

Технологии 5G:

позаэтапное внедрение и элементная база для абонентского оборудования

Данная статья посвящена теме возможностей использования мобильной связи 5-го поколения (5G). Рассмотрим, чем 5G интересен и как разработчики пользовательского оборудования (User Equipment, UE) могут начать формировать рынок 5G-устройств уже сегодня. Доступ UE к сетям 5G можно обеспечить посредством соответствующих модулей сотовой связи: в конце статьи приведен краткий обзор номенклатурного ряда 5G-модулей SIMCom Wireless Solutions, их основные характеристики и отличия друг от друга.

Батор Батуев
bator.batuev@simcom.com

5G — это не просто новый стандарт мобильной связи. Внедрение сетей 5-го поколения в долгосрочной перспективе может преобразовать наше восприятие мира и привести к трансформации общества. При этом изменится экономика сетей: средняя скорость передачи данных увеличится в 40 раз, а себестоимость доставки, напротив, уменьшится в 30 раз. Уже к 2024 году, по мнению аналитиков, до 30% мобильного трафика будет идти через устройства с поддержкой 5G. На технологию 5G к 2025 г. будет приходиться 15% мирового сектора мобильной телефонии (прогноз GSMA); в Европе и Китае этот показатель составит 30%, а в США — 50%.

Ключевые показатели стандарта и технологии 5G

5G — поколение мобильной связи, работающее в соответствии со стандартами телекоммуникаций, следующих за технологией LTE (4G).

Консорциум 3GPP начал формирование спецификации 5G-NR (NR – New Radio, технология радиодоступа для сетей подвижной связи 5-го поколения) в 2015 году. Тогда были озвучены планы по подготовке спецификаций. В соответствии с этими планами 1-я фаза спецификаций должна была завершиться до второй половины 2018 года (в рамках релиза 15 3GPP), а 2-я фаза — до декабря 2019 года (в рамках релиза 16 3GPP). На данный момент

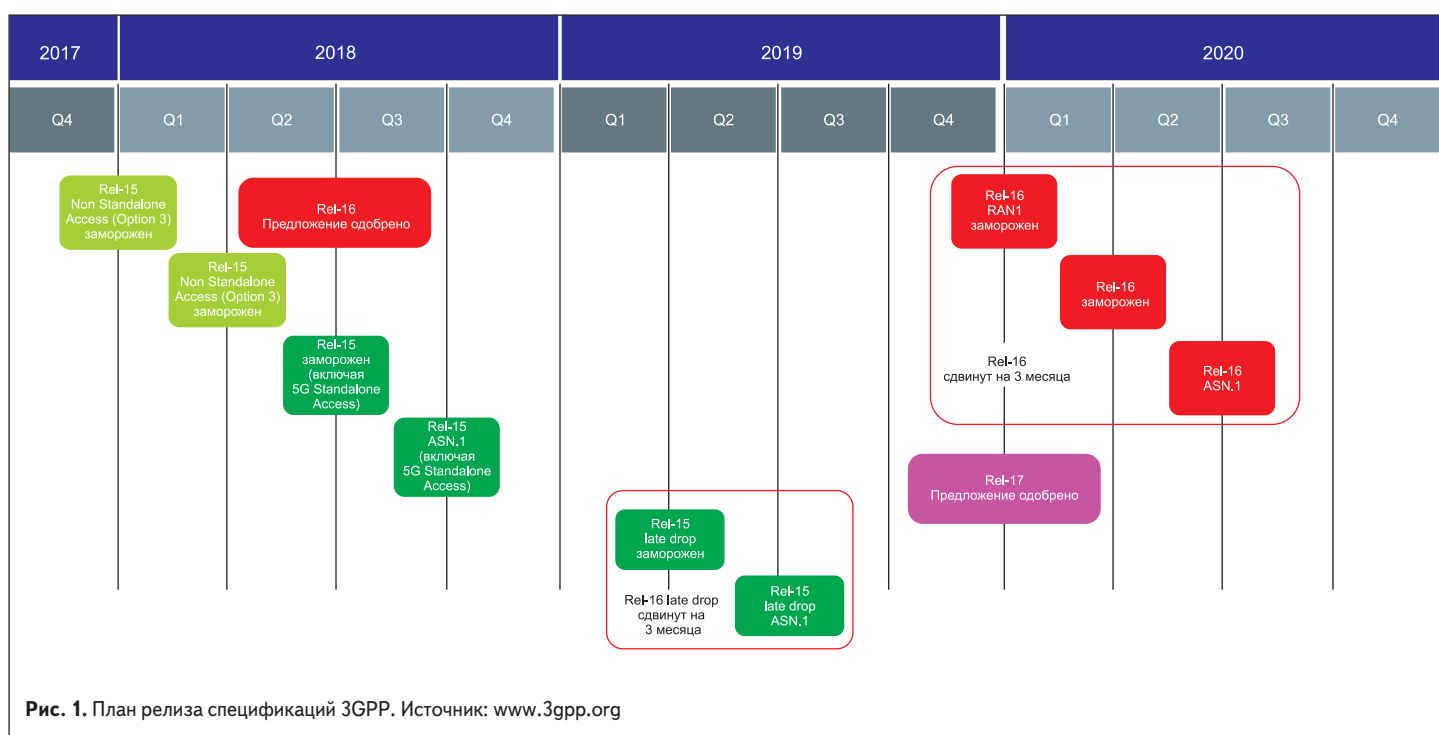


Рис. 1. План релиза спецификаций 3GPP. Источник: www.3gpp.org

Таблица 1. Частотные диапазоны для сетей 5G

| Блок радиочастот | Радиочастотный диапазон |
|------------------|-------------------------|
| FR1 | 450–6 000 МГц |
| FR2 | 24250–52600 МГц |

1-я фаза завершена с задержкой на год, а 2-я смещена на третий квартал 2020 года (рис. 1).

Стандарты и спецификации 3GPP созданы участниками рынка и учитывают самые разные бизнес-задачи, у каждой из которых, конечно же, есть свои специфичные требования. Так, рекомендация 3GPP TR 38.913 определила следующие ключевые показатели сетей нового поколения:

- пиковая скорость передачи данных на линии вниз (Downlink) — 20 Гбит/с (при спектральной эффективности 30 бит/с/Гц);
- пиковая скорость передачи данных на линии вверх (Uplink) — 10 Гбит/с (при спектральной эффективности 15 бит/с/Гц);
- минимальная задержка в подсистеме радиодоступа для сервисов URLLC — 0,5 мс, для сервисов eMBB — 4 мс;
- максимальная плотность подключенных к сети в городских условиях устройств IoT — 1 млн устройств/кв. км;
- автономная работа устройств IoT без подзарядки аккумулятора в течение 10 лет;
- поддержка мобильности при максимальной скорости передвижения объектов 500 км/ч.

Теперь кратко расскажем о нескольких технологиях, благодаря которым, собственно, имплементация сетей пятого поколения становится возможной.

Частота и ширина полос

Спецификация 3GPP TS 38.211 V1.2.0 (2017-11) определила новые полосы радиочастот для 5G (табл. 1) и разделила их на два блока: FR1 (частоты до 6 ГГц или sub6G) и FR2 (частоты выше 6 ГГц или mmWave). Работа на более высокочастотных диапазонах позволяет устранить различные помехи в сети, которые искажают передачу данных. Кроме того, выше частота – выше ширина полосы, а от нее напрямую зависит пропускная способность канала. Так, для блока FR1, в зависимости от используемого SCS (Sub-Carrier Spacing — вариант разноса радиочастот поднесущих), допускается ширина одного радиоканала до 100 МГц, для блока FR2 — 50–400 МГц. В отличие от сетей LTE, которые допускают каналы шириной всего лишь 1,4, 3, 5, 10, 15 и 20 МГц. А если скомбинировать ширину канала с агрегацией частот (CA), то для одного соединения можно достигнуть спектра в 2 ГГц и больше.

Massive MIMO и Beam Forming (формирование луча)

Формирование луча при помощи MIMO-антенн не является новой концепцией и уже существует на рынке сотовой связи в качестве AAS (Active Antenna System — активная антенная система). Антенна AAS MIMO, установленная на вышке, позволяет разбить зону покрытия на статические ячейки, тем самым увеличивая эффективность использования спектра и ко-

Таблица 2. MIMO в диапазонах sub6G и mmWave

| | Sub6G | mmWave |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Порядок MIMO | до 8×8 | 2×2 |
| Возможности | Статичное пространственное мультиплексирование для множества пользователей | Динамическое формирование луча для одного пользователя |
| Характеристика | Многолучевое распространение, оптимален для пространственного мультиплексирования. Протяженная зона покрытия, покрытие внутри зданий | Распространение в прямой видимости. Массовые соединения со сверхширокой полосой пропускания |

личество каналов (рис. 2). Но современные перегруженные сети нуждаются в динамическом цифровом формировании луча для получения максимальной эффективности использования спектра.

Применение концепции MIMO-антенн в миллиметровом диапазоне FR2 оказывается еще более интересным, поскольку миллиметровые радиоволны обладают хорошими показателями направленности за счет увеличения в разы количества антенных элементов на антенну. Массив таких антенных элементов (256 и более) можно соединить в одну т. н. антенну Massive MIMO. Контролируя фазу и амплитуду сигналов, такая антенна способна динамически формировать множество сильных и острых лучей в направлениях конкретных пользователей. Так, с Massive MIMO мы получаем:

- мощный сигнал на выходе в направлении к UE;
- сильный уровень сигнал/шум в направлении от UE;
- отсутствие межсотовой интерференции;
- значительное увеличение количества каналов связи на одну соту.

