

# Технологии 5G – базис мобильной инфраструктуры цифровой экономики

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

УДК 621.391.82

**Аннотация.** Рассматривается роль будущих технологий мобильных сетей 5G в инфраструктуре цифровой экономики. Анализируется текущее состояние стандартизации технологий сетей 5G ведущими международными организациями связи. Особое внимание уделяется вопросам создания наземного и спутникового сегментов сетей 5G. Представлены технические характеристики сетей радиодоступа 5G и результаты практических достижений разработчиков на основе тестирования предварительных версий pre-5G оборудования.

**Ключевые слова:** 5G, IoT, IMT-2020, цифровая экономика, 3GPP, MCЭ, стандартизация.

## ВВЕДЕНИЕ

Технологии мобильной связи пятого поколения становятся акселератором и главной тенденцией развития мобильных телекоммуникаций на ближайшее десятилетие. Это связано прежде всего с их статусом сквозной технологии в инфраструктуре будущей цифровой экономики мира, в том числе Российской Федерации. По итогам заседания Правительственной комиссии по использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности 18 декабря 2017 года утвержден план мероприятий по направлению «Информационная инфраструктура» программы «Цифровая экономика Российской Федерации». В качестве основной технологии мобильной связи в этом плане мероприятий определена технология IMT-2020/5G [1].

Ведущие европейские державы (Великобритания, Германия) обнародовали свои стратегии внедрения и развития 5G на ближайшие 5–10 лет [2, 3]. В них технологиям 5G также определена роль лидера технологического развития и технологий цифровой трансформации. Анализ позиции Европейского союза по проекту 5G показывает, что ЕС придает ему первостепенное значение, рассматривая 5G как локомотив развития телекоммуникаций, который призван обеспечить [4]:

- технологическое лидерство Европы на мировом телеком-рынке;
- создание новых рабочих мест в телеком-отрасли.

Таким образом, технологии 5G станут решающей инновацией [5], которая обеспечит сверхбыструю, с низкой задержкой, и более надежную мобильную связь, способную справляться с постоянно растущими требованиями к передаче данных со стороны бизнеса и рядовых пользователей. Эти технологии предоставят огромные возможности для повышения производительности и роста цифровой экономики.

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ 5G

В процесс стандартизации технологий 5G вовлечены крупнейшие организации связи: Международный союз электросвязи (МСЭ), Партнерский проект 3GPP, Партнерский проект oneM2M, CEPT и ETSI.

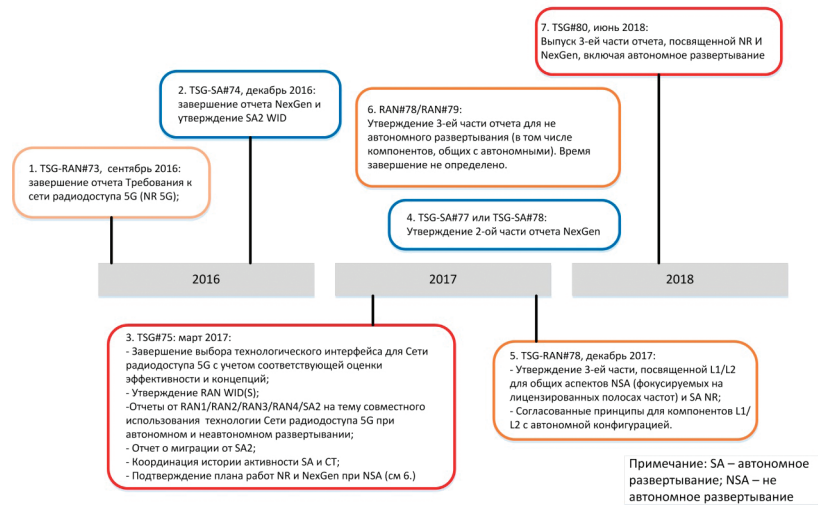
МСЭ. В Секторе радиосвязи МСЭ-Р и Секторе стандартизации МСЭ-Т, созданы: рабочая группа WP5D «IMT-системы» в Исследовательской комиссии ИК5 «Наземные службы» и оперативная группа (ОГ) IMT-2020 «Будущие сети, включая облачные вычисления, сети подвижной связи и сети последующих поколений» в ИК13.

