

"Radio" is monthly publication on audio, video, computers, home electronics and telecommunication

12+

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:

АНО «РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «РАДИО»

Зарегистрирован Министерством печати и информации РФ 01 июля 1992 г.

Регистрационный ПИ № ФС77-82030

Главный редактор В. К. ЧУДНОВ

Редакционная коллегия:

А. В. ГОЛЫШКО, А. Н. КОРОТОНОШКО, К. В. МУСАТОВ,
И. А. НЕЧАЕВ (зам. гл. редактора), Л. В. МИХАЛЕВСКИЙ,
С. Л. МИШЕНКОВ

Выпускающий редактор: С. Н. ГЛИБИН

Обложка: В. М. МУСЯКА

Вёрстка: Е. А. ГЕРАСИМОВА

Корректор: Т. А. ГЛИБИНА

Адрес редакции: 129090, Москва, Протопоповский пер., 25, к. Б

Тел.: (495) 607-31-18.

E-mail: ref@radio.ru

Приём статей — e-mail: mail@radio.ru

Отдел рекламы — (495) 607-31-18; e-mail: advert@radio.ru

Распространение — (495) 607-31-18; e-mail: sale@radio.ru

Подписка и продажа — (495) 607-87-39

Бухгалтерия — (495) 607-87-39

Наши платёжные реквизиты:

получатель — АНО "Редакция журнала "Радио", ИНН 7708187140,
р/сч. 40703810538090108833

Банк получателя — ПАО Сбербанк г. Москва

корр. счёт 3010181040000000225 БИК 044525225

Подписано к печати 24.01.2026 г. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная.

Объём 8 физ. печ. л., 4 бум. л., 10,5 уч.-изд. л.

В розницу — цена договорная.

Подписной индекс:

Официальный каталог ПОЧТА РОССИИ — П4014;

КАТАЛОГ РОССИЙСКОЙ ПРЕССЫ — 89032.

За содержание рекламного объявления ответственность несёт редакция.

За оригинальность и содержание статьи ответственность несёт автор.

Редакция не несёт ответственности за возможные негативные последствия использования опубликованных материалов, но принимает меры по исключению ошибок и опечаток.

В случае приёма рукописи к публикации редакция ставит об этом в известность автора. При этом редакция получает исключительное право на распространение принятого произведения, включая его публикации в журнале «Радио», на интернет-страницах журнала или иным образом.

Авторское вознаграждение (гонорар) выплачивается в течение двух месяцев после первой публикации в размере, определяемом внутренним справочником тарифов.

По истечении одного года с момента первой публикации автор имеет право опубликовать авторский вариант своего произведения в другом месте без предварительного письменного согласия редакции.


В переписку редакция не вступает. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

© Радио®, 1924—2026. Воспроизведение материалов журнала «Радио», их коммерческое использование в любом виде, полностью или частично, допускается только с письменного разрешения редакции.

Отпечатано в ОАО «Подольская фабрика офсетной печати»

142100, Моск. обл., г. Подольск, Революционный проспект, д. 80/42.

Зак. 01027-26 .

Dr.Web  Компьютерная сеть редакции журнала «Радио» находится под защитой Dr.Web — антивирусных продуктов российского разработчика средств информационной безопасности — компании «Доктор Веб».

www.drweb.com
Бесплатный номер службы поддержки в России:
8-800-333-79-32

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА — КОМПАНИЯ «РИНЕТ»

РИНЕТ 
БЛИЖЕ К ЛЮДЯМ

Телефон: +7(495)981-4571
E-mail: info@rinet.ru
Сайт: www.rinet.ru

Что нового в 6G

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

"Общие принципы только в головах, а в жизни одни только частные случаи".

Фёдор Достоевский

Ожидаемый к принятию в 2028—2030 гг. стандарт шестого поколения мобильной связи (6G) — это, с одной стороны, набор технологий, а, с другой, до недавнего времени, скорее, теоретический и экспериментальный набор желаний, которые хотелось бы удовлетворить с их помощью. В разных странах продолжают исследования, а кое-где уже запустили в экспериментальных целях сети 6G, работающие пока на частном, проприетарном, стандарте. Будущим операторам подобных сетей хочется уже сейчас понимать не только чисто техническую сторону развития сетей 6G.

