

5G И МИЛЛИМЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ



Понятные и хорошо освоенные частоты ниже 6 ГГц являются приоритетными для развертывания беспроводной сотовой связи нового поколения. Но решат ли они проблему плотного трафика? Специалисты считают, что однозначно нет. Следовательно, технологии 5G придется рано или поздно отправиться в неизведанную область миллиметровых волн. Что ее ждет в этом направлении? В статье рассматриваются тенденции развития технологии 5G, и даются ответы на ряд важных вопросов. Статья написана на основе авторского перевода [1] с рядом дополнений.

За последние 30 лет мобильная сеть стала важной частью нашей повседневной жизни, а использование мобильных услуг начинает достигать невероятно высокого уровня спроса. В этом году через мобильные сети по всему миру каждый месяц будет передано 30 Экзабайт информации ($30 \cdot 10^{18}$ байт). И это еще не предел: по прогнозам специалистов, ежемесячный объем передаваемой информации с учетом интернета вещей к 2020 г. будет измеряться уже в Зеттабайтах ($1 \cdot 10^{21}$ байт). Этот показатель будет ежегодно увеличиваться примерно на 50%. Спрос на передачу данных будет и дальше продолжать расти, причем высокими темпами. Уже прямо сейчас около 15% взрослого населения в США используют LTE (LTE — стандарт беспроводной высокоскоростной передачи данных 4G [2]) на постоянной основе, оставляя Wi-Fi выключенным (они говорят, что управление точками доступа Wi-Fi может раздражать). Что же касается молодого поколения, то уже сейчас молодежь потребляет 50 ГБ мобильного видео каждый месяц, полагаясь на «безлимитные планы». Признаки тренда здесь очевидны — спрос на передачу данных будет и дальше продолжать увеличиваться, причем высокими темпами.

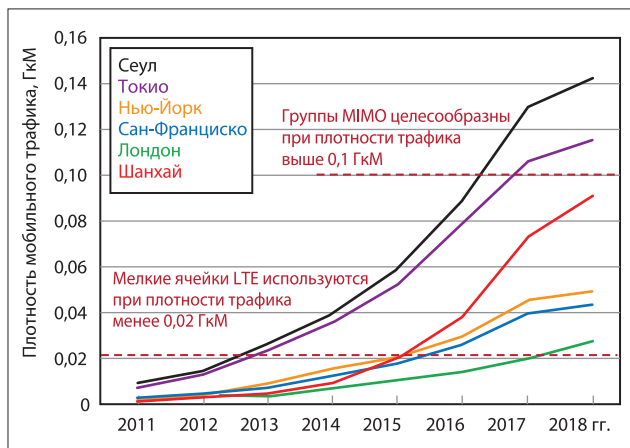
Использование малых сот поддерживает технология LAA (License Assisted Access) компании Ericsson. Операторы связи увеличивают скорость передачи в перегруженных зонах, например в помещениях, устанавливая небольшие базовые станции с этой технологией. Концепция LAA предусматривает использование еще одной передовой технологии — агрегации несущих частот, которая позволяет эксплуатировать разные диапазоны LTE, подключая любую неиспользуемую полосу в диапазоне 5 ГГц, в т. ч. нелицензированные частоты [3]. На практике малая сота непрерывно сканирует нелицензированные частоты и, найдя свободный канал, создает 4G-соединение. Впервые в России успешно протестировал технологии LAA сотовый оператор МТС [4].

Как известно, увеличение скорости передачи информации требует роста пропускной способности каналов связи. Теорема Шеннона–Хартли [5] устанавливает шенноновскую емкость канала связи (верхнюю границу максимального количества безошибочных цифровых данных) с заданной полосой пропускания в присутствии шума. Способность канала связи определяется следующим образом:

$$C = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{N} \right) = \Delta f \log_2 \left[1 + \frac{E_\sigma}{N_0} \left(\frac{C}{\Delta f} \right) \right],$$

где Δf — занимаемая полоса частот; P_c — средняя мощность сигнала; N — средняя мощность шума; E_σ — энергия бита; N_0 — спектральная плотность мощности шума.

Из этого выражения видно, что имеются два пути повышения пропускной способности канала связи: увеличение средней мощности сигнала P_c по отношению к суммарной энергии шума и помех или расширение полосы частот Δf занимаемой сигналом. Увеличение мощности сигнала P_c для мобильной связи ограничивается стандартами на допустимые уровни электромагнитного излучения базовых станций и мобильных телефонов. Следовательно, основной путь для увеличения скорости информационного обмена в сетях мобильной связи заключается, главным образом, в расширении полосы частот Δf [4].