Оперативная группа по сетевым аспектам IMT-2020 в ИК13 Сектора стандартизации МСЭ-Т была создана в мае 2015 г. для анализа принципов взаимодействия появляющихся технологий 5G в будущих сетях в качестве предварительного исследования инноваций в области организации сетей, необходимых для обеспечения развития систем 5G. Проведя исследования развития 5G в будущем, ОГ IMT-2020 приняла концепцию экосистемы 5G и опубликовала результаты анализа развития сетей 5G в Отчете ИК13 МСЭ-Т [6].

В конце 2016 г. ОГ IMT-2020 МСЭ-Т представила девять проектов рекомендаций и технических отчетов по сетям IMT-2020 [7–15], которые предъявляли развернутые требования к сетевой архитектуре 5G.

Гибкость сквозной сети E2E станет одной из определяющих особенностей построения сетей 5G. Это в значительной степени связано с программно-центрической будущностью инфраструктуры сетей 5G и возможностью создавать высокоуровневые сетевые слои 5G, использующие расширения программно-определяемой сети (SDN), виртуализации сетевых функций (NFV) и облачных вычислений. Поэтому ИК13, как ведущая исследовательская комиссия МСЭ по проводным решениям 5G, продолжает работу по переходу к программному управлению сетью и оркестрации сетевых функций (Рекомендации Y.3101, Y.3150, Y.3130 [16–18]).

**Рисунок 1**  
План работ по Релизу 15  
(источник: 3gpp.org)



Также ИК13 разрабатывает проекты стандартов 5G по сетевой архитектуре, сетевым возможностям, сетевым слоям (слайсингу), сетевому оркестрированию, управлению сетью и инфраструктуре для обеспечения качества обслуживания.

Сектор стандартизации МСЭ-Т стремится ускорить работу по стандартизации проводных элементов сетей 5G. ИК15 разрабатывает технический отчет по требованиям к оптическим транспортным сетям в составе 5G. ИК11 изучает вопросы построения плоскости управления сети 5G, протоколы и методологию их тестирования. ИК5 исследует экологические требования к системам 5G.

В ноябре 2017 г. ИК13 создала фокус-группу по исследованию использования алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения в сетях 5G.

Рабочая группа 5D Сектора радиосвязи МСЭ-Р завершила разработку документа, отразившего годовые планы МСЭ по развитию ИМТ в направлении ИМТ-2020.

В сотрудничестве с промышленными структурами, а также с широким кругом заинтересованных сторон (научными центрами, национальными регуляторами, производителями контента) МСЭ-Р ведет детальные исследования ключевых элементов сетей 5G, которые помогут стандартизировать все аспекты создания 5G.

Сектор радиосвязи МСЭ-Р завершил разработку двух отчетов (М.2320 и М.2376), а также Рекомендации М.2083, в которых отразил свое видение развития мобильной широкополосной связи поколения 5G [19–21].

В конце 2017 г. РГ 5D провела международный семинар, на котором обсуждались требования к техническим характеристикам 5G (ИМТ-2020), критерии оценки и методология отбора кандидатов для утверждения технологии ИМТ-2020. Процесс отбора технологий-кандидатов планируется завершить к 2020 г. разработкой рекомендации МСЭ-Р с подробными спецификациями для новых радиointерфейсов. Она будет представлена на утверждение в Сектор радиосвязи МСЭ-Р.

**Партнерский проект 3GPP.** Согласно планам 3GPP работу по стандартизации первой фазы сетей 5G планируется завершить в сентябре 2018 г. (Релиз 15) [16]. Эти спецификации будут адресованы прежде всего производителям оборудования для обеспечения ввода в коммерческую эксплуатацию первых сетей 5G, намеченного на 2020 г.

В ходе пленарного заседания TSG#72 – группы по техническим спецификациям 3GPP (Пусан, Южная Корея) был утвержден план работ по Релизу 15, полностью охватывающий вопросы стандартизации 5G (рис. 1). Он включает в себя множество промежуточных задач и календарных точек контроля статуса проведенных работ для обеспечения эффективного руководства текущими исследованиями по 5G в рабочих группах 3GPP.

