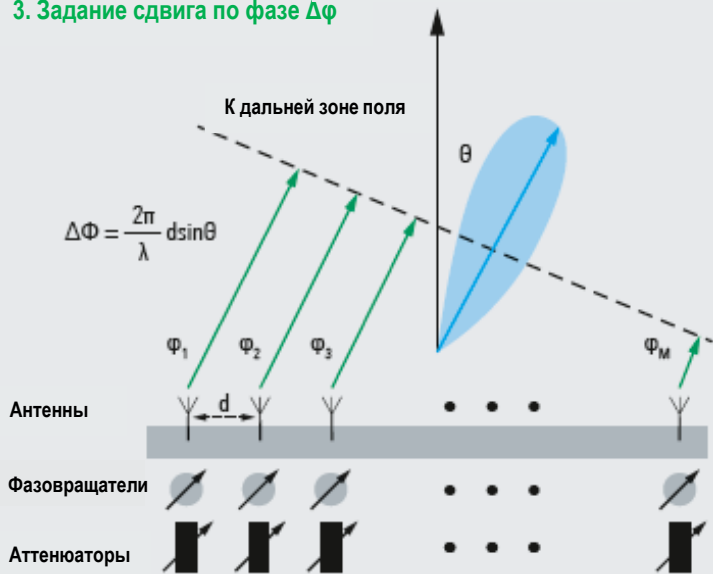
ТЕХНОЛОГИЯ MASSIVE MIMO: ТЕОРИЯ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ



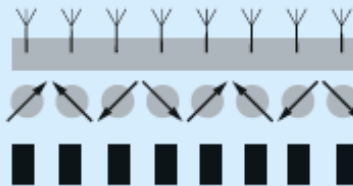
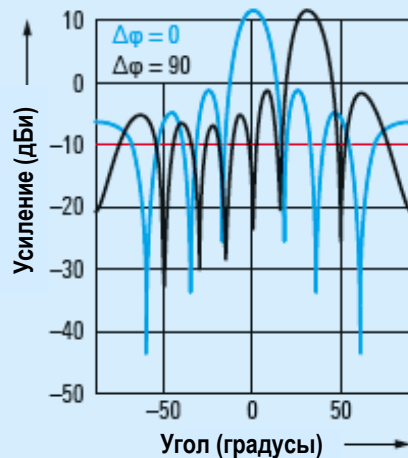
ФОРМИРОВАНИЕ ДН: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Принципы формирования и управления положением ДН

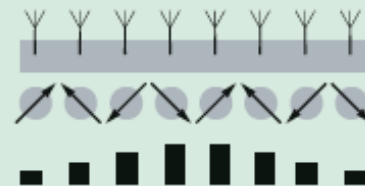
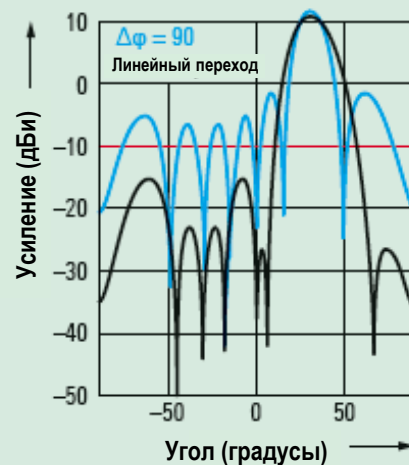
1. Фиксированное разнесение антенны d
2. Выбор направления θ Боковое направление излучения
3. Задание сдвига по фазе $\Delta\phi$



Управление положением ДН (сдвиг по фазе)