▲ Рис. 1. Данные сравнительного анализа для плотности мобильного трафика в Гбит/с/км²/МГц, или ГкМ

Для отслеживания изменений спроса нескольких операторов на мобильные данные измеряется уровень трафика в занятом секторе при пиковой нагрузке в единицах гигабит в секунду на квадратный километр на 1 МГц спектра (Гбит/с/км²/МГц), или ГкМ. Чтобы понять, как современным сетям справляться с экстремальной нагрузкой в городах, сравниваются показатели ГкМ сетей разных операторов. Результаты сравнения позволяют установить, что необходимо для работы с трафиком, – небольшие ячейки, группы ММО (технология использования нескольких передающих и нескольких приемных антенн в одной сотовой ячейке) или использование миллиметровых волн (рис. 1).

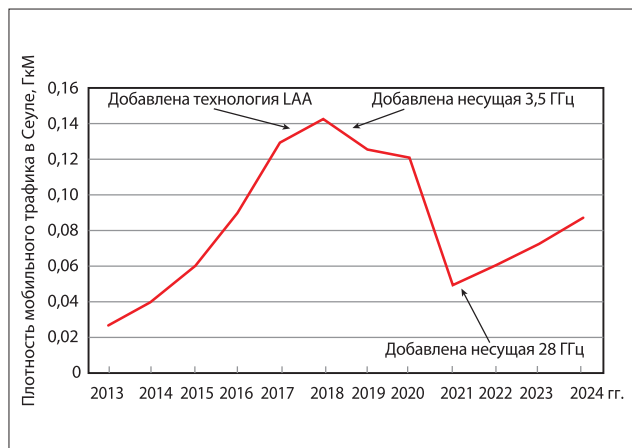
Плотность трафика в единицах ГкМ неуклонно растет уже в течение многих лет. В наибольшей мере это заметно, например, по использованию сетей передачи данных в токийском или сеульском метро, где тысячи людей смотрят видео. Однако статистический рост плотности является на удивление плавным по мере того, как новые приложения и видеоконтент становятся доступными на мобильных платформах.

Выше уровня плотности трафика 0,02 ГкМ операторы мобильной связи, как правило, используют небольшие соты. Другими словами, макросеть насыщается при плотности 0,02 ГкМ, и небольшие ячейки являются более экономичным способом увеличения емкости. В последнее время сети превысили уровень 0,1 ГкМ, что привело к необходимости широкого использования технологии ММО.

В настоящее время становятся заметными некоторые признаки того, что плотность трафика сетей OFDM (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) достигнет 0,15–0,2 ГкМ. Эта технология способна преодолеть такой барьер, но выход за пределы 0,2 ГкМ в диапазонах частот 1–3 ГГц станет весьма дорогим удовольствием, поскольку потребуется большое количество радиоузлов с очень низким энергопотреблением.

Сократить плотность трафика мобильных сетей позволяет технология 5G. Например, плотность трафика сетей одного из ведущих корейских операторов должна сократиться благодаря полосе 100 МГц при несущей 3,5 ГГц. Дополнительные 800 МГц спектра на частотах несущей в области 28 ГГц (т. е. в диапазоне миллиметровых волн) позволят уменьшить плотность трафика в ключевых точках доступа до гораздо более управляемых уровней, как это видно из рис. 2.

Итак, в большинстве случаев операторы для управления плотностью трафика могут использовать спектр 5G, поскольку именно его добавление является лучшим вариантом, когда при высокой плотности увеличение емкости сети с помощью



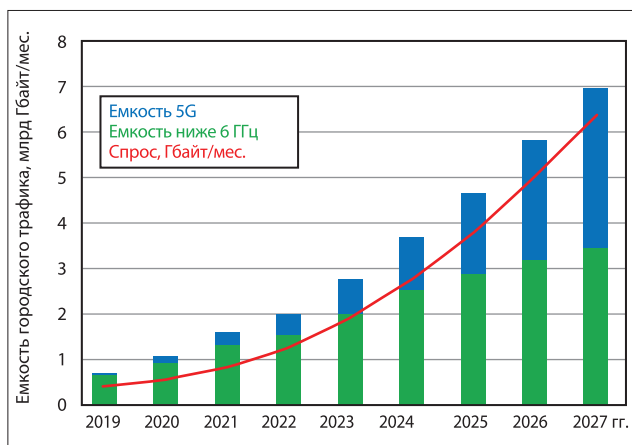
▲ Рис. 2. Изменение плотности трафика с добавлением спектра 5G в области миллиметровых волн

других технологических ухищрений становится экономически нецелесообразным.

МИЛЛИМЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ

После исчерпания возможностей использования удобных лицензированных полос ниже частоты 5 ГГц операторы мобильной связи заинтересовались спектром миллиметровых волн. Однако его использование сопряжено не только с чисто техническими проблемами. Так, например, США являются ярким примером того, когда из-за недоступности широких участков спектра сантиметровых длин волн С-диапазона (частоты 3,4–8 ГГц) операторам мобильной связи пришлось вложить значительные средства в полосы частот 28 и 39 ГГц в миллиметровом диапазоне.

Емкости крупных мобильных сетей США в главных городских кварталах не хватает на частотах ниже 6 ГГц. Во время международных спортивных мероприятий плотность трафика превышает 0,12 ГкМ. Компания Mobile Experts смоделировала спрос на мобильные данные в четырех сегментах сетей США (городские сети с плотным трафиком, городские сети, пригородные сети, сети в сельской местности) и оценила общую емкость мобильной сети при использовании базовых макростанций, небольших сот, сервиса CBRS¹, технологий LAA и ММО на частотах ниже 6 ГГц. Даже при полностью используемой гетерогенной сети с максимальной пропускной способностью спрос в плотных городских кварталах превысит пропускную способность в 2023 г., как это следует из данных моделирования (рис. 3).



▲ Рис. 3. Спрос и емкость мобильной городской сети с высокой плотностью трафика в США

¹ Сервис CBRS (Citizens Broadband Radio Service) открывает новые возможности для использования спектра 3,5 ГГц в США путем совместного использования частот существующими и новыми пользователями. Спектр CBRS можно использовать для организации и внутреннего, и внешнего покрытия, а также увеличивать емкость сотовой сети с его помощью.

Поскольку числовые данные на рис. 3 иллюстрируют общий спрос и пропускную способность всех городских мобильных сетей с плотным трафиком в США, в местах с высокой емкостью трафика спрос превысит пропускную способность уже в 2021–2022 гг. Соответственно, экстраполируя контрольные показатели плотности трафика, можно считать, что к 2022 г. ежедневные уровни плотности в городских районах Нью-Йорка в часы пик превысят уровень 0,1 ГкМ.

В России аукционы по распределению спектра частот 24,5–29,5 ГГц для сетей 5G должны были пройти до конца 2019 г. При этом приоритетным для развертывания связи пятого поколения является диапазон 4,4–4,9 ГГц, а освободить диапазон 3,4–3,8 ГГц не представляется возможным [6]. Согласно [5], диапазон частот до 57 ГГц, который также подходит для поколения 5G, уже частично занят под нужды разных служб и активно используется в спутниковой связи. Кроме того, нельзя задействовать для 5G частоты, которые раньше были выделены ряду служб. К этим диапазонам относятся 28,35–29,1 ГГц; 76–81 ГГц; 86–92 ГГц; 94–94,1 ГГц. Тем не менее, в диапазоне 71–95 ГГц суммарный интервал незанятых частот превышает 12 ГГц, что позволяет использовать широкополосные системы связи поколения 5G, не оказывая негативного влияния на другие радиосистемы миллиметрового диапазона.

Однако еще в конце прошлого года правительство РФ заявило о том, что на появление 5G в 2020 г. рассчитывать не стоит – ожидается, что лишь к концу 2021 г. появятся условия, необходимые для полномасштабного запуска в стране сетей пятого поколения. Одним из камней преткновения в этом вопросе является выбор диапазона частот, на которых будут разворачиваться сети 5G в России [6]. Чем закончится эта бюрократическая волокита разных, в т. ч. очень влиятельных ведомств, предположить трудно. А пока вернемся к странам, в которых проблема с выделением необходимого частотного спектра решается оперативнее в пользу потребителей.

КАК И КОГДА СВЯЗЬ НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ ОКАЖЕТСЯ ПОЛЕЗНОЙ

Многие опытные инженеры, работающие в области радиочастот, сомневаются в эффективности использовании радиосвязи на основе миллиметровых волн в мобильной среде. Дело в том, что связь на таких волнах при обеспечении разумного энергетического бюджета зависит от диаграммы направленности – как правило, требуется узкий луч. Любое нарушение на пути распространения сигнала может внести нарушения, как и качество исполнения радиочастотной части на аппаратном уровне. Кроме того, связь в этом диапазоне зависит от целого ряда физических факторов, возникающих в тракте передачи сигнала. К ним относятся туман, дождь, лиственный покров [5].

Качество и надежность самой передачи в сети 5G на миллиметровых волнах были продемонстрированы в тестовых системах во время проведения Олимпийских игр в Сеуле и на скоростях выше 200 км/ч на гоночной трассе: структура кадра 5G признана пригодной для переключений даже при максимальном доплеровском сдвиге.