На прошедшем недавно форуме "Спектр'2025", как передавал РБК, Евгений Девяткин, директор Центра исследований перспективных беспроводных технологий связи НИЦ Телеком (бывший НИИ Радио, один из ведущих российских центров в области разработки радиотехники) заявил о необходимости начать в России подготовку к внедрению 6G, чтобы не повторился негативный опыт стандарта 5G, когда самый востребованный диапазон радиочастот 3,4...3,8 ГГц оказался недоступен для коммерческих операторов, а предлагаемый в РФ диапазон 4,4...4,8 ГГц не вызвал у них интереса. Под подготовкой имелось в виду проведение исследования, поскольку в дорожную карту по развитию 6G должны войти вопросы по аудиту и проведению мероприятий по определению условий радиочастотной совместимости.

Евгений Девяткин также отметил, что на Всемирной конференции радиосвязи (ВКР) в 2027 г. планируют утвердить под 6G диапазоны частот 4,4...4,8 ГГц, 7,125...7,25 ГГц, 7,25...8,4 ГГц и 14,8...15,35 ГГц. Согласно предварительной позиции Минцифры России, среди перечисленных диапазонов проблемным является диапазон 7,25...8,4 ГГц, который используется для систем правительственной связи. Кстати, в преддверии утверждения в мире стандарта 5G указанного выше диапазона детального анализа в РФ не проводили. Предварительный анализ показывает, что диапазоны под 6G не такие проблемные, как диапазон 3,4...3,8 ГГц, который российские операторы безуспешно пытаются получить для развития 5G уже несколько лет.

Согласно данным ИТУ, по сравнению с сетями 5G скорость передачи данных для пользователей в сетях 6G будет в десять раз больше, чем в 5G, — до 1 Тбит/с, а задержка сигнала существенно меньше — 0,1 мс. Стандарт позволит одновременно работать в 100 раз большему числу устройств на 1 км², пользоваться мобильным Интернетом можно будет при движении со скоростью

до 1000 км/ч (например, в высокоскоростных поездах). Подобные сети позволяют передавать голограммы, внедрять иммерсивную связь (передавать тактильные ощущения, запахи и др.). С переходом от Интернета вещей к Интернету чувств, ощущений появятся различные устройства, которые позволяют ощущать виртуальный мир как часть физического, т. е. можно будет ощущать капли дождя, дуновение ветра и т. д. Но это пока фантазии, конечно.

А на практике, как написала в своем блоге компания МТС, в июле 2025 г. оператор China Mobile запустил первую в мире экспериментальную сеть 6G. Тестовая инфраструктура обеспечила скорость передачи данных до 280 Гбит/с. В целом этого достаточно, чтобы скачать файлы объёмом 50 Гб за 1,4 с. Инвестиции China Mobile в исследование и разработку в области 6G превысили 5,4 млрд. долл.

Сети 6G — не просто улучшенная версия 5G, а совершенно новая инфраструктура, объединяющая наземные станции и спутники для обеспечения глобального покрытия и минимальных задержек. China Mobile запустила тестовую сеть из десяти станций и вывела на низкую околоземную орбиту (примерно 500 км) спутник, официально позиционируемый как часть эксперимента 6G. Проект, разработанный совместно с Китайской академией наук, направлен на создание единой инфраструктуры, где орбитальные и наземные элементы работают как одно целое. Насколько можно судить, у них всё получилось.

Скорость 280 Гбит/с, достигнутая в эксперименте, — итог продвинутых решений в области модуляции, частот и энергосбережения. Для передачи солидных объёмов данных 6G использует высокоуровневую модуляцию, такую как 1024-QAM, которая кодирует больше информации в одном сигнале. Чтобы справляться с помехами, применяется адаптивное кодирование, переключающееся на более устойчивые форматы, если сигнал ослабевает. Это балансирует между скоростью и надёжностью.