Подавление боковых лепестков

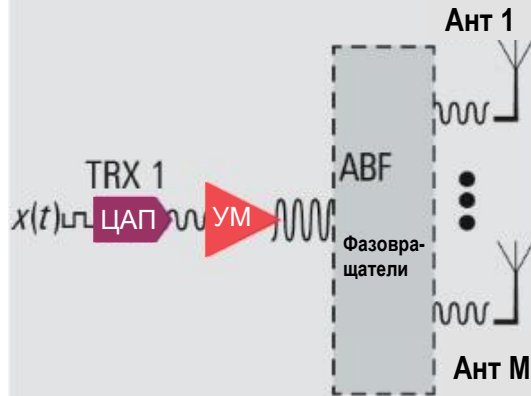


ФОРМИРОВАНИЕ ДН: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

От аналогового

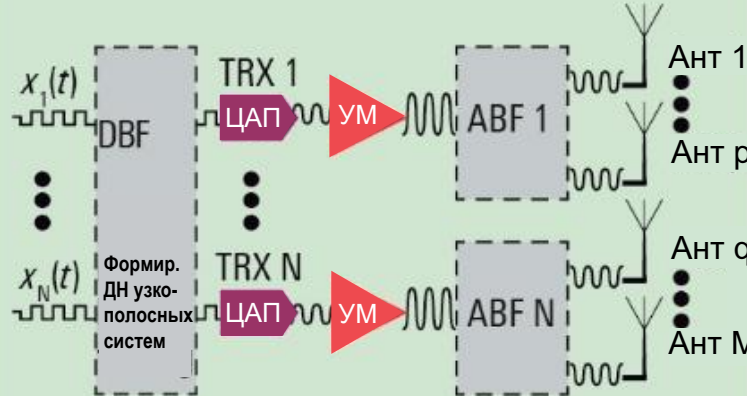
... до цифрового

Аналоговое формирование ДН (ABF)



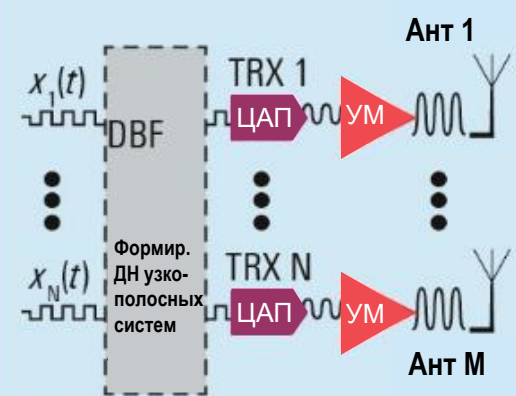
$N = 1$, M антенн

Гибридное формирование ДН (HBF)



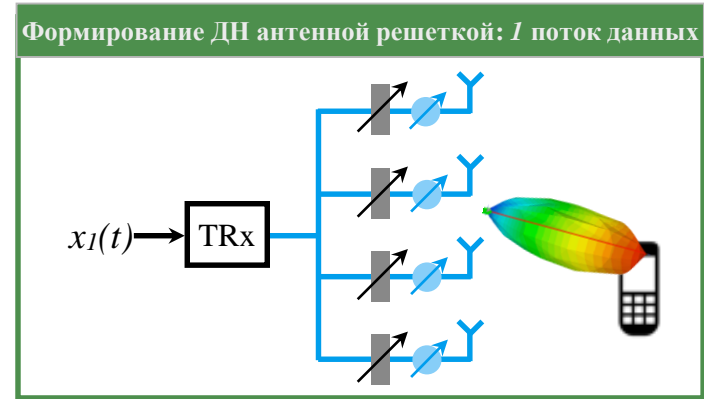
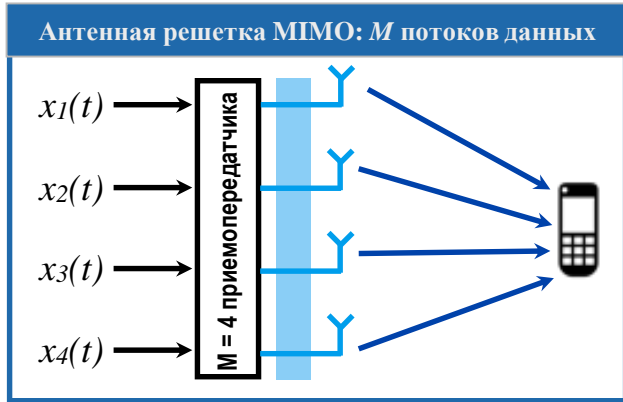
$N < M$

Цифровое формирование ДН (DBF)

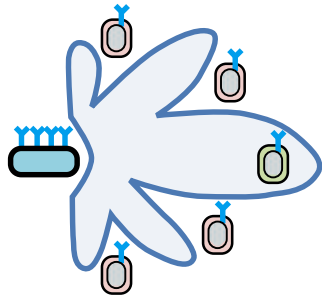


$N \text{ TRX} = M$ антенн

ТЕХНОЛОГИЯ MASSIVE MIMO = ФОРМИРОВАНИЕ ДН + MIMO



Технология Massive MIMO: сочетание формирования ДН и MIMO = MU-MIMO с M антеннами \gg кол-ва АО