Однако, учитывая имеющиеся аппаратные и физические ограничения, операторы мобильной связи изначально не станут использовать канал 5G на миллиметровых волнах в качестве автономного. В качестве первичного канала будет задействована несущая LTE в диапазоне 1–2 ГГц, а передача управляющих сигналов будет осуществляться в более надежной нижней полосе. И только затем, для загрузки или передачи больших объемов данных в игру вступит канал 5G на миллиметровых волнах, когда он станет доступным.

Таким образом, пропускная способность передатчика на миллиметровых волнах возрастет на уровне агрегации несущих, благодаря чему скорость повысится. Однако он не будет обязателен для формирования непрерывного канала связи

и передачи информации, связанной с сервисами сети. В какой-то момент операторы смогут принять решение перейти к использованию 5G на миллиметровых волнах в качестве основной мобильной сети, но пока ни один из операторов не планирует работать только в рамках технологии 5G в миллиметровом диапазоне.

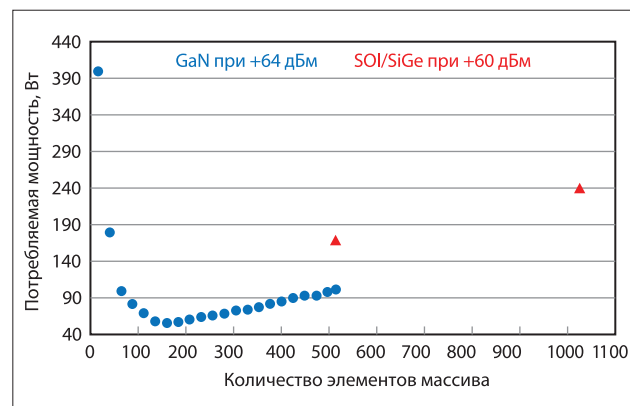
РЕАЛИЗАЦИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО ТРАКТА БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

Базовая станция для работы в диапазоне миллиметровых волн будет разительно отличаться от базовых станций LTE, работающих на частотах ниже 6 ГГц. На фундаментальном уровне передатчики миллиметрового диапазона отличаются более низкой эффективностью усилителя мощности, причем даже в относительно низкочастотном диапазоне 24–40 ГГц; следовательно, уровень подводимой к антенне выходной мощности передатчика будет намного ниже, чем у низкочастотных базовых станций LTE. Основным ограничением является уровень тепловыделения, допустимый в пассивно охлаждаемом радиопередающем блоке на вершине мачты с антеннами сотовой связи. Учитывая, что уровень рассеиваемой мощности блока в небольшом корпусе не должен превышать 250 Вт, РЧ-мощность будет ниже 10 Вт в любой конфигурации оборудования.

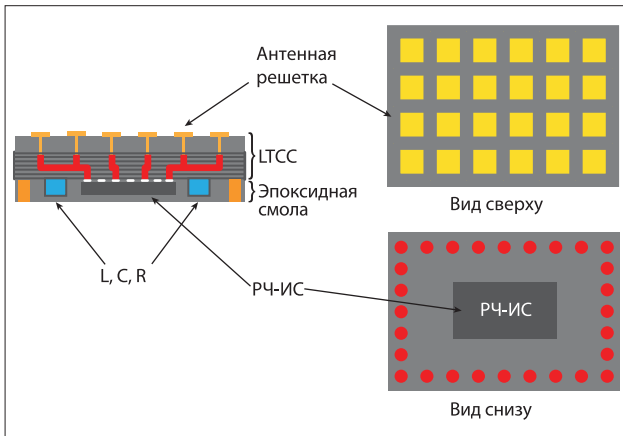
Чтобы обойти это ограничение, системные инженеры обратились к групповым архитектурам ММО, рассчитанным как минимум на 64 антенны, чтобы использовать их высокий коэффициент усиления. Для формирования диаграммы направленности сначала использовались 64–256 антенных элементов на луч, чтобы усиление составило 25–30 дБи. Таким образом, низкая подводимая мощность достигает величины ЭИИМ (линейная эквивалентная изотропно-излучаемая мощность) в диапазоне до 60 дБм. Каждый луч диаграммы также несет несколько потоков, а массивы ММО базовых станций сконфигурированы в виде антенных решеток с двойной поляризацией, так что каждый луч может работать с ММО структурами 2×2.

Несколько лучей диаграммы направленности поддерживаются радиопередатчиком с помощью массива из нескольких антенных решеток. Производители оборудования используют антенные решетки с заданным количеством элементов (64–256 на решетку). Полученное изделие масштабируется в зависимости от требуемых уровней емкости. В частности, применены нашли четыре 256-элементные решетки для 1024 антенных элементов, поддерживающих четыре луча и 2×2 ММО в каждом луче.