Основные даты выполнения этих работ:

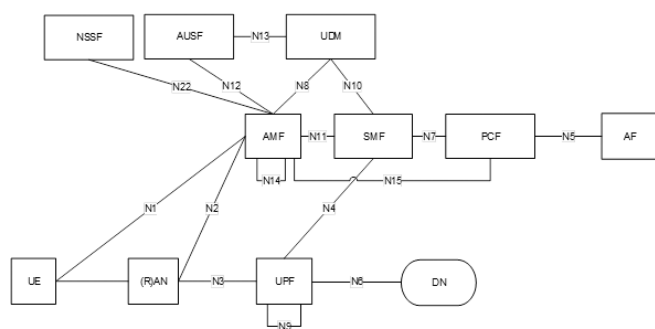
- сентябрь 2016: завершение подготовки Технического отчета по новым требованиям к радиодоступу (NR);
- декабрь 2016: начало нормативной работы группы SA2 по архитектуре сети нового поколения (NexGen);
- март 2017: начало разработки спецификации новых требований к радиодоступу (5G NR) рабочими группами RAN;
- декабрь 2017: публикация предварительных технических требований Релиза 15 к сети радиодоступа и базовой сети 5G;
- июнь 2018: завершение разработки фазы 1 сети 5G и публикация окончательной версии Релиза 15.

Члены 3GPP пока достигли согласия только по двум сценариям использования сетей 5G (use case) из трех сценариев МСЭ:

- улучшенный мобильный широкополосный доступ (enhanced Mobile Broadband, eMBB);
- ультранадежная связь с низкими задержками (Ultra-Reliable and Low Latency Communications, URLLC).

**Рисунок 2**

Архитектура сети мобильной связи 5G



Однако третий сценарий МСЭ – «Массовые подключения для межмашинного обмена данными» (massive Machine Type Communications, mMTC) – на этапе работ по Релизу 15 тоже вошел в перечень исследовательских вопросов Технического отчета 3GPP. Кроме того, было достигнуто соглашение об использовании диапазона 6 ГГц как точки отсчета на шкале спектра для исследования спектра как ниже, так и выше 6 ГГц.

Базовые характеристики для систем IMT-2020/5G, сформулированные в документах МСЭ-Р [3–14], устанавливают требования, которые не всегда совпадают с мнением главного разработчика стандартов на технологии 5G – Партнерского проекта 3GPP [17–20].

Характеристики 5G, с которым согласились специалисты 3GPP, приведены в табл. 1 [16].

Проект 5GNow, входящий семейство проектов ЕС «Горизонт-2020», определил для 5G несколько сигнально-кодовых конструкций, основанных на использовании фильтрованных сигналов с множеством несущих:

**Таблица 1**

Характеристики 5G, с которым согласились специалисты 3GPP

Параметры	Характеристики
Пиковая скорость передачи данных	20 Гбит/с в линии вниз; 10 Гбит/с в линии вверх
Пиковая спектральная эффективность	30 бит/с/Гц в линии вниз; 15 бит/с/Гц в линии вверх
Ширина полосы частотного канала	До 1 ГГц (в линии вниз и в линии вверх)
Задержка в плоскости управления	10 мс
Задержка в плоскости пользователя	Режим URLLC: не более 0,5 мс для линии вверх и линии вниз Режим eMBB: не более 4 мс для линии вверх и линии вниз
Время прерывания мобильности	0 мс, т.е. отсутствует
Надежность	99,999% для режима URLLC
Покрытие	Бюджет линии вверх должен совпадать с бюджетом LTE при тех же потерях
Спектральная эффективность в соте и на границе соты	В 3 раза выше IMT-Advanced
Максимальная плотность соединяемых абонентских устройств (User Equipment, UE)	До 1 млн на 1 кв. км
Максимальная скорость перемещения абонентов	500 км/ч

- GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing);
- FBMC (Filter Bank Multicarrier);
- UFMC (Universal Filtered Multicarrier);
- BFDM (Bi-Orthogonal OFDM).

Эти сигнально-кодовые конструкции могут стать основой нового семейства технологий радиointерфейса 5G, которое МСЭ определит в феврале 2020 г.