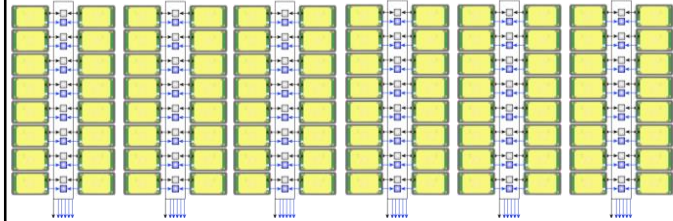


Многопользовательская система MIMO

Увеличение SINR и пропускной способности для каждого пользователя, т. е.

АО1: 32 луча с помощью 16x2 MIMO
АО2: 16 лучей с помощью 8x2 MIMO

Антенная решетка с 128-1024 активными антенными элементами



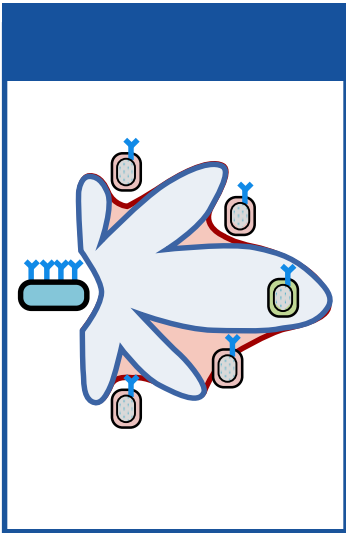
ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ MASSIVE MIMO

Узкое место передачи данных



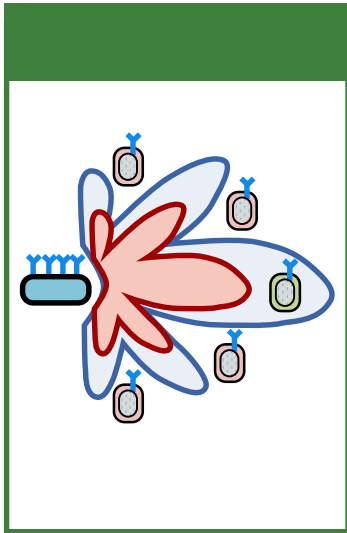
Возросшие издержки

Калибровка



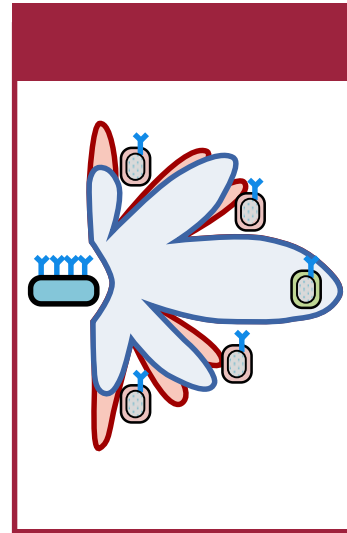
Ухудшенная производительность MU-MIMO

Взаимная связь



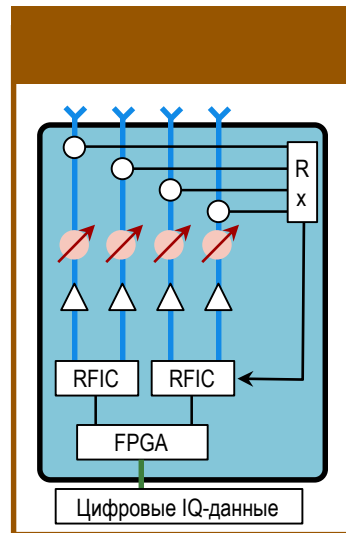
Пониженная пропускная способность

Неподходящие антенные решетки



Побочные лепестки

Сложность



Возросшие издержки

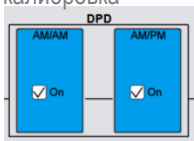
ОБЗОР РЕШЕНИЙ R&S ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СЕТЕЙ 5G

ВОЗМОЖНОСТИ ЛИНЕЙКИ ПРОДУКТОВ

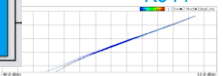
РЕШЕНИЯ КОМПАНИИ R&S ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ: РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПРОДУКТОВ 5G NR