Таким образом, технология MIMO предоставляет разные возможности в диапазонах sub6G и mmWave, как показано в таблице 2.

SRS

Технология SRS (Sounding Reference Signal — излучение опорного сигнала), известная еще с 14-го релиза 3GPP, служит важным дополнением к формированию луча. Она позволяет базовой станции узнать о качестве канала через специальный пакет, посылаемый от UE. Обычно большинство UE могут поддерживать отправку SRS только через свою основную передающую антенну. Базовая станция может получать информацию канала только для этой антенны. Однако, используя технологию выбора передающей антенны, можно получить

полную информацию о каналах всех антенн UE. Следовательно, базовая станция может генерировать луч в направлении UE наилучшим образом. В результате пропускная способность UE значительно увеличится, особенно в точках на дальнем и среднем удалении от базовой станции (до +40%).

Network Slicing, или «нарезка сети»

По логике этой концепции, операторы сотовой связи смогут разворачивать изолированные друг от друга сети, каждой из которых можно выделить/назначить свой набор ключевых показателей: для «Интернета вещей» — широкое покрытие, для городского транспорта — широкую полосу и низкий отклик. Работа данной технологии будет возможна при переходе на ядро сети нового поколения.

Сценарии и примеры оказания услуг мобильной связи в сетях 5G

Можно заметить, что некоторые из ранее перечисленных показателей, такие как, например, пиковая скорость передачи данных и автономность, оказываются несовместимыми и даже взаимоисключающими. Но все эти показатели и не должны выполняться одним устройством одновременно или в принципе поддерживаться всем списком. Можно выбирать разные виды сценария оказания услуг радиоподвижной связи в зависимости от степени важности (высокая, средняя, низкая) того или иного показателя. В концепции Network Slicing, например, физическая архитектура 5G будет разделена на множество виртуальных сетей или слоев, предназначенных для своего сценария использования. Каждый сценарий будет удовлетворять тому или иному набору ранее указанных показателей и, соответственно, нацелен на определенный сегмент рынка.

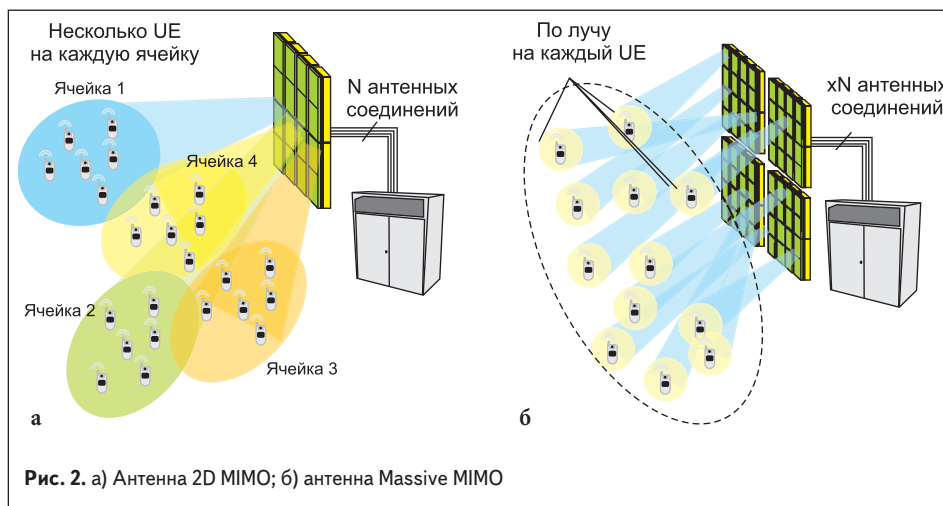




Рис. 3. Три сценария оказания услуг мобильной связи

Спецификация определяет всего три сценария (рис. 3):

- eMBB (enhanced Mobile Broadband — сверхширокополосная мобильная связь);
- URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communication — сверхнадёжная связь с низкими задержками);
- mMTC (massive Machine-Type Communications — массовая межмашинная связь).

NB-IoT и eMTC для mMTC

mMTC — это сценарий межмашинного взаимодействия, в котором участие человека минимально, а все процессы автоматизированы. К устройствам mMTC относятся: счетчики воды, газа, электричества; контроллеры уличного освещения; датчики парковочного места; GPS/ГЛОНАСС-закладки; различные сенсоры дыма/огня; датчики взлома; «умные» мусорные баки и прочие IoT-устройства. Как видно, здесь совсем не важны высокая скорость и сверхнизкие задержки, но необходимы автономность и огромное число подключений в сети. Речь идет о т. н. устройствах LPWA (Low Power Wide Area) — массовых, простых и дешевых устройствах с ультранизким потреблением, способных работать от одной батареи до 10 лет.

Стандарты и спецификации для сетей LPWA были заложены в релизах 13 (Cat. NB1 и Cat.M1) и 14 (Cat.NB2 и Cat.M2) 3GPP, и в настоящее время сети NB-IoT (они же LTE Cat.NB1/NB2) и eMTC (LTE Cat.M1/M2) уже запущены в коммерческую эксплуатацию. Сети для таких устройств характеризуются низкими скоростями передачи (до 150 кбит/с в LTE Cat.NB2 и до 1 Мбит/с в LTE Cat.M1), широким и «глубоким» покрытием. Стоит отметить, что прелесть NB-IoT и eMTC в том, что развертывание сетей со стороны операторов сотовой связи не требует огромных вложений и выделения отдельных частотных полос. Эти LPWA-сети могут работать в существующих частотных полосах и на уже используемом сетевом оборудовании, при этом одна базовая станция может обслуживать более обширную территорию по сравнению с существующими сетями 2G, 3G или LTE.

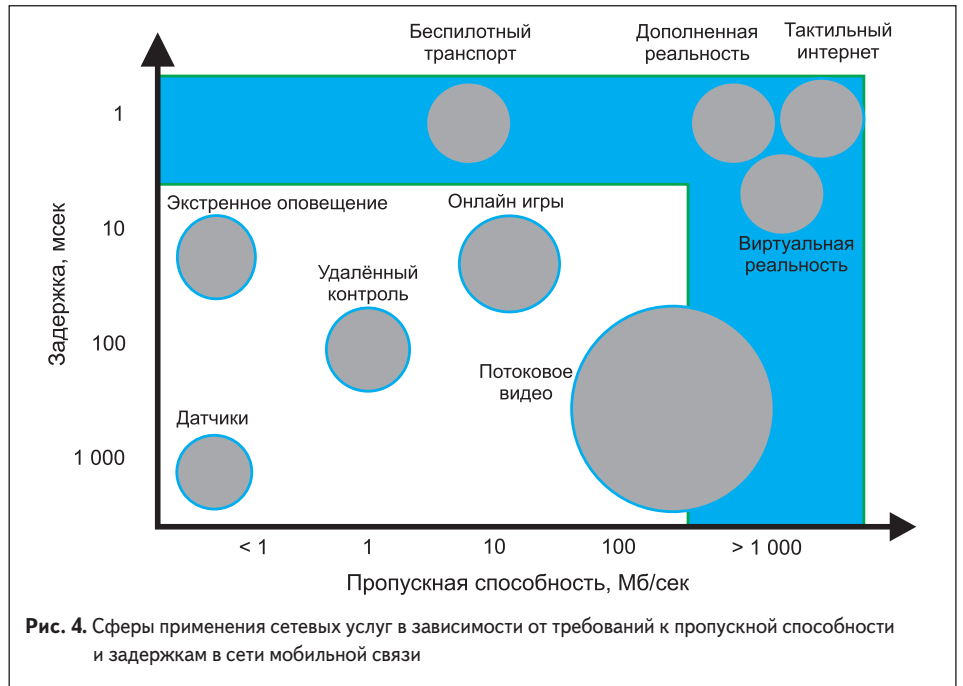


Рис. 4. Сферы применения сетевых услуг в зависимости от требований к пропускной способности и задержкам в сети мобильной связи

О том, как получить доступ к сетям NB-IoT при помощи модулей сотовой связи SIMCom Wireless Solutions, можно прочесть в статье [1].

5G для URLLC и eMBB

Формально сети NB-IoT и eMTC можно отнести к сетям 5-го поколения, но в данной статье под 5G мы будем подразумевать высокоскоростную технологию. Сценарии URLLC (будет включен в релиз 16 3GPP) и eMBB (уже определен в релизе 15 3GPP) находятся в зоне ответственности 5G. Их суть отражена в названиях: сценарий URLLC означает сверхнадёжную связь с низкой задержкой, а eMBB — сверхширокополосную, а значит, высокоскоростную связь.

Казалось бы, скорости и время задержки в существующих LTE-сетях удовлетворяют большинство современных пользователей. Зачем потребителю 5G и какая от него польза?

Рассмотрим инфограмму на рис. 4, которая отражает сферы применения сетевых услуг в зависимости от требований к пропускной способности и задержкам. В светлой части мы видим современные сферы применения, уже ставшие для нас повседневностью, такие как: онлайн-игры, просмотр и выгрузка видео,

удаленная телеметрия, контроль объектов, датчики и др. Все эти приложения довольствуются каналом до 100 Мбит/с и задержками выше 10 мс.

А теперь обратим внимание на синюю часть инфограммы — это та область, которая открывается с 5G. Видно, что 5G может как улучшить существующие сферы применения, так и породить новые. Рассмотрим несколько самых интересных вариантов использования подробнее. Они помогут понять, насколько важным для нас на самом деле является внедрение сетей 5G.

Потоковое видео

Участники рынка прогнозируют смещение классического приложения «видеостриминг» вправо, в сторону увеличения скоростей передачи данных без особых требований к задержкам. Главным драйвером для этого станет потребность в высококачественном 8К-видео.