## ТЕХНОЛОГИИ И АРХИТЕКТУРА НАЗЕМНЫХ СЕТЕЙ 5G

Сеть мобильной связи 5-го поколения в соответствии с техническими спецификациями 3GPP образуют две сети: сеть радиодоступа NG-RAN и базовую сеть 5G Core. Сеть радиодоступа NG-RAN может включать совокупность базовых станций (БС) (рис. 2), состоящих из [22]:

- БС gNB, радиointерфейс которых использует технологию доступа 5-го поколения NR (NR Radio Access);
- БС ng-gNB, радиointерфейс которых использует технологию доступа LTE (E-UTRA).

Базовые станции будут взаимодействовать между собой по интерфейсу Xn, а также с базовой сетью 5G Core по интерфейсам NG: по интерфейсу N2 – с модулем управления доступом и мобильностью AMF, по интерфейсу N3 – с функциональными модулями плоскости пользователя UPF.

Архитектура базовой сети 5G Core включает совокупность функциональных модулей базовой сети и сетевых интерфейсов N1-N15, соединяющих эти модули.

Построение сервисно-ориентированной архитектуры (SBA) базовой сети 5G Core определено в Технической спецификации TS 23.501 «Системная архитектура для системы 5G» Релиза 15.

Функциональные модули базовой сети 5G Core предназначены для решения следующих задач:

- управление сервером аутентификации AUSF;
- управление доступом и мобильностью AMF;
- управление сессиями SMF;
- передача данных абонентов UPF;
- выбор сетевого слоя NSSF;
- управление унифицированными данными UDM;
- управление политиками PCF;
- хранение структурированных сетевых данных SDF;
- хранение неструктурированных сетевых данных USDF;
- управление сетью на основе приложений AF;
- обеспечение взаимодействия сети с внешними функциями NEF;
- управление репозиторием (базой данных) сетевых функций NRF.

Главной особенностью базовой сети 5G станет возможность формирования и использования сетевых

слоев для различных услуг и поддержки параллельно до восьми слоев на одно абонентское устройство. Сетевой слой, образуемый на основе технологии виртуализации NFV, позволяет динамически создавать логическую сеть E2E с использованием сетей радиодоступа 5G, базовой сети 5G Core и модулей межсетевое взаимодействия для услуги.

Для работы сети радиодоступа 5G будут использоваться два поддиапазона: FR1 (450–6000 МГц) и FR2 (24250–52600 МГц).

Классифицируем базовые станции gNB поколения 5G по нескольким показателям: по используемым частотным диапазонам, компоновке модулей БС и антенным системам, зоне обслуживания, типу БС (табл. 2-4).

В сети 5G для работы базовых и абонентских станций определены частотные диапазоны (табл. 5 и 6).

Анализ табл. 5 и 6 показывает, что в число диапазонов ниже 6 ГГц включены не все 46 диапазонов частот, определенных ранее 3GPP для сетей LTE, и впервые введен диапазон 600 МГц (n71). Диапазоны выше 6 ГГц используются только для режима TDD с ограничением до 40 ГГц по сравнению с полосами, определенными для исследований к ВКР-19:

- 24,25–27,5, 37–40,5, 42,5–43,5, 45,5–47, 47,2–

**Таблица 2**

Классификация БС gNB поколения 5G с новым радиоинтерфейсом NR по частотным диапазонам, компоновке модулей БС и антенным системам

Тип БС	Участок спектра (МГц)	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)	

**Таблица 3**

Классификация БС gNB поколения 5G типа 1-О и 2-О

Зона обслуживания	Сценарий 5G	Территориальный разнос между БС и UE, м
Широкая	Макросотовые (Macro Cell)	35
Средняя	Микросотовые (Micro Cell)	5
Локальная	Пикосотовые (Pico Cell)	2

**Таблица 4**

Классификация gNB поколения 5G типа 1-С и 1-Н

Зона обслуживания	Сценарий 5G	Минимальные потери при соединении БС с UE, дБ
Широкая	Макросотовые	70
Средняя	Микросотовые	53
Локальная	Пикосотовые	45

**Таблица 5**

Полосы частот 5G NR в поддиапазоне FR1

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

**Таблица 6**

Полосы частот 5G NR в поддиапазоне FR2

Рабочий диапазон NR	Рабочий диапазон Uplink (UL) и Downlink (DL), МГц БС передача/прием UE передача/прием $F_{UL,low} - F_{UL,high}$ $F_{DL,low} - F_{DL,high}$	Режим дуплекса
n257	26500–29500	TDD
n258	24250–27500	TDD
n260	37000–40000	TDD

50,2, 50,4–52,6, 66–76 и 81–86 ГГц, которые будут распределены мобильной подвижной службе на первичной основе;

- 31,8–33,4, 40,5–42,5 и 47–47,2 ГГц, которые требуют их дополнительного распределения мобильной подвижной службе на первичной основе.

