

6G: история, особенности, тенденции развития

Автор: Пищикова А.А., Бычков Б. И.

17.11.2025 11:38 - Обновлено 17.11.2025 11:41

6G: ИСТОРИЯ, ОСОБЕННОСТИ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Пищикова А. А., студентка,

Бычков Б. И., старший преподаватель,

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматривается технологическое развитие мобильных сетей через призму поколений 3G, 4G, 5G и перспективного 6G. Описаны ключевые архитектурные и функциональные улучшения на каждом этапе. Уделено внимание концепции сетей шестого поколения и текущему состоянию исследований в этой области в Российской Федерации.

Ключевые слова: шестое поколение сетей, сетевые технологии, терагерцовый диапазон, спектральная эффективность, цифровая трансформация.

6G: история, особенности, тенденции развития

Автор: Пищикова А.А., Бычков Б. И.

17.11.2025 11:38 - Обновлено 17.11.2025 11:41

Эволюция мобильных сетей отражает постоянное улучшение и расширение используемых технологий. Переход от аналоговых систем к современным цифровым сетям сопровождался радикальными изменениями в архитектуре и возможностях систем связи. Это стало основой для предоставления совершенно новых услуг в области сетевых коммуникаций. Ключевыми этапами развития стали поколения 3G, 4G и 5G, каждое из которых формировало основу для следующего технологического шага. Стандарты сотовой связи разрабатываются и внедряются под эгидой международных отраслевых консорциумов, прежде всего, 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) – международной организации, разрабатывающей технические спецификации для мобильных телекоммуникационных систем.

Логичным продолжением этого пути становится разработка стандарта 6G. Через призму истории стандартов можно проследить историю его появления и главные направления развития.

Третье поколение мобильной связи, стандартизованное в рамках IMT-2000 и внедренное с конца 1990-х годов, стало первым поколением, ориентированным на массовую передачу данных. Оно использовало широкий спектр технологий на основе кодового разделения каналов, включая WCDMA и HSPA [5]. Эти системы обеспечивали практические скорости передачи данных в диапазоне от нескольких единиц до нескольких десятков мегабит в секунду, что стало существенным прогрессом по сравнению с сетями 2G, где передача данных ограничивалась медленными пакетными сервисами. Архитектура 3G позволила поддерживать мобильный доступ в интернет, видеозвонки и потоковые мультимедийные сервисы, хотя пропускная способность оставалась ограниченной, а время отклика было продолжительным. В России 3G массово применялся до 2016 года на частоте 900 или 2100 МГц. В 2025 году один из крупнейших операторов страны – ПАО «МТС» – планирует отключить половину оставшихся станций 3G, их уже отключили в 35 городах 21 региона [2].

Четвертое поколение связи, реализованное преимущественно через стандарты LTE и LTE-Advanced, обеспечило переход к полностью пакетной архитектуре и использованию технологий OFDM/OFDMA [5]. Существенно возросла спектральная эффективность за счет применения технологий MIMO и улучшенной обработки

сигналов. Стандарт LTE обеспечил устойчивые скорости передачи данных порядка десятков и сотен Мбит/с, при пиковых теоретических значениях свыше 1 Гбит/с в конфигурациях LTE-AdvancedPro [3]. На практике средняя скорость для мобильных абонентов составляет около 100 Мбит/с. Уменьшение задержек и повышение пропускной способности сделали возможными мобильное видео высокой четкости, массовые онлайн-сервисы и высоконагруженные облачные приложения.

Пятое поколение мобильной связи стало первым поколением, изначально проектировавшимся под разнообразную нагрузку: от широкополосного мобильного доступа до сверхнадежной связи с минимальной задержкой. Массовое развертывание сетей началось с 2019 года. В 5G используются методы динамического формирования лучей, плотная агрегация частотных полос, расширение спектра до миллиметровых волн и интенсивная виртуализация сетевой инфраструктуры. Целевые показатели включают скорости передачи данных порядка гигабитов в секунду, латентность в пределах нескольких миллисекунд и плотность подключений до миллиона устройств на квадратный километр. На практике 5G иногда имеет худшие показатели скорости и задержки относительно 4G, поэтому ведутся разработки по повышению качества оборудования. Первые в России испытания демонстратора системы спутниковой связи пятого поколения были завершены успешно в мае 2025 года. Однако высокого спроса на использование технологии нет, поскольку на данный момент она является дорогостоящей и малодоступной – для массового потребителя запущена только в некоторых районах Москвы на ноябрь 2025 года [4]. С расширением сети пятого поколения предполагается уменьшение стоимости и, как следствие, более высокий спрос.

Принципиальным отличием сетей шестого поколения от предыдущих версий станет переход в терагерцовый частотный диапазон (0,1–10 ТГц), что потребует разработки новых физических уровней передачи сигнала [8]. Кроме того, архитектура 6G будет представлять собой интегрированную наземно-космическую систему с распределенным искусственным интеллектом, обеспечивающим сквозное управление сетевыми ресурсами в реальном времени.