Сегодня в продаже есть телевизоры с поддержкой 4К-видео, и некоторые провайдеры предоставляют видеоконтент такого качества. Но надежный доступ к такому контенту могут получить разве что пользователи, подключенные

| | 720p | 1080p | Entry-Level 4K | Carrier-Level 4K | Ultra 4K | 8K |
|------------------------|----------|-----------|----------------|------------------|---------------|---------------|
| Битрейт | 720p@30p | 1080p@30p | 4K@30p 8bit | 4K@60p 10bit | 4K@120p 12bit | 8K@120p 12bit |
| Прямая трансляция | 2М | 4М | 25-30М | 25-35М | 25-40М | 50-80М@H.265 |
| VOD (видео по запросу) | 2М | 4М | 12-16М | 20-30М | 18-30М | 35-60М@H.265 |
| Пропускная способность | > 5М | > 5М | > 30 М | > 50М | > 50М | > 100М |

HD (720p) FHD (1080p) QHD (4K) UHD (8K)

Рис. 5. Требования различных форматов видео к пропускной способности сети

к оптоволоконному Интернету, что возможно не во всех населенных пунктах. С появлением 5G 4K- и даже 8K-видео станут нормой (рис. 5) для всех жителей городов и пригородов, а в сфере кинофотопроизводства станут уделять больше внимания такому качеству, как детализация.

Потребление видеоконтента на широкоформатном телевизоре устанавливает требования к пропускной способности на скачивание. Однако 5G предлагает более высокие скорости и на выгрузку. Это откроет возможности для внедрения городских систем видеонаблюдения с интеллектуальным распознаванием лиц (рис. 6) на всех континентах. В таких системах вся вычислительная часть с искусственным интеллектом находится в сети, от камер видеонаблюдения требуется лишь передать на сервер видео должного разрешения. В мире уже есть примеры внедрения таких систем. Правительство Шанхая (Китай) пользуется такой системой с 2015 года. К ней подключено более 170 млн «умных» видеокamer. Для примера [2], данная система помогла обнаружить преступника в 50-тысячной толпе на пути с концерта популярного певца. На концерт он пришел вместе с супругой, и, по словам задержанного, рассчитывал затеряться в толпе.

На практике такие системы не только позволяют городу сэкономить средства на обеспечение безопасности и оперативно-розыскные мероприятия, но и порождают положительный социально-экономический эффект: жители и туристы не боятся покупать дорогие вещи, посещают публичные места в любое время дня, а бизнес не опасается за сохранность клиентов и имущество, поскольку теперь это задача города.

С появлением 5G данная система станет более эффективной и менее затратной при развертывании и обслуживании, а значит — более доступной.

Sky Office

Ожидается, что на ранней стадии коммерческого развертывания 5G ключевым 5G-продуктом, помимо смартфонов, станет именно ноутбук с подключением к Sky Office (рис. 7). Sky Office — это концепция переноса вычислительных мощностей ноутбука в облако при оснащении компьютера встроенным 5G-модемом. Так, в облаке могут размещаться не только файлы пользователя (Cloud Drive), но и программное обеспечение (ПО), такое как MS Office 365 (Cloud Office), или игровые программные продукты (Cloud Games). В этой концепции ноутбук становится, проще говоря, экраном с клавиатурой и камерой.

Если сети сотовой связи обеспечат задержку в единицы миллисекунд и предоставят выделенный надежный канал связи на безлимитной основе (Network Slice), то работа со Sky Office в будущем может стать популярным способом применения ноутбука. При этом потребитель получит ряд интересных качеств, недостижимых с обычными ноутбуками:

- низкое потребление на уровне планшетов со временем автономной работы 14 ч и более;
- ноутбук не тратит время на загрузку ПО, оно уже работает — в облаке;



Рис. 6. Работа интеллектуальной системы распознавания лиц по потоковому видео с уличных камер

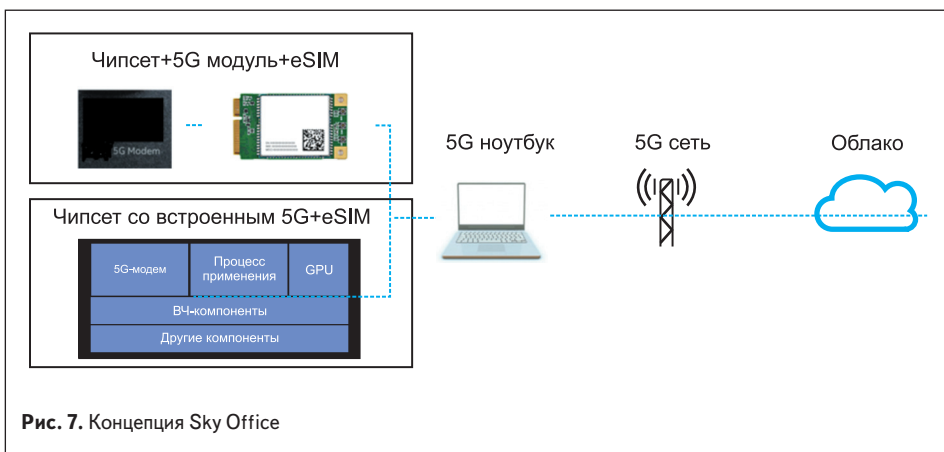


Рис. 7. Концепция Sky Office

- потеря ноутбука больше не означает потерю данных и лицензий;
- тонкий и легкий корпус (состав и структура ноутбука упрощаются, а это способствует уменьшению размеров и веса);
- пассивное охлаждение (ноутбук больше не производит энергозатратных вычислений и слабо греется);
- связь безопаснее, чем Wi-Fi, поскольку 5G практически невозможно взломать, канал

связи защищен новейшими алгоритмами шифрования.

Конечно, воплощение концепции Sky Office в реальность требует выстраивания целой экосистемы при участии игроков сразу нескольких отраслей, таких как: производителей операционных систем и ПО, производителей ноутбуков, операторов сотовой связи, облачных сервис-провайдеров, производителей чипсетов, производителей eSIM и модулей 5G.



Рис. 8. VR от Sony PlayStation. Источник: www.playstation.com



Рис. 9. VR от Microsoft. Источник: www.microsoft.com

Но, несмотря на сложность имплементации, ожидается, что в ближайшем будущем Sky Office будет иметь быстрый рост в Китае и многих других странах.

Виртуальная и дополненная реальности

Индустрия развлечений всегда была локомотивом в развитии бытовой электроники. Самые высокие требования к производительности

исходят именно от потребителей игровых консолей. Самыми передовыми, хоть и менее распространенными технологиями в мире игр являются виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR).

Всем известные компании Sony (рис. 8) и Microsoft (рис. 9) уже несколько лет предлагают аксессуары для VR и соответствующие 3D-игры.

Постепенно VR и AR выйдут за рамки игровой индустрии и неизбежно перекинутся на образование, медицину, промышленность — их потенциал переоценить сложно. На рис. 10–13 приведены некоторые примеры применения AR из материалов презентации «Microsoft HoloLens 2». Следующим шагом в этой отрасли будет совмещение AR и VR с 5G. Технически это уже осуществимо благодаря новому чипсету Qualcomm Snapdragon XR2, совмещающему 5G-модем и специализированный процессор XR (от VR+AR) с поддержкой искусственного интеллекта, реагирующего на мимику «пилота».

Понятно, что с 5G популярность онлайн-игр только возрастет. С переносом вычислительных мощностей в облако (Cloud Gaming) игровые консоли станут менее загруженными, видео будет более плавным, детальным и динамичным. Преодолев технологический барьер с 5G, рынок AR/VR-игр станет более востребованным. Многим откроются виртуальные путешествия в другие города, погружения на дно океана и даже полеты в космос. Как известно, восприятие мира человеком сильно зависит от того, что он видит, и с XR+5G кругозор среднего обывателя значительно расширится, что изменит подходы общества к изучению мира и созидательной деятельности во всех сферах.



Рис. 10. Студенты изучают структуру микроорганизмов



Рис. 11. Медицинский работник проводит анализ результатов МРТ



Рис. 12. Инженер производит наладку техники

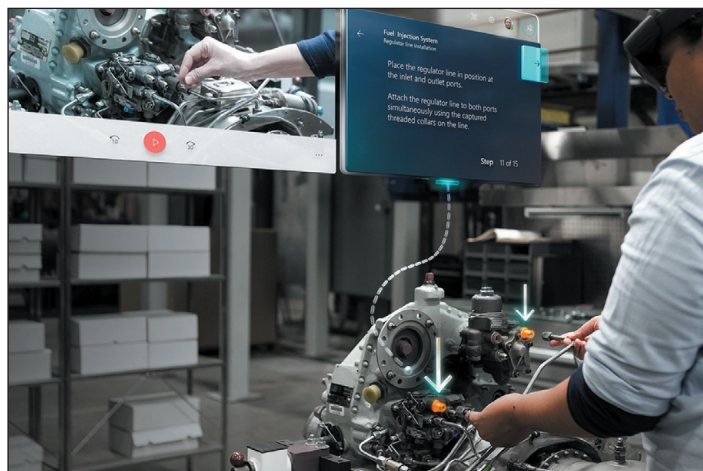


Рис. 13. Работник завода выполняет сборку двигателя



Рис. 14. Швейцарский почтовый дрон Swiss Post от Matternet

Тактильный Интернет

В продолжение разговора о XR и искусственном интеллекте стоит сказать отдельно о таком производном направлении, как тактильный Интернет (ТИ). Это передача тактильных ощущений, прикосновений на любые расстояния с минимальной, практически неощутимой задержкой. Название технологии было предложено в Дрезденском техническом университете, там еще в 2012 году начались работы по созданию роботизированных систем, способных удаленно передавать ощущения.