Формируемый базовой и абонентской станциями частотный канал, как и для технологий 4G, будет состоять из радиоблоков RB. Каждый радиоблок формируется из поднесущих шириной 15, 30 и 60 кГц для поддиапазона спектра FR1 и из поднесущих шириной 60 и 120 кГц для



поддиапазона спектра FR2.

Максимальная конфигурация радиоблоков NRB для частотного канала базовой станции и разнос между несущими (SCS) в ресурсном радиоблоке RB, представлены в табл. 7 для поддиапазона спектра FR1 и в табл. 8 для поддиапазона спектра FR2.

Учитывая ограниченный радиус зон покрытия, формируемых базовыми сетями 5G для достижения более широкого покрытия, рассмотрим возможность использования и спутникового сегмента сетей 5G.

## ТЕХНОЛОГИИ И АРХИТЕКТУРА СПУТНИКОВЫХ СЕТЕЙ 5G

3GPP, главный разработчик технических спецификаций на оборудование и инфраструктуру сетей 5G, приступил к исследованию возможностей использования спутникового сегмента 5G при разработке Релиза 14 в рамках отчета 3GPP TR 38 913 [24].

Предложенные 3GPP сценарии развертывания спутникового сегмента 5G определены для предоставления услуг 5G в тех областях, где недоступны услуги наземного сегмента этих сетей, а также для услуг, которые могут быть более эффективно поддержаны спутниковыми системами, такими, например, как служба вещания. Согласно [4], спутниковый сегмент 5G должен дополнять услуги сетей 5G, особенно на автомобильных, железнодорожных и водных путях, в сельских районах, где наземный сегмент услуг 5G недоступен. Спектр услуг, предоставляемых через спутниковый сегмент 5G, не ограничивается только передачей данных и голосовыми услугами, а поддерживает еще услуги интернета вещей и M2M, вещания и ряд услуг, толерантных к задержкам сигнала.

В настоящее время Партнерским проектом 3GPP предложены три сценария развертывания спутниковых сетей 5G (табл. 9). Приведенные в таблице спутниковые орбиты позволяют использовать:

- Геостационарные спутники (GEO), расположенные на высоте 35786 км; могут обеспечить одним-тремя космическими аппаратами (КА) охват связью поверхности Земли между 70° с.ш. и 70° ю.ш.
- Среднеорбитальные спутники (MEO), распо-

ложенные на высоте от 6000 до 10000 км; могут обеспечить охват связью над поверхностью Земли 10–12 спутниками.

- Низкоорбитальные спутники (LEO), расположенные на высоте 800–2000 км; гарантируют непрерывность покрытия сетью спутниковой связи над поверхностью Земли спутниковой группировкой, состоящей из 50–100 КА.

Частотные диапазоны, приведенные в табл. 9, охватывают лишь часть спутниковых диапазонов, тогда как современные спутниковые сети развернуты в более широком перечне частотных диапазонов, включая L-диапазон (1–2 ГГц), S-диапазон (2–4 ГГц), C-диапазон (3,4–6,725 ГГц), Ku-диапазон (10,7–14,8 ГГц), Ka-диапазоны (17,3–21,2, 27,0–31,0 ГГц) и Q/V-диапазоны (37,5–43,5, 47,2–50,2 и 50,4–51,4 ГГц) и выше.

Системную архитектуру (рис. 3) спутникового сегмента 5G планируется строить на основе технологий Bent-pipe (с прозрачными спутниковыми транспондерами-ретрансляторами; обработка информации на борту не предусмотрена), на борту осуществляется только усиление и преобразование сигналов по частоте при сохранении вида модуляции сигналов. При использовании на спутниковых транспондерах технологии On-Board Processing на борту спутника выполняется регенерация, включая модулирование и кодирование сигналов.