Ещё одна перспективная технология, применяемая в 6G, — Orbital Angular Momentum (OAM). Она позволяет передавать несколько потоков данных одновременно на одной и той же частоте, используя разную поляризацию электромагнитных волн. Поляризация электромагнитной волны — это колебание векторов напряжённости электрического поля и напряжённости магнитного поля. Поляризация может быть плоской, круговой и эллиптической. Она независима от

других характеристик электромагнитной волны, что позволяет организовать множественный доступ с поляризационным разделением (Polarization Division Multiple Access, PDMA или PoDMA), где сигналы каждого пользователя имеют различные поляризационные состояния и используются один и тот же частотно-временной ресурс.

Схема множественного доступа с поляризационным разделением поддерживает два независимых канала данных с ортогональными состояниями поляризации. Такими ортогональными состояниями являются вертикальная и горизонтальная поляризация (в случае плоскополяризованной волны), а также левая и правая поляризация (в случае круговой поляризации). Также возможна организация неортогонального множественного доступа, если число мультиплексируемых поляризационных состояний больше двух.

Чаще всего поляризационное разделение применяется совместно с пространственным разделением, образуя множественный доступ с пространственно-поляризационным разделением (Space Polarization Division Multiple Access, SPDMA). В этой системе создаются ортогональные лучи как в физическом пространстве, так и в поляризационном пространстве. Каждый луч формируется в направлении определённого пользователя и передаёт данные, предназначенные этому пользователю. Ортогональные лучи формируются на основе канальной информации о пользователе.

Метод множественного доступа с поляризационным разделением получил широкое распространение в спутниковых и радиорелейных линиях связи прямой видимости, поскольку при распространении радиоволн вне условий прямой видимости наблюдается явление деполяризации электромагнитной волны (за счёт переотражений, дифракции, рефракции и др.).

Возвращаясь к 6G, всё сказанное выше можно представить как многоуровневую развязку, где по одной и той же трассе движутся потоки транспорта, но каждый — на своей высоте (см. фильм "Пятый элемент"). Дорога одна, но машины не сталкиваются, потому что движутся по разным уровням. В случае с OAM — это те же частоты, но с различными типами поляризации сигнала. Приёмник способен отличить эти уровни и выделить нужный поток данных, не мешая другим. Компании Samsung и Nokia тоже ведут исследования в этой области, но China Mobile уже продемонстрировала технологию OAM в работе.

В общем случае технологии 6G выходят за пределы миллиметровых волн 5G, осваивая терагерцовый диапазон (0,1...10 ТГц). Эти частоты обеспечивают огромную пропускную способность, но и очень большое затухание. Поэтому применяются массивы MIMO (Multiple Input, Multiple Output) с сотнями антенн, которые фокусируют сигнал в узкие лучи, увеличивая дальность и стабильность.

Передача данных на высоких частотах весьма энергоёмкое занятие. Особенно в условиях плотной городской застройки или на удалённых участках. Фактически, любая стена — слишком серьёзная преграда. Чтобы улучшить сетевое покрытие, в 6G применяются, в частности, графеновые антенны с высокой электропроводностью, которые работают эффективнее традиционных, снижая энергопотребление. К тому же в сети уже используется ИИ, например, в решениях Huawei система анализирует загрузку и временно отключает антенны, которые не нужны в данный момент. Это помогает экономить ресурсы, что особенно важно для базовых станций и спутников, работающих вдали от централизованного питания.

В 6G используется принцип объединения связи и зондирования (ISAC — Integrated Sensing and Communication), сеть не только передаёт данные, но и "чувствует" окружающую среду, к примеру, может определять движение объектов или расстояние до них. Эта технология интегрирует функции измерения окружающей среды и телекоммуникаций в единой системе, что позволяет сетям одновременно передавать и получать данные, а также воспринимать и интерпретировать физическую окружающую среду. ISAC повышает эффективность сетей, так как линии связи и датчики работают в одном спектре, а для передачи и приёма сигналов применяется одно оборудование. Терагерцовые волны также позволяют сети "видеть" окружающее пространство, определяя положение объектов, что идеально для автономного транспорта.

Функции измерения и связи в системе ISAC могут быть реализованы на разных уровнях. На уровне "железа" датчики и связь могут сосуществовать на одном оборудовании, используя общий спектр. На уровне обработки сигналов технологии обработки во временном, частотном и пространственном доменах могут быть объединены для выполнения функций измерения и связи. На уровне полностью интегрированной системы происходит обмен информа-



цией между слоями, модулями и узлами, что повышает взаимную производительность измерения и связи.