Сейчас ученые работают над созданием искусственного прикосновения путем внедрения датчиков в мягкие роботизированные структуры и наиболее чувствительных сенсорных датчиков. Такие датчики уже умеют воспроизводить силу и характер касания, различают разные материалы: металл, дерево, текстиль и т. д.

ТИ выдвигает требования, которые будут под силу сетям 5G:

- задержки менее 1 мс;
- надежность — для выполнения критических задач (например, удаленная операция) недопустимы потери в сети, отказ оборудования и т. д.;
- высокая скорость передачи данных — более 10 Гбит/с;
- высокая плотность сети — поддержка подключения более 100 устройств на 1 кв. км.

Для воспроизведения ощущений предполагается наличие каких-либо устройств, находящихся в контакте с получателем, например одежды (футболки, джемпера, брюки), аксессуаров (перчатки), обуви, головных уборов, экзоскелетов или специальных устройств, представляющих собой тактильные дисплеи с крошечными приводами, благодаря которым работают подвижные элементы (иглы, штырьки).

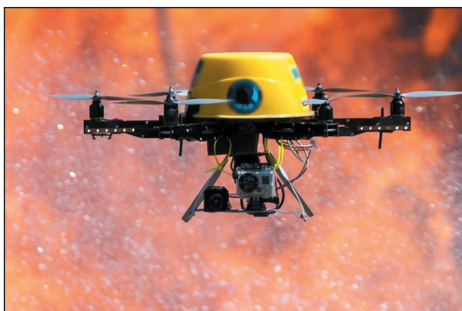


Рис. 17. Пожарный дрон Predator-100 (Китай) тушит пожар



Рис. 15. Транспортировка людей в труднодоступные места на грузовом дроне

С помощью ТИ можно учить рисовать, играть на музыкальных инструментах, делать удаленные хирургические операции, то есть делать все, что требует навыков «мелкой моторики». В электронной торговле данную технологию можно применить для того, чтобы потрогать или примерить товар до его покупки. Музейные экспонаты тоже можно будет потрогать и даже ощутить в руке вес древних артефактов. Многопользовательские онлайн-шутеры с XR+ТИ станут реалистичнее, можно будет ощутить боль, толчки, удары, жару и холод.

Первые практические примеры применения ТИ в хирургии уже есть. В США проходят тесты для внедрения т. н. «телехирургии», когда хирург проводит хирургическую операцию удаленно, через сеть 5G. Телехирургия сильно отличается от классической телемедицины: речь идет не о простой видеотрансляции в режиме конференции, а о «присутствии» хирурга во время операции. Его движения, точность, личные навыки, мгновенная реакция на события — все будет передано через сети 5G без ухудшения качества операции. Услуги редких специалистов станут доступнее, а пациенты смогут выбирать хирурга независимо от страны проживания.



Рис. 18. Спасательно-поисковый дрон швейцарской авиационно-спасательной организации Rega, самостоятельно ищущий людей



Рис. 16. Агрокоптер проводит обработку сельскохозяйственных угодий

БПЛА (дроны)

Телехирургия выставляет высокие требования к задержкам и надежности связи, но есть еще одна сфера, требующая ко всему прочему и массовость подключения, — беспилотные летательные аппараты (БПЛА), или «дроны». Сегодня уже никого не удивит легкими дронами самых разных назначений — от развлекательных до специализированных военных. С их помощью снимают эффектные видео, проводят разведку местности, спасают людей, перевозят грузы и т. д. Но почти все они управляются человеком напрямую, через прямой беспроводный надежный контакт на нелицензируемой частоте.

В связи с внедрением 5G в прогрессивных странах к данной теме уже сегодня обращено серьезное внимание со стороны регулирующих органов, в связи с чем проводятся работы по стандартизации и обеспечению безопасности в этой сфере. К примеру, в Европе существует специальная экспертная группа 5G PPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) на базе Европейской Комиссии и представителей индустрии информационно-коммуникационных технологий (операторы, провайдеры, институты, малый и средний бизнес) из Британии, Франции, Швейцарии, Австрии, Финляндии, Греции, Польши и Эстонии. Государственно-частное партнерство 5G PPP будет предлагать решения, архитектуры, технологии и стандарты для БПЛА. В данной государственной инициативе Евросоюз видит один из путей укрепления своего технологического лидерства на мировой арене.

При наличии стандартов, регулирующих массовый оборот дронов, систем искусственного интеллекта, надежного, постоянного и быстрого беспроводного канала связи 5G для целого улья дронов можно открыть новые рынки и сервисы в самых разных сферах (рис. 14–19). Дроны-курьеры, разносящие



Рис. 19. Дрон DJI Matrice 600 Pro доставляет почки на операцию (США)

еду из магазинов или важные медикаменты в труднодоступные места; дроны-спасатели, ищущие потерявшихся в лесу или в море людей и днем, и ночью; дроны-пожарные, тушащие очаги возгорания еще на начальной стадии; агрокоптеры, опрыскивающие зерновые культуры, — и все в глобальном масштабе, а не в частных случаях.

Инфраструктура C-V2X

От БПЛА перейдем к беспилотным транспортным средствам. Многие видели видеопрезентацию Tesla, в которой электромобиль под управлением искусственного интеллекта (рис. 20) движется по городу с минимальным участием водителя. Или другой пример — сервис Waymo, который позволяет при помощи мобильного приложения вызвать такси и доехать на него до выбранной точки без водителя (рис. 21).

Оба автомобиля построены на разных принципах работы мощного искусственного интеллекта. Автомобиль принимает ситуативное решение на основе визуальной информации и данных с лидара (Waymo). «Умный» автомобиль находится в окружении «неумных», непредсказуемых автомобилей под управлением человека.

Доступен инфраструктурный подход к беспилотному вождению, закрепленный в 14-м релизе 3GPP — C-V2X. C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) — это концепция передачи информации от транспортного средства любому объекту, который может повлиять на транспортное средство, и наоборот. Данный подход позволяет транспортному средству «общаться» с другими авто (V2V), инфраструктурой (V2I), сетью LTE (V2N), электросетью (V2G), пешеходами (V2P) и даже домами (V2H). 15-й релиз 3GPP также внес возможность общения автомобиля с сетью 5G, и C-V2X стал более привлекательным благодаря сервису URLLC.

Таким образом, транспортные средства, подключенные к системе C-V2X, смогут «видеть» всю картину дорожной обстановки, «знать» о взаимном положении, препятствиях, опасных участках, а искусственный интеллект, расположенный в сети, не просто сформирует для них траекторию движения, а сделает это с учетом взаимного влияния на транспортную систему. Такие системы решат проблему транспортировки лучше и безопаснее любого водителя, сократят время в пути каждого участника движения и сделают движение предсказуемым, безопасным и энергоэффективным.

Международная консалтинговая компания PricewaterhouseCoopers (PwC) прогнозирует, что первые машины без водителей появятся на дорогах общего пользования уже в 2021 году, а к 2040 году весь транспорт мегаполисов по всему миру станет беспилотным. Однако первое время такой транспорт будет требовать внимания со стороны водителя при определенных ситуациях по ходу движения. В этот период также будут решаться правовые вопросы, связанные с беспилотным и электротранспортом, в частности юридические и страховые аспекты. Определенное количество времени будет потрачено на создание сети зарядных станций для электрокаров.



Рис. 20. Работа автопилота Tesla в движении с водителем за рулем



Рис. 21. Работа Waymo в движении без водителя за рулем



Рис. 22. Моделирование V2X в пилотной зоне на беспилотном 12-местном пассажирском электробусе «ШАТЛ» от «КАМАЗ» (Казань, 12 июня 2018 года)



Рис. 23. Количество базовых станций 5G-NR в коммерческом обращении [3]

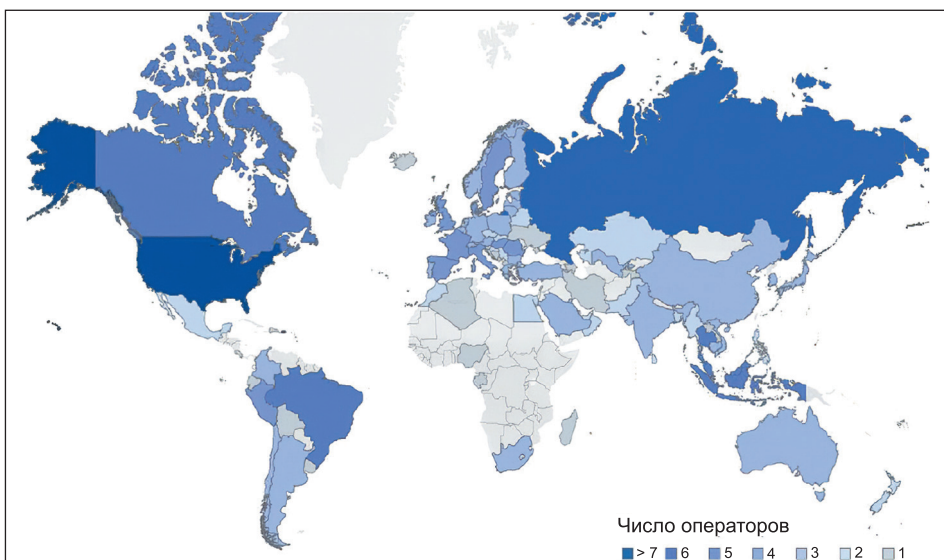


Рис. 24. Коммерческие, запланированные и пилотные сети 5G

В России данный сервис уже находится на стадии НИР и прототипирования. В 2018 году российский оператор «Мегафон» в партнерстве с «КАМАЗом» провел моделирование сервиса

V2X в пилотной зоне на базе беспилотного электробуса «ШАТЛ» (рис. 22).