Мобильные устройства спутникового сегмента 5G будут представлены как носимыми абонентскими терминалами, так и другими подвижными устройствами, устанавливаемыми на автомобилях, кораблях, самолетах и т.д. В настоящее время возможности носимых UE ограничены использованием полос L- и S-диапазонов, но исследования продолжают, чтобы обеспечить их поддержку в более высоких частотных диапазонах.

В декабре 2017 г. в рамках работы над Релизом 16 была опубликована первая версия отчета TR 22.822 [25], в котором предложены бизнес-кейсы спутникового сегмента сети 5G, главным из которых является интернет вещей, определены требования к обеспечению трансграничных сценариев соединения, а также основные

**Таблица 7**

Максимальная конфигурация числа радиоблоков NRB для различных полос канала передачи в поддиапазоне FR1

SCS, кГц	Ширина частотного канала, МГц												
	5	10	15	30	20	25	40	50	60	70	80	90	100
15	25	52	79	[160]	106	133	216	270	NA	NA	NA	NA	NA
30	11	24	38	[78]	51	65	106	133	162	[189]	217	[245]	273
60	NA	11	18	[38]	24	31	51	65	79	[93]	107	[121]	135

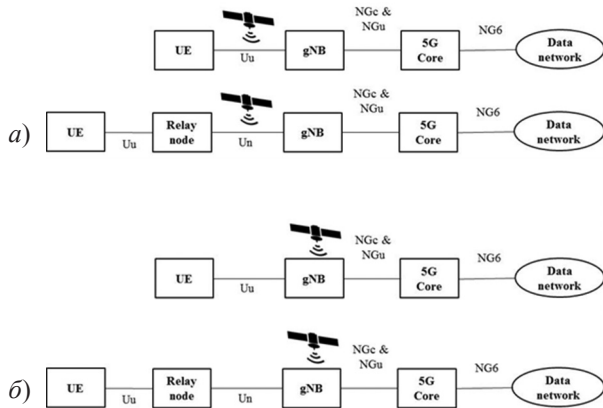
**Таблица 8**

Максимальная конфигурация числа радиоблоков NRB для различных полос канала передачи в поддиапазоне FR2

SCS, кГц	Ширина частотного канала, МГц			
	50	100	200	400
60	66	132	264	N.A
120	32	66	132	264

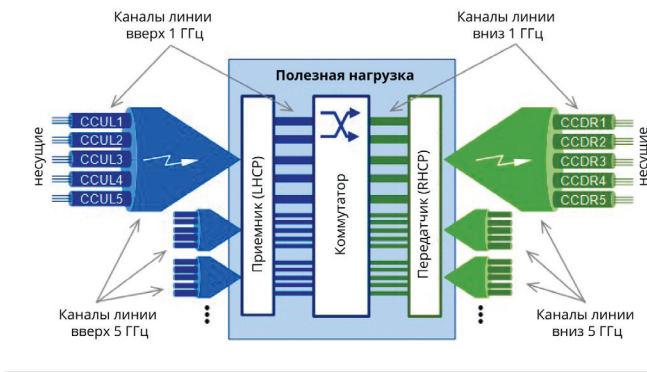
**Рисунок 3**

Архитектура спутникового сегмента 5G на основе технологии Bent-pipe (а) и On-Board Processing (б) [25]



**Рисунок 4**

Схема обработки и формирования сигнала на борту [27]



характеристики спутникового сегмента сети 5G: классы орбит, геометрия зон покрытия и задержки сигнала при распространении, сетевая архитектура спутникового сегмента сети 5G.

Спутниковый сегмент сетей 5G включен в интегрированную сеть радиодоступа 5G, предоставляемого через спутниковую инфраструктуру и базовую сеть 5G

(Core Network 5G). Базовая сеть 5G CN может быть подключена и к другим сетям радиодоступа 4G RAN, помимо спутникового сегмента 5G.

Таким образом, полезная нагрузка спутника сегмента 5G, по мнению компании «Боинг» [26], может использовать усовершенствованную пространственно-временную обработку при формировании луча антенны (beam-forming) и цифровую обработку на борту, чтобы генерировать тысячи узкополосных лучей для обеспечения спутникового сегмента сети связи 5G на поверхности Земли (рис. 4).