Определение характеристик компонентов

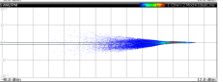

Определение характеристик УМ и калибровка



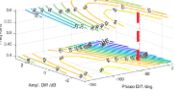
R&S®SMW-K541
-K544




R&S®FSW -K18D
-K544

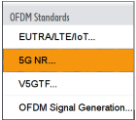
R&S®SMW-K546
Усилитель
Догерты для
цифровых систем




R&S®ZNA



Разработка ВЧ-устройств



R&S®SMW200A-K144




R&S®SMW200A

UP

< 40 ГГц > 40 ГГц

ИУ

R&S®FSW85



R&S®FSW
-K144/K145

- Генерация сигналов (40 ГГц)
- Анализ сигналов (90 ГГц)
- Поддержка полосы 2 ГГц (FSW: 5 ГГц с RTO2064 и B5000)

Испытание устройств 5G NR

Испытание устройств 5G NR в несигнальном режиме



R&S®CMW100 (Sub6)

R&S®CMP200 (мм-волны)



Испытание устройств 5G NR в сигнальном режиме



R&S®CMW500

R&S®CMWFlex поддержка LTE для работы с NSA



Решения для OTA-испытаний

R&S®PWC200



R&S®ATS1xxx






R&S®ATS800B



R&S®CMQ200



РЕШЕНИЯ КОМПАНИИ R&S ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ: РАЗВЕРТЫВАНИЕ СЕТЕЙ 5G NR

Обслуживание на месте, обнаружение помех



R&S@TSM A6 R&S@FPH 31ГГц R&S@FSH
стrobe launch (TDD)



R&S@MNT100/PR100 R&S@MobileLocator

Полевые приемочные испытания



R&S@TSM A6
Инструмент QualiPoc Android
(готовый к работе в сетях 5G)

Решение для проведения испытаний сетей 5G NR

Пассивные измерения



R&S@TSM E6 R&S@TSM A6



Плечевая сумка Рюкзак (мм-волны)

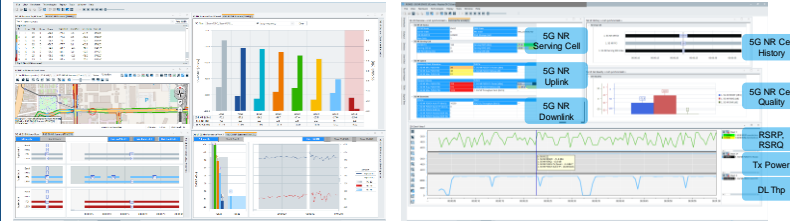
Активные измерения



Маршрутизатор 5G Мобильная
испытательная
платформа



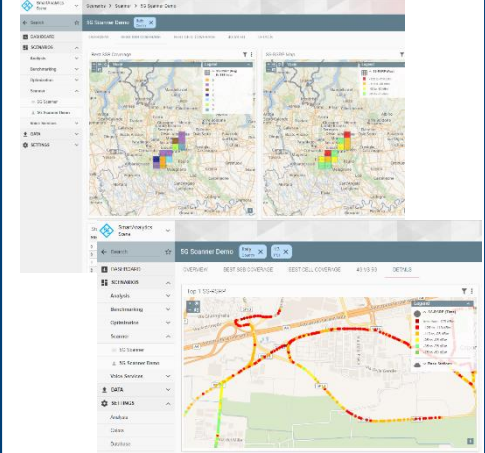
Инструмент QualiPoc Android,
готовый к работе в сетях 5G



R&S@ROMES4: программное обеспечение для проектирования, анализа и
оптимизации сетей 5G NR

Средства анализа данных

Инструмент визуализации SmartAnalytics



SmartAnalytics:
NPS (оценка
рабочих харак-
теристик сети)

ПЕРСПЕКТИВЫ

КАКОВЫ СЛЕДУЮЩИЕ ШАГИ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ 5G?