Теперь, перечислив множество примеров, где 5G будет как нельзя кстати, рассмотрим,



Рис. 25. Модели 5G-смартфонов

в каком состоянии находятся сети 5G сегодня и какие барьеры нужно преодолеть на пути к фантастическому будущему.

Состояние сетей 5G в мире и в России

Процесс внедрения сетей 5G в коммерческую эксплуатацию начался уже с 2019 года, правда, пока покрытие таких сетей весьма скромное. На начало 2020 года сети 5G запущены в эксплуатацию у 47 операторов в 22 странах мира (рис. 23), а вместе с теми, кто сейчас планирует запуск или ведет тестирование, будет 279 операторов в 109 странах (рис. 24).

Что касается абонентского оборудования, то в продаже уже имеется множество моделей 5G-смартфонов (рис. 25), роутеров и CPE.

Первые пользователи уже оценили значительный рост скорости передачи в режиме 5G. Результаты тестов Qualcomm (май 2019 года) показывают повышение скорости скачивания у 5G-устройств по сравнению с LTE-устройствами в 3,3 раза. В будущем этот показатель будет выше за счет более плотного покрытия и перехода от ядра LTE EPC к пакетному 5G-ядру сети.

В России «большая четверка» операторов в период с августа по сентябрь 2019 года уже провела первые тесты и запуск пилотных сегментов 5G-сетей. По результатам тестов на данном этапе задержки в сети в движении вышли менее 10 мс, а скорости скачивания достигли 2 Гбит/с (рис. 26). Пилотные зоны 5G (рис. 27) можно найти на улицах Москвы (парк Зарядье, Москва Сити, Воробьевы горы, ВДНХ, Сколково, GMS-Hospital, СК «Лужники»), Казани, Кронштадта и в лабораториях операторов сотовой связи.

Согласно российской программе «Цифровая экономика» устойчивое покрытие сети 5G должно быть обеспечено к 2024 году во всех крупных городах с населением от 1 млн человек. В настоящий момент модель развития российских сетей 5G до конца не определена. Проблема, как и в прочих странах, заключается в выборе радиочастотных полос. Операторы считают наиболее привлекательным для 5G диапазон 3,4–3,8 ГГц (n78 и n79), однако он занят другими пользователями, в основном



Рис. 26. Тестирование скорости скачивания (1,3 Гбит/с) на смартфоне Huawei Mate X в сети оператора «Билайн» (Москва)

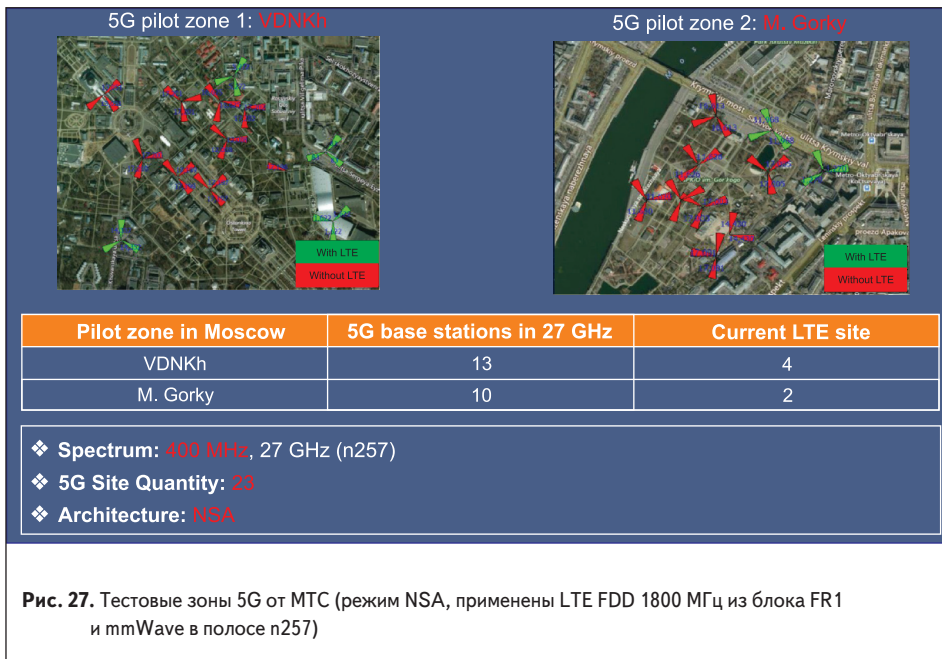


Рис. 27. Тестовые зоны 5G от МТС (режим NSA, применены LTE FDD 1800 МГц из блока FR1 и mmWave в полосе n257)

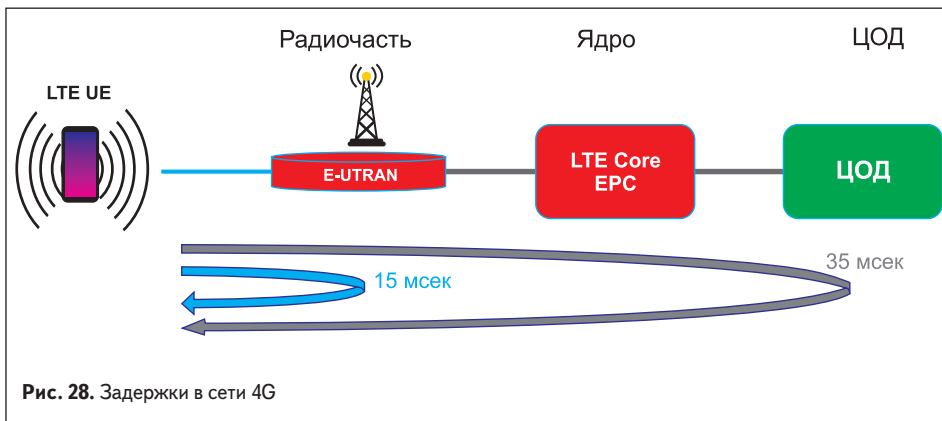


Рис. 28. Задержки в сети 4G

военными и спецслужбами, и требует работы по высвобождению. Больше ясности с частотными диапазонами появится в 4-м квартале 2020 года после открытых торгов, на которых Роскомнадзор должен распределить радиочастоты в формате аукциона.

Путь от LTE к 5G

Как уже было сказано, сети 4G не достигают до требований, выдвигаемых новыми сценариями применения. Помимо плотности подключений, пропускной способности радиочасти и др., задержки в сетях 4G довольно велики.

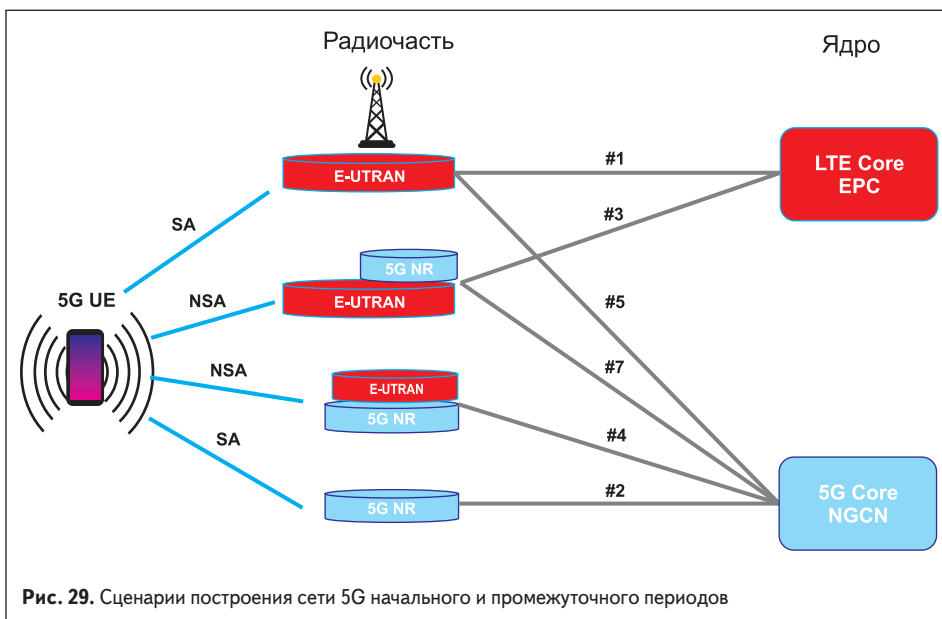


Рис. 29. Сценарии построения сети 5G начального и промежуточного периодов

Задержки складываются из задержек в радиочасти и в инфраструктурной части (рис. 28), и сегодня они составляют десятки миллисекунд. В долгосрочной перспективе для полноценных 5G-сетей, в том числе для поддержки Network Slicing и URLLC, потребуется как новая сетевая инфраструктура NGCN (Next Generation Converged Network), так и модернизация сети радиодоступа. Ясно, что повернуть такой объем работ разом невозможно.

Консорциум 3GPP изначально учел сложность развертывания новых сетей и принял на вооружение сценарии перехода от стандартной конфигурации LTE-сетей (#1 на рис. 29) к 5G. Внедрение 5G предлагается сначала проводить поверх существующей инфраструктуры LTE EPC в режиме NSA (Non-Standalone, #3 на рис. 29), как это делали операторы сотовой связи весь 2019 год. В такой конфигурации задержки на радиочасти сократятся, но ввиду ограничений LTE-ядра EPC общий показатель задержки будет далек от требований URLLC. Главный смысл такой конфигурации в другом — в радиочасти мы получим значительное повышение пропускной способности, достаточное для большинства существующих приложений eMBB, а также стабильность соединения при большом количестве подключающихся абонентов на одну базовую станцию.