Информация, полученная через измерение, может использоваться для улучшения производительности связи, например, для более точного формирования или быстрого восстановления луча для канала связи с конкретной абонентской станцией.

Технология ISAC применяется в различных сферах, например, при мониторинге окружающей среды ISAC позволяет собирать данные об объектах, их движении и пространственных характеристиках с помощью тех же сигналов, которые используются для связи. Например, мониторинг осадков и наводнений для подготовки к катастрофам, "умное" сельское хозяйство для управления культурами. На транспорте и навигации ISAC помогает улучшать безопасность и эффективность подвижных объектов, к примеру, предотвращать столкновения и отслеживать траекторию беспилотных летательных аппаратов, автомобилей и автономных наземных транспортных средств. В промышленной автоматизации ISAC интегрирует функции измерения, что позволяет различному оборудованию и роботам на "умных" заводах ориентироваться, координировать и картографировать окружающую среду. В области безопасности ISAC может использоваться для обнаружения беспилотных летательных аппаратов, мониторинга движений толпы для предотвращения чрезвычайных ситуаций в зонах высокой плотности населения.

В отличие от 5G, где базовые станции работают по отдельности, в 6G они объединяются буквально в одно целое и совместно реагируют на присутствие абонентов, текущую и прогнозируемую нагрузку. Вычисления частично выполняются прямо на устройствах (на месте, а на периферии — граничные вычисления), а не в центре. Искусственный интеллект (ИИ) помогает сети управлять нагрузкой, заранее выделяет больше ресурсов там, где ожидается высокий трафик, и гибко настраивает параметры связи под текущие условия.

В дополнение ещё одна технология в 6G — так называемая голографическая радиосвязь. По сути это антенны, которые создают гибкие виртуальные антенные решётки и могут перенаправлять сигнал в обход препятствий, например, если путь к устройству перекрыт зданием (типичный случай в городе). Кроме того, 6G использует когни-

тивные сети, которые работают с помощью машинного обучения и могут заранее предсказывать, где будет высокая нагрузка. Система автоматически усиливает сигнал в нужных зонах, например, на стадионе во время матча или в районе, где в воздухе одновременно работают десятки дронов.

Ещё China Mobile интегрировала в свою сеть технологию Full-Duplex Radio, которая позволяет принимать и передавать данные на одной частоте, удваивая эффективность использования радиоспектра. Это особенно полезно в перегруженных городских сетях. Компания LG ранее показывала лабораторный прототип этой технологии, но китайский оператор первым применил её в реальной сотовой инфраструктуре.

Собственно, когда радиоприёмник одновременно передаёт и принимает сигнал, входящие сигналы заглушаются собственным передатчиком. Несколько лет назад американские исследователи из Стенфордского университета (Чон Иль Чой, Майанк Джайн и Каннан Шринивасан) создали радиостанцию с двумя передающими антеннами, расположенными по обе стороны от одной приёмной антенны. Когда сигналы от двух передающих антенн поступают на приёмную антенну, они эффективно гасят друг друга — однако не полностью, но достаточно, чтобы приёмная антенна могла улавливать сигналы от других радиостанций. Подобно тому, как шумоподавляющие головные телефоны отфильтровывают окружающий шум, каждый приёмопередатчик точно "знает", что передаёт и, следовательно, что ему следует отфильтровывать. Самое очевидное преимущество этой технологии заключается в том, что она мгновенно удваивает объём передаваемой информации, но у неё есть и другие преимущества. При использовании современных систем управления воздушным движением, если два самолёта попытаются одновременно связаться с диспетчерской вышкой на одной и той же частоте, ни один из них не сможет этого сделать. А новая система предотвратит такие потенциально опасные сценарии.

Сети 6G обещают изменить не только скорость Интернета, но и целые отрасли. Представьте автономный автомобиль, который мгновенно обменивается данными с другими машинами и дорожной инфраструктурой. Благодаря задержкам менее 1 мс и технологии ISAC 6G позволяет транспорту "чувствовать" окружение, определяя расстояние до объектов и их скорость.