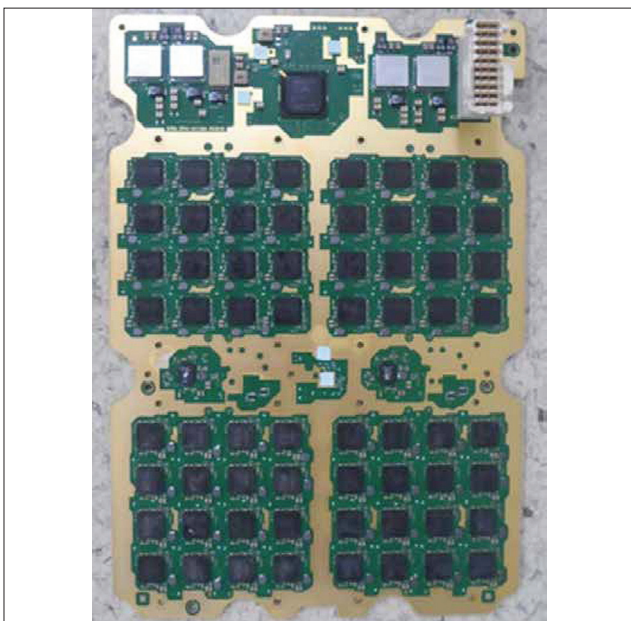
Заметим, что конфигурация лучей диаграммы и потоков не определяется оборудованием. OEM-производитель может изменить конфигурацию с помощью программного обеспечения при условии, что элементы антенны оснащены анало-



▲ Рис. 4. Сравнение рассеяния мощности в GaN-, SOI- и SiGe-усилителях антенных решеток



▲ **Рис. 5.** Корпусирование (интеграция) внешних радиочастотных интерфейсов, работающих в диапазоне миллиметровых волн



▲ **Рис. 6.** Типичная антенная решетка с четырьмя секциями; всего 64256 антенн с двойной поляризацией

говыми фазовращателями и компонентами с регулируемым усилением, которыми можно управлять по отдельности. Такой подход «гибридного формирования луча» используется почти во всех прототипах, поскольку полное цифровое формирование луча при очень широкой полосе пропускания может быть дорогостоящим с точки зрения управления мощностью по отношению к стоимости.

Кроме того, в настоящее время для обеспечения высокого уровня интеграции и низкой стоимости во многих базовых станциях используется полупроводниковые технологии SOI (кремний на изоляторе) и SiGe (кремниво-германиевые транзисторы). Широкозонный нитрид галлия (GaN) также обладает большим потенциалом, благодаря которому уменьшается рассеивание мощности при высоких уровнях ЭИИМ. В результате мощность возрастает до 60 дБм и выше при меньшем количестве элементарных антенн.

На основе данных об эффективности усилителей мощности и размере/эффективности радиаторов, полученных с помощью демонстрационной установки на выставке MWC Barcelona 2019, было определено потребление энергии от источников напряжения постоянного тока (рис. 4). Оказалось, что линейные усилители мощности на базе GaN-транзисторов имеют значительное преимущество по эффективности на частоте 28 ГГц. Тем не менее все крупные OEM-производители до сих пор применяют

технологии SOI или SiGe, которые обеспечивают более высокие уровни интеграции, использование больших пластин и, как следствие, меньшую стоимость конечного оборудования.

Ожидается, что в течение следующих пяти лет значительно скорректируется баланс между узкой диаграммой направленности (для передачи на дальние расстояния) и широкой (для повышения мобильности). Оптимальный компромисс для сетей, работающих в условиях плотного трафика, пока не совсем понятен; скорее всего, придется воспользоваться отдельными конфигурациями так, чтобы мобильные терминалы на движущихся транспортных средствах использовались иначе, чем сотовые телефоны пешеходов. В частности, ожидается, что большие антенные массивы на основе технологии SOI будут поддерживать приложения для городских районов с высокой плотностью трафика, где требуются и вертикальное, и горизонтальное управление диаграммой направленности антенн, а скорости перемещения пешеходов являются типовыми. В других приложениях для реализации более высокой мобильности, не требующих управления диаграммой направленности по вертикали, скорее всего, будут применяться устройства на основе технологии нитрида галлия.

Решающее значение также будет иметь физическая интеграция внешнего радиочастотного интерфейса. Поскольку для обеспечения низких вносимых потерь в полосах частот 24–40 ГГц потребуется очень плотная интеграция, для встраивания активной матрицы и пассивных элементов будут использоваться либо низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (LTCC), либо 3D-структуры на стекле (рис. 5).