Каждый спутниковый канал в линии вверх или вниз может иметь до пяти каналов связи шириной 1 ГГц при общей полосе пропускания до 5 ГГц в зависимости от мгновенной емкости, необходимой сотовой, обслуживаемой лучом. Любой канал в линии вверх может быть подключен к любому каналу линии вниз в соответствии с используемым алгоритмом связности.

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ 5G**

Экспериментальные разработки оборудования рге-5G, периодически предъявляемые рынку ведущими мировыми производителями, носят, как правило, характер частных решений на пути к коммерческой реализации оборудования сетей 5G (табл. 10). Это связано с тем, что даже обнародованные в декабре 2017 г. технические спецификации Релиза 15 не содержат детали окончательного облика оборудования, особенно в части сигнально-кодовых конструкций и метода многостанционного доступа в сети радиодоступа 5G.

Обобщенные данные о тестировании предкоммерческих решений для оборудования 5G в России показаны в табл. 11.

Анализ табл. 11 и опубликованных результатов тестов оборудования 5G показывает, что усилия разработчиков направлены главным образом на освоение миллиметрового диапазона волн для мобильной связи и реализацию двух из трех бизнес-сценариев: а) на создание экстремально широкополосного (улучшенного) мобильного

**Таблица 9**

Сценарии развертывания спутниковых сетей 5G

Параметры	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Используемые спутниковым сегментом диапазоны частот	Диапазон 1,5 или 2 ГГц для обеих линий (DL и UL)	Диапазон 20 ГГц для линий DL. Диапазон 30 ГГц для линий UL	Диапазон 40 или 50 ГГц
Метод разделения сигналов	FDD		
Спутниковая архитектура	Bent-pipe	Bent-pipe, On-Board Processing	Bent-pipe, On-Board Processing
Типовое использование спутникового сегмента в сети 5G	Сеть доступа	Транспортная сеть	Транспортная сеть
Ширина канала, МГц (DL + UL)	До 2 x 10	До 2 x 250	До 2 x 1000
Спутниковые орбиты	GEO, LEO	LEO, MEO, GEO	LEO, MEO, GEO
Сценарий использования	100% вне помещений		
Абонентское оборудование	Фиксированное, малоподвижное, мобильное		

**Таблица 10**

Предложенное для тестирования оборудование 5G

Производитель	Оператор	Диапазон, ГГц	Антенны	Скорость передачи данных, Гбит/с
Huawei	M1, Сингапур	73		35
Huawei	Vodafone (Ньюбери, Великобритания)	60–90 (E-band)	SU-MIMO MU-MIMO	20 10 (пиковая скорость – 20)
Nokia: AirFame AirScale	МегаФон	4,65–4,85	Агрегирование двух радиоканалов по 100 МГц; в режиме MIMO 8x8; 8 антенн на передающем и приемном оборудовании	4,5 (полоса пропускания 200 МГц)
Ericsson	Telia, Швеция		Передача сигнала шириной 800 МГц	Рекордная скорость – 15 Гбит/с на одного пользователя; задержка 3 мс
Ericsson	U.S.Cellular (штат Висконсин, США)	15		Пиковые скорости: 9 Гбит/с при расстоянии от UE до БС 240 м. Скорость 1,5 Гбит/с на расстоянии между UE и БС в 1 милю (1,6 км)
Samsung	T-Mobile, Германия	28 ГГц на дальность 2 км	64-элементная антенная решетка	1,056

**Таблица 11**

Результаты тестирования оборудования 5G в России

Оператор	Дата	Диапазон, ГГц	Технология и параметры	Скорость, Гбит/с	Услуга
МТС / Nokia	Сентябрь 2016	4,65–4,85	AirFame и AirScale	4,5	Видео 8K Ultra HD
МегаФон / Nokia	Сентябрь 2016	4,65–4,85	AirFame и AirScale, сигнал передавался по двум агрегированным радиоканалам шириной по 100 МГц	4,94	Видео 8K Ultra HD (7680x4320 точек)
МТС / Ericsson	Апрель 2017	14,5–15,3	Полоса сигнала 0,8 ГГц, Multi-User и Massive MIMO	До 25	Потоковое видео в формате 4K
МегаФон / Huawei	Июнь 2017	70 (E-Band)	Полоса сигнала 2 ГГц	35	Мобильная передача данных