6G открывает новые возможности и для промышленности. На складах и производственных линиях тысячи датчиков и роботов могут работать синхронно, передавая данные почти без задержек. China Mobile уже тестирует такие сценарии с управлением складскими роботами, а Nokia и Qualcomm разрабатывают сверхнадёжные сети (URLLC), которые обеспечивают доставку данных с вероятностью 99,9999 %. Это позволяет точно синхронизировать оборудование и исключать сбои даже в самых чувствительных участках производства.

Ещё одно направление — иммерсивные технологии. Сети 6G сделают реальностью виртуальные офисы, где коллеги появляются в виде голограмм, или удалённые операции, где хирург чувствует ткань пациента через тактильную обратную связь. Samsung и LG уже показывают прототипы голографических дисплеев, а 6G обеспечивает скорости и задержки, необходимые для таких сценариев. Это может изменить образование, создавая виртуальные классы с эффектом присутствия, или развлечения, где зритель становится частью сцены.

Безопасность тоже выходит на новый уровень. Квантовое распределение ключей обнаруживает любое вмешательство в передачу данных, а гомоморфное шифрование позволяет обрабатывать закодированную информацию без расшифровки. Это защитит медицинские или финансовые данные в облачных системах.

Переход от 5G к 6G ознаменует собой смену парадигмы — от Интернета вещей к Интернету всего на свете. 6G позволит создавать:

- интегрированные сенсорные и коммуникационные сети, способные воспринимать окружающую среду;
- распределённый ИИ по всей сетевой архитектуре;
- встроенная поддержка цифровых двойников физических систем.

И в целом получится по-настоящему захватывающая расширенная реальность без ограничений, налагаемых современным оборудованием.

Рассматриваемые возможности в корне изменят то, как мы взаимодействуем с технологиями, перейдя от экранов к полностью захватывающим средам, где цифровой и физический миры становятся всё более неразличимыми.

Согласно компании Huawei, 6G объединит сенсорику и связь в единую систему, использующую радиоволны для видения физического мира и создания

цифровых двойников в киберпространстве. Сетевая сенсорика создаёт новый тип сценариев использования, выходящий за рамки связи. Она охватывает целый ряд вариантов использования, таких как локализация объектов с помощью устройств или даже без них, получение изображений, реконструкция и мониторинг окружающей среды, а также распознавание жестов и действий. Сценарии использования датчиков добавляют новые параметры производительности в Международную организацию по стандартизации мобильной связи (ИМТ), такие как вероятность обнаружения, а также разрешение и точность датчиков (с точки зрения дальности, скорости и углов). Требования к этим параметрам зависят от конкретного приложения. Для приложений, связанных с локализацией и реконструкцией, в будущем потребуются высокая точность и разрешение датчиков, а для приложений, связанных с визуализацией, ключевым фактором будет сверхвысокое разрешение. А для распознавания жестов и действий главным приоритетом станет вероятность обнаружения.

6G будет обладать собственным ИИ. В его воздушном интерфейсе и сетевых структурах будет использоваться сквозной ИИ и машинное обучение для реализации индивидуальной оптимизации и автоматизированного обслуживания и ремонта. Кроме того, каждый элемент сети 6G будет изначально интегрировать коммуникационные, вычислительные и сенсорные возможности, что будет способствовать переходу от централизованного интеллекта в облаке к повсеместному интеллекту на периферии. Архитектура распределённого машинного обучения, основанная на периферийном интеллекте, будет играть ключевую роль в удовлетворении масштабных интеллектуальных потребностей будущего общества и производства.

По оценкам специалистов, в ближайшем будущем 6G станет не просто каналом связи, а инструментом для сбора и анализа информации из окружающей среды. Это откроет новые возможности для дистанционного взаимодействия, промышленной автоматизации и цифровых сервисов. Но до коммерческого запуска остаётся много нерешённых вопросов. Для работы на терагерцевых частотах нужны новые антенны и материалы, а само развёртывание потребует большой инфраструктуры и международных соглашений по стан-

дартам. Остаётся риск, что 6G будет доступна только развитым регионам. Китай тестирует технологии и делает ставку на спутниковое покрытие, но глобальное внедрение потребует времени и согласованных усилий.