Начальная модель NSA (#3 на рис. 29) направлена на улучшение качества мобильного широкополосного Интернета для повышения надежности и объема передаваемых данных за счет подключения в режиме EN-DC (E-UTRAN New Radio — Dual Connectivity). Пользовательские терминалы, поддерживающие EN-DC, могут одновременно подключаться к базовым станциям LTE и 5G (рис. 30), при этом базовая станция LTE является якорной (требуется модернизация до ng-eNB или new generation eNB). UE изначально регистрируется в сети через E-UTRAN на низких частотах (<2 ГГц) и начинает транслировать в сеть результаты измерений, выполняемых на сети радиодоступа 5G-NR. При удовлетворительном «качестве радиосигнала» 5G базовая станция LTE ng-eNB инициирует запрос к базовой станции 5G gNB на выделение UE сетевых ресурсов. По завершении процедуры UE подключается одновременно к базовым станциям LTE ng-eNB и 5G gNB. Конечно, зона охвата базовой станции 5G будет значительно уже LTE, поскольку высокочастотный сигнал миллиметрового диапазона имеет больший коэффициент затухания.

Впоследствии посредством комбинированных базовых станций LTE+5G-NR можно осуществить расширение зоны покрытия 5G за счет применения технологии DSS (Dynamic Spectrum Sharing — динамическое разделение спектра), когда нижний диапазон частот E-UTRAN (<2 ГГц) делится динамически с 5G-NR (рис. 31). До внедрения операторами ядра 5G-сети смогут работать таким образом.

От этапа #3 (рис. 29), когда операторы сотовой связи интегрируют ядро 5G NGCN, они могут переходить к целевому и финальному режиму SA (опции #2 и #5 на рис. 29), когда используется одна технология радиодоступа — либо E-UTRAN, либо 5G-NR. На рис. 32



Рис. 30. Подключение UE к LTE ng-eNB и 5G gNB в режиме EN-DC

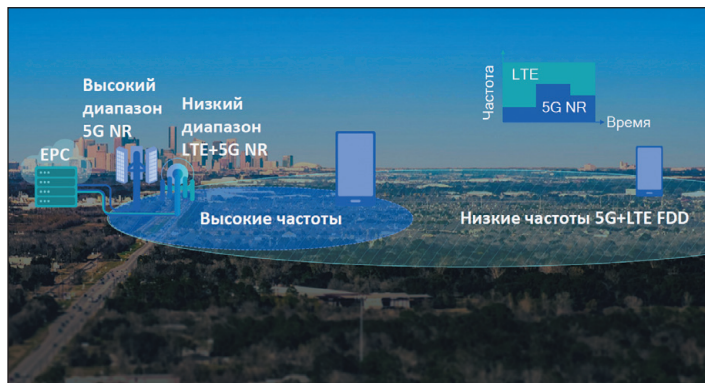


Рис. 31. Расширение зоны покрытия 5G за счет низких частот LTE (DSS)

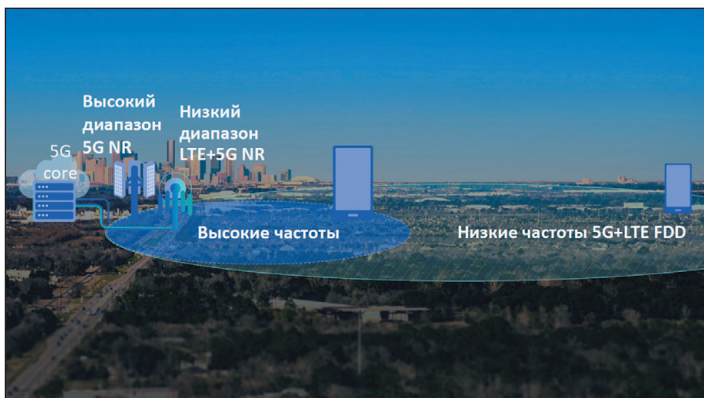


Рис. 32. Финальный вид сети 5G

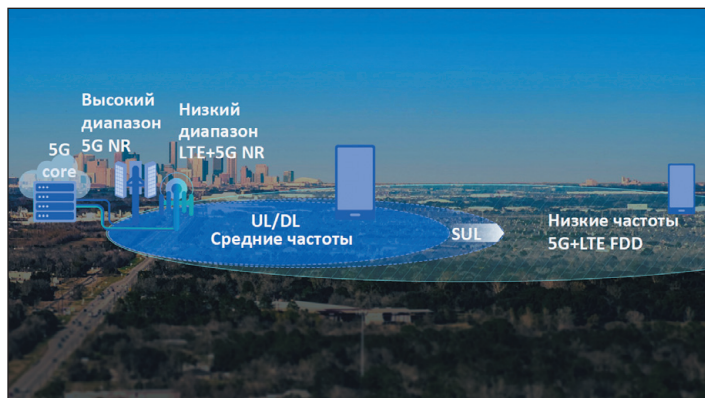


Рис. 33. Расширение зоны покрытия средних частот за счет непарного канала

представлен финальный вид сети 5G, способной предоставлять услуги URLLC.

Для удовлетворения растущей потребности eMBB можно задействовать средние частоты (2–7 ГГц), увеличив таким образом скорости передачи данных, в том числе и за счет агрегации частот. Ниже частота — больше покрытие, но и меньше ширина канала. Однако есть способ увеличить покрытие, сохраняя высокую скорость выгрузки при помощи дополнительного канала линии вверх (SUL, Supplementary Uplink). На рис. 33 показано, как «парному» (UL/DL) радиоресурсу из средних частот для UE назначается дополнительный непарный канал линии «вверх» (SUL) из низких частот. Тогда в одной core UE получает 1×DL (средние частоты) и 2×UL (низкие и средние частоты) канала, использование которых будет контролироваться сетью. В этом случае на границе соты в DL-канале используется среднечастотный сигнал с повышенной мощностью из «парного» диапазона, а в UL-канале — низкочастотный сигнал в непарном SUL-диапазоне. В итоге базовая станция «видит» UE на более дальних расстояниях, а скорость скачивания сохраняется та же, как при использовании средних частот.

Прогноз покрытия сетей 5G и «последняя миля»

Из сценариев развертывания сетей 5G и применяемых частотных полос следует логика распределения частотных полос под разные сценарии, как показано в таблице 3. Этой концепции подчиняется технология Network Slicing, определенная спецификацией 3GPP:

она позволит операторам сотовой связи разворачивать изолированные друг от друга сети, каждую из которых можно будет выделять под определенные нужды (для «Интернета вещей», трансляции потокового видео и др.).

Учитывая целесообразность указанных сценариев в мегаполисах, малых городах и поселках, можно составить обобщенную схему покрытия сетями, примерно как на рис. 34. Как известно, в мире либо

Таблица 3. Сценарии применения в разных частотных диапазонах 5G

| Частоты | Ширина полосы | Сценарии | Характеристика |
|------------------|---------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Выше 7 ГГц (FR2) | 800 МГц | eMBB | Сверхвысокая скорость, маленькое покрытие, только на улицах |
| 2–7 ГГц (FR1) | 100 МГц | eMBB, URLLC, mMTC | Высокая скорость, широкое покрытие на улицах, удовлетворительное покрытие в помещениях |
| < 2 ГГц (FR1) | 20 МГц | eMBB, URLLC, mMTC | Средняя скорость, вездусущее покрытие на улицах и в помещениях |

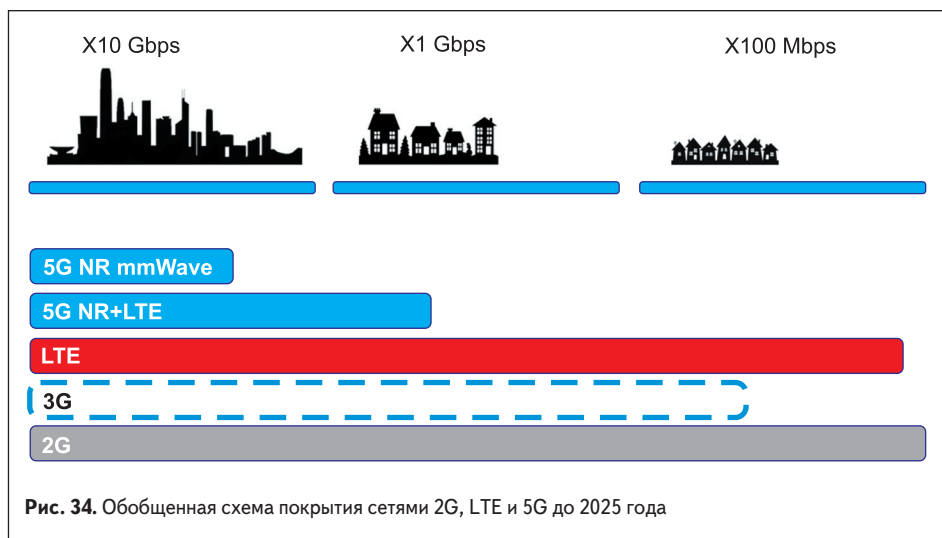


Рис. 34. Обобщенная схема покрытия сетями 2G, LTE и 5G до 2025 года

уже отказались от сетей 3G, либо заявили о планах на их отключение. Поэтому на рисунке 3G изображен прерывистой линией. По планам европейских операторов, вместо медленного 3G в поселки придет быстрый LTE (сценарий #5 на рис. 29) при сохранении 2G для голосового трафика. Покрытие в пригороде будет отличаться более высокими скоростями и низкими задержками, а мегаполисы смогут похвастаться большим числом подключений и сверхскоростным Интернетом в местах покрытия частотного диапазона FR2. Как видно, в ближайшие годы 5G-сети не заменят 4G-сети, а постепенно интегрируются с ними, значительно улучшив общее положение дел.