Один из наиболее удобных способов реализации радиочастотного блока состоит в использовании специальной радиочастотной интегральной схемы (РЧ ИС) на четыре антенных элемента. Одну РЧ ИС для формирования луча диаграммы направленности (путем настройки фазы и амплитуды) можно установить между четырьмя антенными элементами, используя для маршрутизации сигнала короткие трассы и минимум переходных отверстий (рис. 6) (важность решения проблемы переходных отверстий см. в [7]).

Пока остается открытым один важный вопрос, который касается использования фильтров в интерфейсе радиостанций миллиметровых волн. В настоящее время на входе приемника полосовые фильтры не используются. В них не было необходимости, поскольку во время полевых испытаний спектр был достаточно чистым и для обеспечения внеполосного подавления можно полагаться на естественный спад АЧХ патч-антенны и распределенной антенны. Однако уже в ближайшем будущем, когда пройдут аукционы по использованию спектра и станут разворачиваться сети сразу нескольких операторов, возникнут взаимные помехи. На самом деле, даже при высоком уровне ЭИИМ и очень узких лучах диаграммы направленности помехи велики и, как известно, появляются там, где их не ждешь. Недавний анализ показывает, что фильтры будут установлены в интерфейсы радиостанций миллиметровых волн уже в ближайшие три года.

ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЧ-ТРАКТА КОНЕЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В фиксированной беспроводной связи ключевой частью системы является оборудование конечных пользователей, которое может не принадлежать коммуникационному оператору. Оборудование может принадлежать клиенту, может быть взято им в лизинг или арендовано. Такое оборудование обычно используется для соединения абонента с публичной или частной сетью оператора по любой существующей технологии.

Сначала развертывание сетей 5G на базе миллиметровых волн основывалось на высоком усилении антенны и высоком уровне ЭИИМ оборудования конечного пользователя, чтобы обеспечить требуемую пропускную способность. В на-

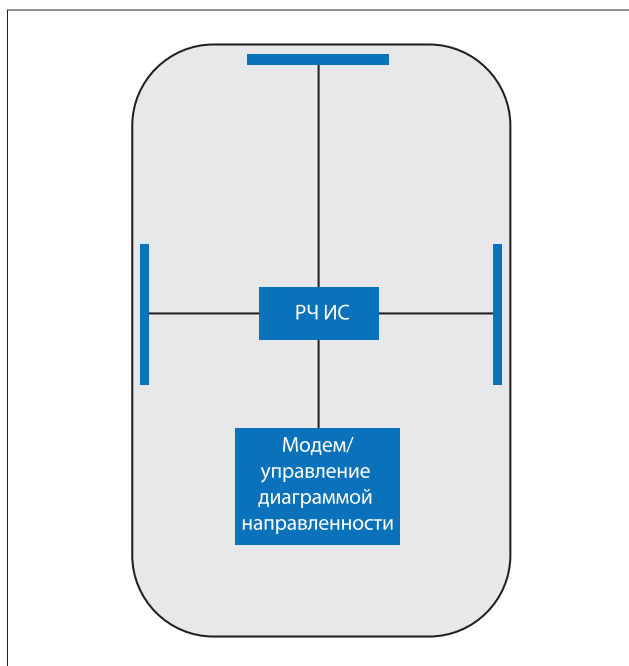
стоящее время внешние радиочастотные интерфейсы оборудования конечного пользователя построены с помощью метода, который схож с реализацией сетевой инфраструктуры с матрицей антенных элементов, поддерживаемых путем формирования необходимой диаграммы направленности с помощью РЧ ИС; далее осуществляется преобразование с повышением/понижением частоты, а затем обработка сигнала в основной полосе частот. В типовом конечном оборудовании используются 32 антенных элемента с двойной поляризацией, поддерживающих 2×2 ММО с усилением около 20 дБи от антенной системы.

Поскольку оборудование конечного пользователя всегда подключено к основной питающей электросети, эффективность усилителя мощности не является ограничивающим фактором; оно часто обеспечивает более высокое усиление и мощность передачи (поскольку линейный показатель ЭИИМ достигается в диапазоне до 40 дБм).

ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЧ-ТРАКТА МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Самая большая проблема, с которой сталкивается канал 5G, работающий в области миллиметровых волн, связана с тем, что пользователь мобильного переносного устройства, например смартфона, блокирует его антенны. В полосе частот 28 ГГц рука пользователя ослабляет сигнал как минимум на 30–40 дБ. Во избежание этой крайне серьезной проблемы предлагается использовать несколько методов.