доступа xMBB со скоростями более 20 Гбит/с на основе новых видов сигнально-кодовых конструкций и б) на сокращение задержек для ультранадежных сетей 5G при межмашинном обмене данными uMTC. Ни один из разработчиков не продемонстрировал возможности подключения до 1 млн датчиков на 1 кв. км. Учитывая анонсированные запуски предкоммерческих версий сетей 5G на Чемпионате мира по футболу 2018 года в России, времени у разработчиков остается немного.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инфраструктурным базисом цифровой экономики России и мира будут сети связи новых поколений, а в сегменте мобильной связи – сети на основе технологий мобильной связи пятого поколения как наиболее соответствующие вызовам цифровой экономики и возможностям трансформации производственных бизнес-процессов на основе сквозных технологий.

Стандартизация технологий мобильной связи 5G

внесена в перспективные планы работ на 2018–2020 гг. ведущих международных организаций связи, занимающихся стандартизацией в области электросвязи: МСЭ, Партнерских проектов 3GPP и oneM2M, а также ETSI и других региональных органов стандартизации.

Наземный сегмент инфраструктуры мобильной связи 5G, включающий сети радиодоступа 5G и базовую сеть 5G Core, будет использовать два поддиапазона, обозначенных 3GPP как FR1 (450–6000 МГц) и FR2 (24250–52600 МГц) на основе совокупности базовых станций различных классов.

Если принимать во внимание необходимость обеспечения широкого территориального покрытия больших пространств развитых стран мира сетями 5G и роль этих сетей в будущей инфраструктуре цифровой экономики, развитие спутникового сегмента 5G становится одним из актуальных вопросов продвижения и стандартизации сетей связи пятого поколения на следующем этапе – в период 2020–2025 гг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. План мероприятий по направлению «Информационная инфраструктура» программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Протокол от 18 декабря 2017 г. № 2 Правительственной комиссии по использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности.
2. UK Digital Strategy 2017. Policy paper, Department for Digital, Culture, Media & Sport UK. – Published 1 March 2017
3. 5G Strategy for Germany, Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure. – July 2017.
4. Тихвинский В.О., Бочечка Г.С. Концептуальные аспекты создания 5G // Электросвязь. – 2013. – № 10.
5. Тихвинский В.О. Сети 5G и IoT – инновационная среда для цифровой экономики России // Электросвязь. – 2017. – № 8.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

6. FG IMT-2020: Report on Standards Gap Analysis (TD 208 (PLEN/13), 2015).
7. Draft Terms and definitions for IMT-2020 in ITU-T (O-040).
8. Draft ITU-T Technical Report: Application of network softwarization to IMT-2020 (O-041).
9. Draft ITU-T Recommendation: Requirements of IMT-2020 from network perspective (O-042).
10. Draft ITU-T Recommendation: Framework for IMT-2020 network architecture (O-043).
11. Draft ITU-T Recommendation: Requirements of IMT-2020 fixed mobile convergence (O-044).
12. Draft Technical Report: Unified network integrated cloud for fixed mobile convergence (O-045).
13. Draft ITU-T Recommendation: IMT-2020 network management requirements (O-046).
14. Draft ITU-T Recommendation: Network management framework for IMT-2020 (O-047).
15. Draft ITU-T Technical Report: Application of information centric networking to IMT-2020 (O-048).
16. Rec. ITU-T Y.3101. Requirements of the IMT-2020 network.
17. Rec. ITU-T Y.3150. High-level technical characteristics of network softwarization for IMT-2020.
18. Rec. ITU-T Y.3130. Requirements of IMT-2020 fixed-mobile convergence.
19. Report ITU-R M.2320 – Future technology trends of terrestrial IMT systems (November 2014).
20. Rec. ITU-R M.2083. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond (September 2015).
21. Report ITU-R M.2376 – Technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz (July 2015).
22. 3GPP TS 38 104.
23. 3GPP TS 22 501.
24. 3GPP TR 38 913. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies (Release 14.)
25. 3GPP TR 22.822. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on using Satellite Access in 5G; Stage 1 (Release 16).
26. **Mah Daniel C.H.** Role of Satellite in 5G. – SAS, Satellite Connectivity Workshop, Nadi, Fuji, 24 April 2017.
27. **Jonas Eneberg.** Satellite Role in 5G. – Inmarsat, 2017.

*Получено 22.02.18*