Отдельно стоит сказать, что такое распределение сетей породит резкий рост рынка FWA (Fixed Wireless Access, рис. 35). Производители CPE (Customer Premises Equipment — настенное или внутридомовое телекоммуникационное оборудование, расположенное в помещении абонента, рис. 36) смогут обеспечить высокоскоростным Интернетом жителей территорий, куда высокоскоростное и надежное покрытие 5G по каким-то причинам «не дошло».

Обычно в такие места приходят провайдеры проводного и оптоволоконного Интернета. Но 5G FWA создаст серьезную угрозу этому сектору бизнеса. Ведь с 5G у FWA качество широкополосного Интернета не уступит оптоволоконному, а стоимость подключения и вовсе будет вне конкуренции, поскольку исключаются подведение оптоволокну/кабеля, монтажные работы и настройка у каждого абонента в отдельности. Установка CPE так же проста, как установка Wi-Fi роутера, и почти не требует обслуживания.

Возможно, в итоге рынок оптоволоконного/проводного Интернета сильно преобразится, найдет свое специфическое применение, но уже никогда не будет таким массовым, как сегодня. И напротив, по прогнозу экспертов SNS Telecom, к 2030 году через сервис FWA посредством 5G будет подключено 345 млн абонентов (рис. 37), а абонентских устройств CPE будет продано свыше 90 млн. В России данный сервис ввиду протяженности территории может быть весьма востребован даже на первоначальной стадии развертывания сетей 5G.

Абонентские модули 5G SIMCom Wireless Solutions

5G-смартфоны и планшеты уже поступили в продажу. Компания SIMCom Wireless Solutions, с 2002 года специализирующаяся на разработках и производстве модулей сотовой связи для M2M-рынка, в 2019 году анонсировала планы расширить продуктовую линейку модулями 5G. Сегодня портфолио модулей пополнило четыремья моделями: SIM8200G, SIM8200EA-M2, SIM8300NA (пока версия только для Северной Америки) и SIM8300G-M2 (рис. 38).

Все четыре модуля построены на платформе SoC Snapdragon X55 (или SDX55) от Qualcomm, произведенной по технологии 7 нм. Модули соответствуют 15-му релизу спецификации 3GPP. Поддерживаются Fallback на LTE-FDD/

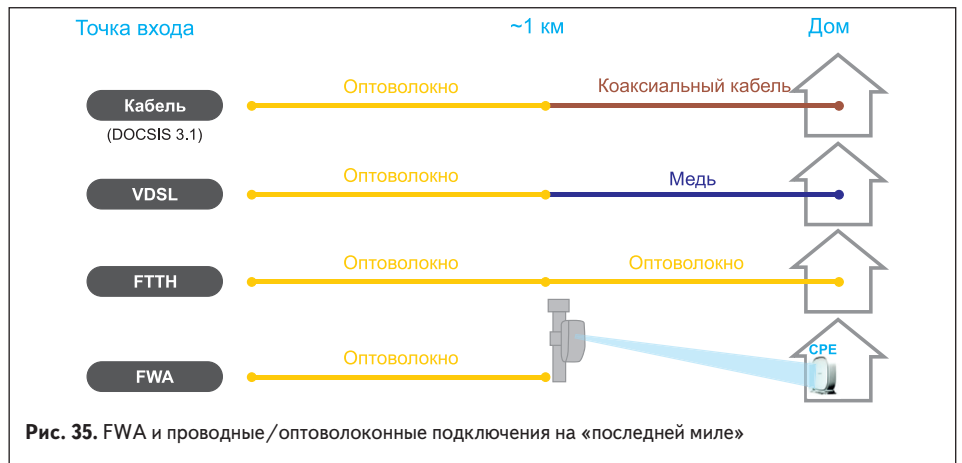


Рис. 35. FWA и проводные/оптоволоконные подключения на «последней миле»

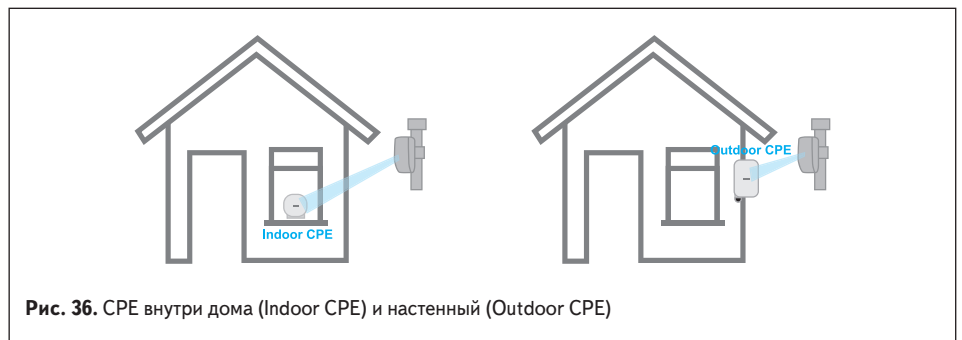


Рис. 36. CPE внутри дома (Indoor CPE) и настенный (Outdoor CPE)

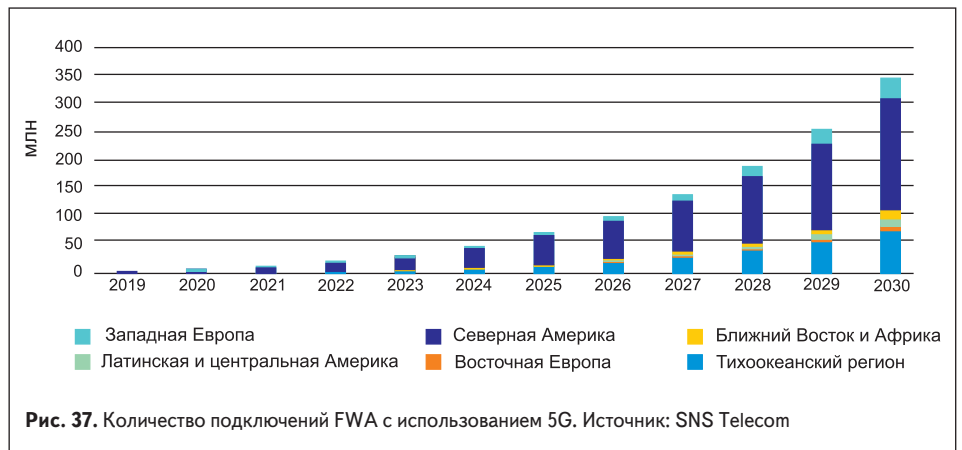


Рис. 37. Количество подключений FWA с использованием 5G. Источник: SNS Telecom

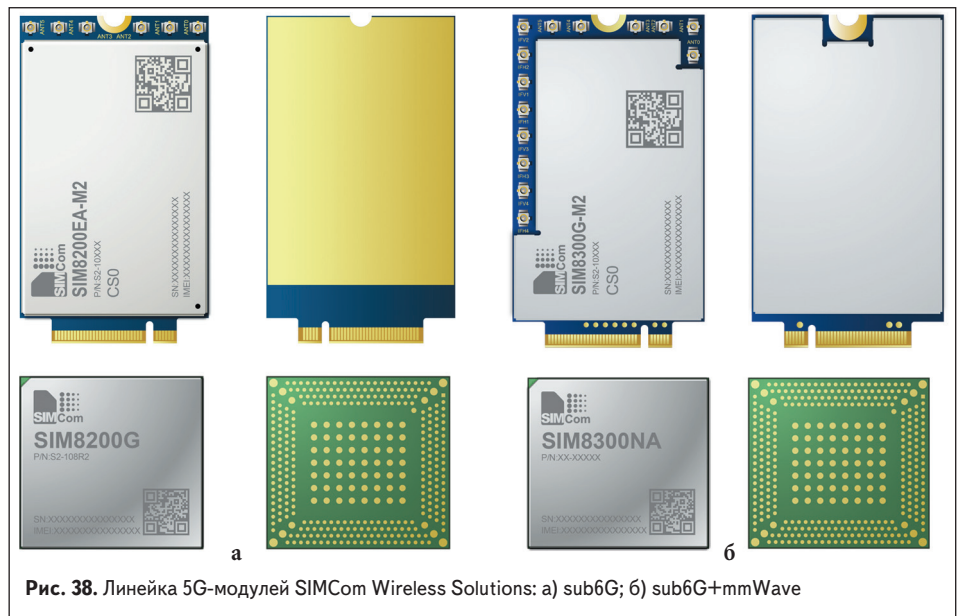


Рис. 38. Линейка 5G-модулей SIMCom Wireless Solutions: а) sub6G; б) sub6G+mmWave

LTE-TDD/3G, режим EN-DC, massive MIMO и глобальный набор частотных диапазонов (табл. 4). Абонентское оборудование на базе данных модулей сможет работать как в сетях 5G переходного периода в режиме NSA, так и в финальных сетях 5G в режиме SA, т. е. везде, где есть покрытие E-UTRAN или 5G-NR. Модули 82-й серии поддерживают работу в sub6G-диапазоне, а 83-я серия поддерживает и миллиметровый диапазон (mmWave). Модули выполнены в двух форм-факторах — в корпусе LGA под пайку и в виде карты M2. Первый интересен, когда от модуля требуется обширный набор интерфейсов и/или механический способ монтажа противопоставлен условиями эксплуатации конечного изделия. Карточки M2 имеют стандартный размер и интерфейсы (PCIe 3.0, USB 3.1, USIM...), что позволяет предусмотреть в изделии сотовую связь как опциональную. В некоторых случаях LTE-карту даже можно заменить на карту 5G.