1. Несколько связанных антенных решеток на каждом телефоне. Во всех прототипах мобильных телефонов 5G образца 2018 г., работающих в диапазоне миллиметровых волн, применяется несколько вспомогательных антенных решеток, расположенных по обеим сторонам смартфона.
2. Размеры складных мобильных телефонов, например Samsung Galaxy Fold и Huawei Mate X, в разложенном виде намного больше ладони, что решает вопрос размещения антенн.
3. Вместо установки радиочастотных интерфейсов миллиметровых волн непосредственно на смартфон можно использовать мобильные точки доступа. Это полностью исключит проблему с блокированием, но может увеличить помехи в нелицензируемых диапазонах. Поскольку огра-



▲ Рис. 7. Расположение трех связанных антенных решеток миллиметровых волн на мобильном телефоне

ничения по размеру и емкости батареи смартфона в данном случае неприменимы, для обеспечения гораздо более высокой мощности ЭИИМ количество антенн можно увеличить.

Возможности физической реализации радиочастотных интерфейсов с несколькими антенными решетками, РЧ ИС и формированием диаграммы направленности непосредственно на телефоне ограничены с точки зрения стоимости и занимаемого пространства. Чтобы сделать эту реализацию экономичной, каждое подмножество блоков миллиметровых волн включает в себя повышающий/понижающий преобразователь для смещения сигнала до промежуточной частоты примерно на уровень 4–6 ГГц (рис. 7). В результате сигналы проще проходят через печатную плату к централизованному радиочастотному приемопередатчику, и обеспечивается их целостность.

Для реализации технологии 3D beamforming требуется несколько антенн. Вместо того чтобы отправлять сигнал во все стороны, мобильное устройство обнаруживает базовую станцию (с помощью низкочастотной технологии), формирует узкую диаграмму направленности в ее направлении и отправляет СВЧ-сигнал непосредственно на станцию. При этом она пытается обнаружить телефон пользователя, тоже формирует узкий луч диаграммы антенны и отправляет сигнал на мобильное устройство. Эта технология – ключевое свойство устройств 5G, позволяющее преодолеть некоторые проблемы миллиметровых волн, связанные с затуханием и прохождением. Именно поэтому антенны располагаются в перпендикулярной плоскости к материнской плате на краю телефона, как видно из рис. 7.

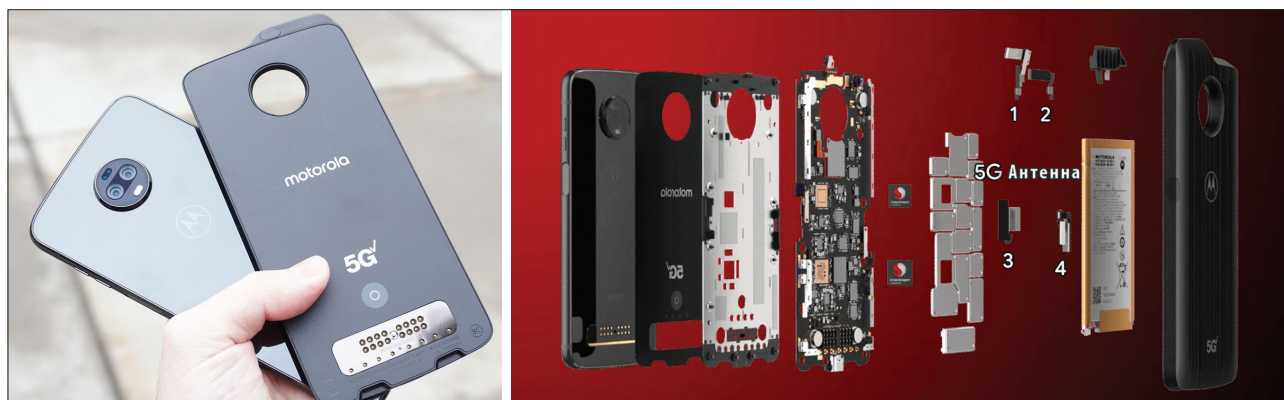
В составе каждой связанной антенной решетки миллиметровых волн в настоящее время используются четыре двухполяризованные патч-антенны, каждая из которых имеет переключатель передачи/приема, малошумящий усилитель и усилитель мощности, тесно интегрированные с использованием радиочастотной технологии на базе SOI. Поскольку каждый такой усилитель может генерировать только около 15 дБм линейной мощности, для обеспечения уровня ЭИИМ выше 20 дБм потребуется использовать до восьми антенн. Трехмерное формирование диаграммы направленности на платформе смартфона является сложной задачей, особенно в среде с металлическими поверхностями и человеческими руками, находящимися в непосредственной близости от антенны. Даже при использовании восьми связанных антенн результаты измерения прототипов показали, что усиление антенны не превышает 5 дБи.

Ожидается, что точки доступа, в которых используются 32 или более антенны, обеспечат гораздо более высокий коэффициент усиления до 20 дБи (15 дБи – доля массива и 5 дБи – коммутационной антенны). У изделий этого типа уровень линейной мощности ЭИИМ должен превышать 35 дБм. С системной точки зрения, 35 дБм – отправной уровень, поскольку канал 5G требует замкнутого контура с обратной связью канала дуплексной связи с временным разделением для обеспечения непрерывного соединения.