ОБЗОР СТАНДАРТИЗАЦИИ 3GPP RAN

РАБОЧИЙ ПАКЕТ ВЕРСИИ REL-16

► **Приоритет поддержке отраслевых вертикалей и новых отраслей промышленности**

- Технология V2X (основные сценарии использования, включающие LTE версии 14/15; NR версии 16 охватывает продвинутые сценарии использования)
- Промышленный Интернет вещей и закрытые сети (автоматизация производства)
- Технология NR в неназемных сетях (передача данных через спутники)

► **Новые диапазоны частот для технологии NR**

- NR в нелицензируемом диапазоне частот
- NR в диапазоне частот от 6 до 24 ГГц (восполнение пробела между FR1 и FR2)
- NR в диапазоне частот свыше 52,6 ГГц

► **Повышение эффективности использования абонентского оборудования (АО) и сети стандарта NR**

- Снижение энергопотребления АО в сетях 5G
- Улучшения в части определения местоположения в сетях 5G
- Подавление помех в сетях 5G
- Усовершенствование технологии MIMO и улучшения в части формирования ДН в сетях 5G

► **Усовершенствования технологий LTE и IoT**

- Дополнительные улучшения технологий eMTC и NB-IoT
- Поддержка наземного радиовещания
- Поддержка индийской навигационной спутниковой системы NAVIC для сетей LTE

3GPP REL-16: СОСТОЯНИЕ ПРЕДМЕТОВ ИЗУЧЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Описание предметов изучения (SI) и разработки (WI) технологии NR	Предмет изучения	Предмет разработки	Примечания
Основная система и исполнительные компоненты NR		Rel-15 WI	
Улучшения технологии NR MIMO	отсутствует в Rel-16 SI	март 2020 г.	
Технология NR V2X	завершено	март 2020 г.	
Технология NR в нелицензируемом диапазоне частот	завершено	март 2020 г.	
Технология NR NOMA	завершено		отсутствует в планах Rel-16 WI
Двухэтапная процедура RACH для NR		март 2020 г.	
Передача данных NR по неназемным сетям	завершено		будет продолжено в Rel-17 WI
Снижение энергопотребления АО в сетях NR	завершено	март 2020 г.	
Определение местоположения в сетях NR	завершено	март 2020 г.	
Усовершенствование физического уровня eURLLC в сетях NR	завершено	март 2020 г.	
Улучшение мобильного доступа в сетях NR	отсутствует в Rel-16 SI	март 2020 г.	
Усовершенствование процедуры двойного подключения / агрегации несущих для Multi-RAT	отсутствует в Rel-16 SI	март 2020 г.	Состояние: декабрь 2019 г. Источник: RP-193267 В таблице представлены ключевые предметы изучения (SI) и разработки (WI) в рамках RAN1 и RAN2, не включая SI и WI, относящиеся к диапазонам RAN4 и ITU
Удаленное управление помехами (RIM) в сетях NR	завершено	завершено	завершено в декабре 2019 г.

3GPP REL-16: СОСТОЯНИЕ ПРЕДМЕТОВ ИЗУЧЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Описание предметов изучения (SI) и разработки (WI) технологии NR	Предмет изучения	Предмет разработки	Примечания
Транзитное соединение с интегрир. доступом (IAB) в сетях NR	завершено	март 2020 г.	
Модель канала для работы в помещении для промышленного Интернета вещей (Industrial IoT)	завершено		завершено в сентябре 2019 г.
Промышленный Интернет вещей в сетях NR / закрытые сети (NPN)	завершено	март 2020 г.	
Оптимизация возможностей радиосигнализации для АО	завершено	март 2020 г.	
SRVCC (одномоментный сеанс голосовой связи и передачи данных) от 5G к 3G	завершено	март 2020 г.	
Методы проведения испытаний сетей NR	завершено		завершено в декабре 2019 г.
Методы проведения эфирных испытаний NR MIMO	завершено		завершено в декабре 2019 г.
Исключение влияния антенн с двумя приемниками для транспортных средств	завершено		
Класс мощности АО 29 дБмВт для B41/n41	завершено		
NR в диапазоне частот 7 – 24 ГГц	завершено		завершено в декабре 2019 г.
NR в диапазоне частот свыше 52,6 ГГц	завершено		Состояние: декабрь 2019 г. Источник: RP-193267
Возможности сигнализации АО в сетях NR	завершено	март 2020 г.	В таблице представлены ключевые предметы изучения (SI) и разработки (WI) в рамках RAN1 и RAN2, не включая SI и WI, относящиеся к диапазонам RAN4 и ITU
Применение модуляции 256 QAM в нисходящем (DL) канале сети NR в диапазоне FR2		март 2020 г.	