На данный момент уже есть несколько примеров реализации проектов на базе модулей 5G, таких как CPE, роутеры, дрон-самолет, USB-модемы (рис. 39) и т. д. По опыту компании, от разработчика требуется высокая компетенция в области конструирования ВЧ-техники подобного класса, особенно в случае с модулями 83-й серии, поскольку для работы в миллиметровом диапазоне (mmWave) они требуют подключение 2–4 внешних антенных модулей QTM525-2 или QTM527-2 (рис. 40), которые должны удовлетворять определенным условиям взаимного расположения.

Антенные модули внутри корпуса размещают слоистую антенную структуру, блок питания, фильтры, усилители и цепь частотного преобразования. Антенный модуль соединяется с модулем 5G через гибкий шлейф и парный ВЧ-кабель (синие линии на рис. 41), через которые распространяются сигналы вертикальной и горизонтальной поляризации (IF-V и IF-H). Для работы антенных модулей требуются два источника питания, один из них поставляется непосредственно от модуля (1,9 В, желтая линия на рис. 41), а другой — от внешнего источника (3,3 В, красная линия на рис. 41). При этом модуль управляет включением и выключением антенных модулей отдельным цифровым сигналом.

Разработчикам для тестирования модулей 5G предоставляются отладочные наборы, с помощью которых можно на начальном этапе оценить работу в диапазонах sub6G и mmWave без больших затрат времени.

В России модули 5G впервые были представлены в январе 2020 года на специализированной конференции «5G: от технологии к реализации» в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. В рамках конференции заинтересованные участники рынка (Qualcomm, Huawei, Megafon, SIMCom Wireless Solutions и др.) обсудили текущее состояние сетей 5G в России и мире, технические решения, проблемы внедрения и многие другие вопросы, в том числе частотный спектр



Рис. 39. 5G-USB Dongle UM80 на базе SIM8200EA-M2

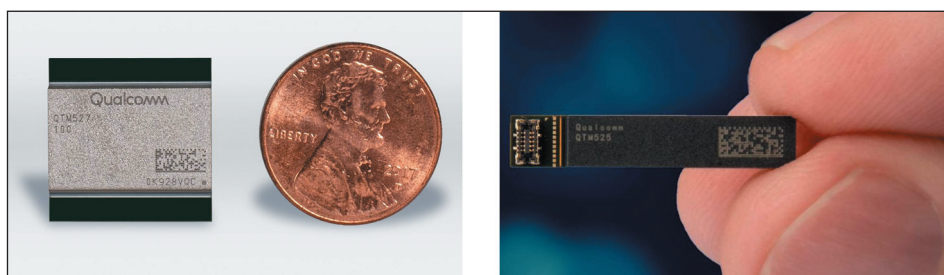
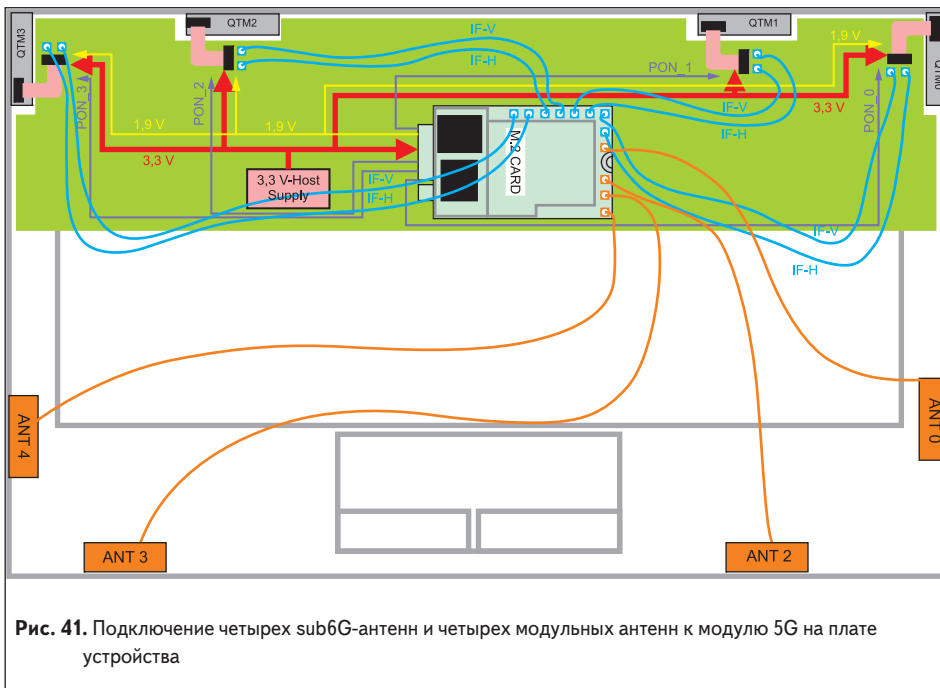


Рис. 40. Антенные модули миллиметрового диапазона: а) QTM525-2; б) QTM527-2

Таблица 4. Основные характеристики 5G-модулей SIMCom Wireless Solutions

| | | SIM8200G | SIM8200EA-M2 | SIM8300G-M2 |
|--------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Спецификация 3GPP | | Rel.15 | | |
| NSA/SA | | + | | |
| Скорость передачи данных | mmWave | нет | | до 7 Гбит/с (скачивание), до 3 Гбит/с (выгрузка) |
| | sub-6G | до 4 Гбит/с (скачивание), до 450 Мбит/с | до 4 Гбит/с (скачивание), до 300 Мбит/с | до 4 Гбит/с (скачивание), до 600 Мбит/с (выгрузка) |
| | LTE | до 2 Гбит/с (скачивание), до 150 Мбит/с (выгрузка) | до 2,4 Гбит/с (скачивание), до 200 Мбит/с (выгрузка) | до 2,4 Гбит/с (скачивание), до 200 Мбит/с (выгрузка) |
| | HSPA+ | до 42 Мбит/с (скачивание), до 5,76 Мбит/с (выгрузка) | до 42 Мбит/с (скачивание), до 5,76 Мбит/с (выгрузка) | до 42 Мбит/с (скачивание), до 5,76 Мбит/с (выгрузка) |
| Частоты | 5G NR | mmWave (SIM8300G-M2): n257/n258/n260/n261; Sub6G: n1/n2/n3/n5/n7/n8/n12/n20/n25/n28/n40/n41/n66/n71/n77/n78 (n79 у SIM8200G и SIM8300G-M2) | | |
| | LTE-FDD | B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B12/B13/B14/B17/B18/B19/B20/B25/B26/B28/B29/B30/B32/B66/B71 | | |
| | LTE-TDD | B34/B38/B39/B40/B41/B42/B43/B48 (B46 у SIM8300G-M2) | | |
| | WCDMA | B1/B2/B3/B4/B5/B8 | | |
| GNSS | | ГЛОНАСС, GPS, Beidou, Galileo, QZSS | | |
| Интерфейсы | | USB 2.0, USB 3.1, UART, PCIe Gen3.0, USIM, I ² S/PCM, I ² C, xGPIO, SPI, ADC, RGMII, SDIO3.0, PMI, Wi-Fi | USB 2.0, USB 3.1, PCIe Gen3.0, 2xUIM, I ² S/PCM, I ² C, xGPIO | USB2.0, USB 3.1, PCIe Gen3.0, USIM, I ² S/PCM, I ² C, xGPIO |
| Количество антенн | | 8 | 6 | 14 |
| Встроенные протоколы | | NDIS/RNDIS/PPP/TCP/IPv4/IPv6/Multi-PDP/FTPS/HTTPS/DNS/SSL/TLS | | |
| Голосовые вызовы | | VoNR, VoLTE, CSFB | | |
| Обновление ПО | | Через USB или FOTA | | |
| Размеры | | 41×43,6 мм | 30×52 мм | 30×52 мм |
| Напряжение питания | | 3,3–4,3 В | | |
| Диапазон температур | | –30...+85 °С | | |

Примечание. Приведены предварительные данные.



диапазонов, выбранные операторами, модулями будут поддерживаться.

Выводы

Говорить, что сети 5G приобрели финальный вид, еще рано. Нам предстоит дождаться 16-го релиза, который по замыслу консорциума закроет 2-ю фазу спецификаций и определит начало массового внедрения опорных сетей 5-го поколения. Однако это не мешает уже сегодня начинать работы по изучению новой технологии, что заложит фундамент для будущих проектов, ведь сети радиодоступа 5G-NR в общем доступе уже имеются, хоть и в ограниченном виде. Необходимо понимать, что сети 5G рано или поздно станут нашей повседневностью и переход от NSA-режима в SA будет гладким и незаметным, а наработки, сделанные сегодня, не пропадут зря. ■

Литература

1. Батуев Б. Б. SIM7000E/SIM7000E-N: применение энергосберегающих режимов PSM и eDRX в сети NB-IoT // Беспроводные технологии. 2017. №2.
2. Видео с канала Youtube «РосБизнесКонсалтинг». www.youtube.com/channel/UCWAK-dRtTEjnQnD96L6UMsQ.
3. Сервис Ookla. www.speedtest.net/ookla-5g-map.

для сетей пятого поколения. Частотные диапазоны под сети 5G в России пока до конца не определены, операторам сотовой связи еще предстоит провести множество тестов, в том числе модулей сотовой связи различ-

ных производителей, чтобы определиться с выбором полос в тех или иных регионах. Однако у представленных модулей 5G список поддерживаемых полос обширен, а это значит, что практически любые комбинации