Поскольку уменьшение уровня ЭИИМ клиентского устройства приводит к сокращению диапазона покрытия канала, оператор сети должен развернуть больше узлов сотовой связи, чтобы обеспечить полное покрытие. Другими словами, низкая мощность передачи от клиентских устройств сделает бизнес-кейс 5G нерентабельным для оператора мобильной связи.

КОММЕРЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМЫ 5G

Развертывание базовых станций для рынка США в этом году уже идет полным ходом, и рынок Южной Кореи отстает в этом направлении лишь незначительно. Последние прогнозы показывают, что к 2024 г. будет развернуто не менее 600 тыс. радиостанций.



▲ **Рис. 8.** В состав смартфона 5G Mod входят батарея, процессор Snapdragon 855, модем X50 5G и четыре антенны 5G

Коммерческие услуги фиксированной беспроводной связи уже были запущены в нескольких городах США, причем в настоящее время оборудование конечного пользователя поддерживается крупнейшими производителями аппаратуры. В сообществе ODM-производителей появилось несколько вариантов такого оборудования для миллиметрового диапазона волн, но пока еще с низкой эффективностью. Ожидается, однако, что характеристики такого оборудования быстро улучшатся, что поддержит тенденцию роста его выпуска и использования.

Пока ни один оператор не заявил о полном отказе от LTE. Более того, текущие планы операторов подразумевает усовершенствование LTE параллельно с вводом 5G-сетей. Однако технология беспроводной связи уникальна тем, что мобильные телефоны с поддержкой 5G появятся еще до того, как сеть на миллиметровых волнах будет запущена в большинстве стран. Первый мобильный телефон 5G для этого диапазона уже выпущен – это 5G Moto MOD компании Motorola (рис. 8) [8–9]. По крайней мере, еще восемь смартфонов других производителей появятся к концу 2019 г.

ВЫВОДЫ

Миллиметровые системы сотовой связи 5G являются более сложными, более дорогими и менее надежными (по причине особенностей прохождения радиоволн этого диапазона [5]), чем соединения по технологии LTE на частотах 1–2 ГГц. Чтобы не отставать от растущего спроса на объемы трафика, полосы миллиметровых волн так или иначе будут введены в эксплуатацию. В настоящее время отрасль вкладывает средства в развертывание базовых станций и разработку клиентских устройств этой пока еще во многом новой технологии. Положительным фактором в этом отношении стало то, что исходные показатели фиксированной беспроводной связи оказались на удивление достойными. Тем не менее, переход на использование мобильного варианта 5G в области миллиметровых волн будет сложным – потребуются компромиссы по пропускной способности [5], бюджету канала, мобильности и стоимости. Как бы то ни было, технология 5G в области миллиметровых волн станет важной частью будущих мобильных сетей. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Madden Joe. *mmWave Will Be The Critical 5G Link. eBook mmWave Design Guide. October 2019. Microwave Journal*//www.microwavejournal.com/articles/32920-mmwave-design-guide.
2. Владимир Рентюк. *Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 4. Большой радиус действия. Control Engineering Россия. Июнь 2018*//<https://controleng.ru/besprovodnyie-tehnologii/putivoditel-iot-4>.
3. Василий Скрынников. *Использование нелицензионного радиочастотного спектра в сетях LTE*//<http://lib.tsonline.ru/articles2/fix-op/ispolzovanie-nelitsenzionnogo-radiochastotnogo-spektra-v-setyah-lte>.

4. Илья Шатулин. *MTC запустили LAA*//tdaily.ru/news/2017/07/21/mts-zapustili-laa.

5. Куракова Т. П. *Имитация радиоканалов миллиметрового диапазона поколения 5G. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ФГУП НИИР*//http://diss.vlsu.ru/uploads/media/Dissertacija_Kurakovo.pdf.

6. «Нечего будет вещать»: чем грозит расчистка частот для 5G//https://www.gazeta.ru/tech/2019/08/28_a_12606709.shtml.

7. Уайт Кеннет. *Перевод и дополнения: Владимир Рентюк. Особенности конструирования печатных плат с выполнением требований по ЭМС. Компоненты и технологии. № 6. 2019.*

8. Whitam Ryan. *The Moto Z2 Force will get 5G Moto Mod support this summer*//www.androidpolice.com.

9. Amadeo Ron. *Don't buy a 5G smartphone – at least, not for a while*//arstechnica.com/gadgets/2018/12/dont-buy-a-5g-smartphone-at-least-not-for-a-while.