3GPP REL-16: СОСТОЯНИЕ ПРЕДМЕТОВ ИЗУЧЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Описание предметов изучения (SI) и разработки (WI) технологии <u>NR</u>	Предмет изучения	Предмет разработки	Примечания
Дополнительные усовершенствования MTC для LTE		март 2020 г.	
Дополнительные усовершенствования для NB-IoT		март 2020 г.	
Наземное радиовещание на основе LTE в сетях 5G	завершено	март 2020 г.	
Повышение пропускной способности нисходящего (DL) канала MIMO для LTE		март 2020 г.	
Дополнительные усовершенствования мобильного доступа в сетях E-UTRAN		завершено	завершено в декабре 2019 г.
Дополнительные улучшения в части сценариев высокоскоростной передачи данных		завершено	завершено в сентябре 2019 г.
Поддержка навигационной спутниковой системы NavIC для LTE		март 2020 г.	новый предмет разработки (WI)

Состояние: декабрь 2019 г. **Источник:** RP-193267
В таблице представлены ключевые пред-меты изучения (SI) и разработки (WI) в рамках RAN1 и RAN2, не включая SI и WI, относящиеся к диапазонам RAN4 и ITU

3GPP REL-17: РАБОЧИЙ ПАКЕТ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ (RAN1)

► Повышение пропускной способности и производительности сетей NR

- Динамическое распределение спектра (DSS) и улучшения покрытия в технологии MIMO
- Улучшения в части снижения энергопотребления AO
- Расширение частотного диапазона NR от 52,6 ГГц до 71 ГГц

► Улучшения в части отраслевых вертикалей

- Усовершенствования прямого соединения (для автомобильной технологии V2X, ключевых коммуникаций, ...)
- Улучшения в части определения местоположения (более высокая точность и меньшая задержка для заводских и лабораторных применений технологии промышленного Интернета вещей (IIoT), целостность и достоверность информации о местоположении, ...)
- Улучшения в части уменьшения задержки и повышения надежности в системах связи URLLC

► Менее производительные устройства NR (NR Light)

- Новый класс устройств NR (высокоуровневые носимые устройства, IIoT-датчики, видеокамеры, ...)
- Сниженная стоимость и сложность устройств (например, меньшее количество антенн, работа в полудуплексном режиме, менее широкая полоса пропускания, более низкая скорость передачи данных)

► Технология NR в наземных сетях (NTN)

- NR на высотных платформах (HASP), низкоорбитальных (LEO) и геостационарных (GEO) спутниках
- Предварительное исследование для проведения испытаний спутниковой передачи данных технологий eMTC и NB-IoT для приложений IoT (например, отслеживание контейнеров)

► Усовершенствования LTE eMTC и NB-IoT

3GPP REL-17: РАБОЧИЙ ПАКЕТ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОТОКОЛА РАДИОСВЯЗИ (RAN2)

► Повышение пропускной способности и производительности сетей NR

- Улучшения в части DC/CA для систем с несколькими приемниками
- Усовершенствования транзитного соединения с интегрированным доступом (IAB) (например, IAB в сетях мобильной связи, работа в полнодуплексном режиме, ...)
- Улучшения в части передачи малых данных
- Улучшения в части снижения энергопотребления АО
- Усовершенствования SON/MDT (самоорганизующаяся сеть / минимизация тестирования в движении)

► Многоадресная передача в сетях NR

- Акцент на поддержку многоадресной передачи в отдельной соте
- Пример: критически важные приложения обеспечения общественной безопасности

► Поддержка технологии Multi-SIM

- Определение принципов работы с несколькими SIM-картами в сетях NR (например, усовершенствования пейджинга)
- Первоначальный акцент на работу с двумя SIM-картами (NR+NR, NR+LTE)

► Прямая ретрансляция

- Пример: критически важные информационные приложения обеспечения общественной безопасности и автомобильные приложения
- Предварительное исследование для определения того, на каком уровне должна выполняться ретрансляция: уровень 2 или уровень 3

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

Некоторые рисунки, представленных в настоящей презентации, заимствованы из следующего источника:

Для получения доступа к интернет-версии этой технической брошюры воспользуйтесь следующей ссылкой (интернет-версия появится в ближайшее время):

www.rohde-schwarz.com/5G

5G New Radio

Fundamentals, procedures,
testing aspects

Meik Kottkamp
Anil Pandey
Daniela Raddino
Andreas Roessler
Reiner Stuhlfauth



ROHDE & SCHWARZ

*"Если хочешь идти быстро – иди один,
если хочешь идти далеко – идите вместе!"*

Африканская пословица