Согласно прогнозам международной консалтинговой компании Cap Gemini, сети 6G обещают массовое использование иммерсивных, доступных и сенсорных цифровых технологий. Приложения с 6G смогут воспринимать окружающую среду и превращать сеть, по словам инженеров, в шестое чувство. Это ускорит разработку новых медиа, например иммерсивной смешанной реальности, голографической и мультисенсорной коммуникации.

Запуск технологии 6G повлияет и на безопасность в сети. Чем больше устройств, тем больше возможностей для ИТ-атак у киберпреступников. Появление миров смешанной реальности (AR) также откроет новые возможности для мошенников. В компании Nokia Bell Labs считают, что 6G обладает потенциалом для защиты от этих угроз, указывая на такие новые технологии, как квантовое распределение ключей и гомоморфное шифрование.

Если первые сети 6G будут успешно запущены в 2030 г., это произойдёт примерно спустя полвека после появления первой технологии сотовой связи. Сеть 1G была запущена в Японии в 1979 г. Это был первый в мире опыт мобильной связи — настоящая революция. В начале 1980 г. сотовые сети появились и в других странах. В 1991 г. в Финляндии ввели в коммерческую эксплуатацию более продвинутой стандарт 2G на базе GSM, а вскоре после — так называемый 2.5G (GPRS, EDGE), который позволил передавать небольшие объёмы данных по сети.

Гонка за 6G является глобальной, с активными участниками в Азии, Европе и Северной Америке. Ключевые игроки инвестируют значительные средства в исследования и разработку, чтобы получить преимущество в будущих стандартах и технологиях.

К примеру, компания Samsung является одним из лидеров благодаря своей вертикально интегрированной структуре, охватывающей производство полупроводников, сетевого оборудования и потребительских устройств. Ещё в 2019 г. разработчики компании создали Исследовательский центр передовых коммуникаций (ACRC) для работы над 6G. В Samsung активно

сотрудничают с Nokia, NTT Docomo и Qualcomm и являются лидером по числу патентов в этой сфере.

Несмотря на ограничения на западных рынках, компания Huawei остаётся ключевым игроком. Она начала инвестировать в исследования 6G ещё в 2017 г. Инженеры Huawei рассматривают 6G как распределённую нейронную сеть, что объединит физический, кибернетический и биологический миры.

Один из лидеров в сфере производства оборудования 5G, компания Ericsson также активно работает над созданием 6G. Компания-разработчик участвует в крупных исследовательских проектах, таких как Hexa-X-II, и сосредотачивает технологию на четырёх ключевых направлениях: безграничное подключение, надёжные системы, когнитивные сети и вычислительная сетевая структура. Флагманский проект 6G Hexa-X-II прокладывает путь к сквозному проектированию (E2E — End-to-End) систем (на основе интегрированных и взаимодействующих технологических средств) и платформе, предоставляющей новые услуги для беспроводных сетей следующего поколения. Проект будет развиваться в рамках европейского проекта Horizon Europe Hexa-X, который заложил основу для глобальной коммуникационной сети 2030-х годов.

Завершая этот небольшой обзор по развитию технологий 6G, стоит отметить, что до появления официального стандарта это пока лишь набор технологий, которые учатся работать как одно целое.

И ещё, проектируя будущие сети 6G, следует помнить, что "дьявол", как и всегда в мобильной связи, кроется в опорной сети (RAN — Radio Access Network), соединяющей все базовые станции сетью фиксированной связи. В случае, если всё приведённое выше заработает и начнёт генерировать трафик, даже опорная сеть 5G для использования в 6G может оказаться несостоятельной. За всю историю мобильной связи модернизация RAN проводилась регулярно при переходе с поколения на поколение. Сегодня сложно представить, что когда-то в 2G базовые станции соединялись выделенными каналами со скоростями 2 Мбит/с, тогда как будущие сети 6G уже сейчас "грозят" умным городам многими терагерцами.

Что касается практики, то остаётся подождать, когда на Всемирном мобильном конгрессе MWC'2026 компании расскажут о своих успехах в эксплуатации опытной сети 6G.