Разработка технологий 6G ведется в рамках скоординированных глобальных усилий, инициированных научными сообществами и промышленными консорциумами в различных регионах мира. Европейский проект Hexa-X, североамериканский Next G Alliance и национальные программы в странах Азии (КНР, Япония, Южная Корея), являющиеся ключевыми инициативами в области, формируют общее видение и исследовательскую повестку для шестого поколения мобильной связи. Основные технологические тренды сосредоточены на освоении терагерцового частотного диапазона, интеграции искусственного интеллекта во все элементы сети и создании киберфизических систем, ориентированных на введение в коммерческий оборот к 2030 году [10].

В 2025 году начались активные российские исследования 6G, которые сосредоточены на задачах дальнейшего увеличения пропускной способности и минимизации задержек. В качестве одного из ключевых направлений рассматривается использование терагерцовых диапазонов, позволяющих формировать каналы связи с полосами пропускания на порядки шире существующих [7]. По мнению экспертов, пиковые скорости передачи данных могут достичь сотен гигабит в секунду, а в специализированных сценариях – приблизиться к терабитному уровню [6]. Однако высокая степень атмосферного и межповерхностного затухания в терагерцовом диапазоне требует разработки плотной архитектуры сети.

В российских научно-исследовательских центрах проводятся эксперименты с субтерагерцовыми частотами, демонстрирующие устойчивую передачу данных в лабораторных условиях и исследующие методы адаптивного управления лучевыми структурами [9]. Эти эксперименты подтверждают возможность создания аппаратных решений, соответствующих целевым характеристикам будущих систем связи.

Важным направлением оптимизации для сетей 6G в субтерагерцовом диапазоне является адаптивное управление лучом (beamtracking). В исследовании МИЭМ НИУ ВШЭ [9] предложен метод удаленного определения класса приложения на стороне базовой станции по динамике уровня принимаемого сигнала (receivedsignalstrength). Эксперименты на частоте 156 ГГц показали, что статистический критерий Манна-Уитни позволяет различить классы приложений с «быстрой» (игры, VR) и «медленной» (звонки, видео) микроподвижностью с достоверностью 0,95 уже через 1 секунду после запуска. Классификатор на основе случайного леса достигает точности 80% за то же время, используя исключительно метрику силы сигнала. Этот подход позволяет оценивать оптимальные интервалы между процедурами beamtracking без введения дополнительной сигнализации в радиointерфейс.

По проекту Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций внедрение коммерческих сетей шестого поколения в России планируется с 2031 года. В соответствии с докладом Министерства технология поможет создать умную инфраструктуру для домов и транспорта, также будет применяться в здравоохранении и сельском хозяйстве. При этом документы, определяющие долгосрочные ориентиры развития связи, в том числе с использованием 6G, формируются с 2023 года [1].

Таким образом, шестое поколение связи является перспективной, но нуждающейся в изучении и моделировании технологией. Развитие 6G требует решения фундаментальных и инженерных задач, включая физические ограничения диапазона, вопросы стандартизации и разработку энергоэффективных схем обработки сигналов. Реализация разработок поможет перейти на следующий этап цифровой трансформации общества и экономики.

Литература

1. Интернет в России: состояние, тенденции и перспективы развития: аналитический отчет [Электронный ресурс]. М.: РАЭК, 2023. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/internet-v-rossii-v-2022-2023-godah.pdf>

(дата обращения: 16.11.2025).

2. МТС ускорит отключение сетей в 2026 году ... [Электронный ресурс]. Официальный сайт ПАО «МТС». URL:

<https://moskva.mts.ru/about/media-centr/soobshheniya-kompanii/novosti-mts-v-rossii-i-mire/2025-11-12/mts-uskorit-otklyuchenie-setej-v-2026-godu-dolya-3g-telefonov-upala-v-rossii-do-14-a-polzovatelej-3g-interneta-do-06> (дата обращения: 16.11.2025).

3. Нарзуллаев У.Х., Рустамов Т.Р. Развитие мобильных технологий: от 4G к 5G // Universum: Технические науки, 2023. №9(114).

4. Наша сеть [Электронный ресурс]. Официальный сайт ПАО «МТС». URL: <https://moskva.mts.ru/personal/podderzhka/zoni-obsluzhivaniya/nasha-set/?on=92>

ru

/

personal

/

podderzhka

/

zoni

-

obsluzhivaniya

/

nasha

-

set

/?

on

=

9

2

(дата обращения: 16.11.2025).

5. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы // СПб: Питер, Юбилейное издание, 2024. 1008 с.

6. Покаместов Д.А., Крюков Я.В., Абенов Р.Р., Рогожников Е.В., Бровкин А.А., Шинкевич А.С., Шалин

Г.Н. Системы связи 6G: концепция, тренды, технологии физического уровня // Радиотехника и электроника. 2024.Т. 69, №1.С. 3–33.

DOI

:

[10.31857/S0033849424010016](https://doi.org/10.31857/S0033849424010016)

.

7. Сергуткин Н.С., Павлова Ю.Е., Павлов П.В. Возможности сети мобильной связи 6G в развитии России // Наука в современном мире: результаты исследований и открытий: Сборник научных трудов по материалам IV Международной научно-практической конференции. Анапа, 08 июня 2022 г. Анапа: Изд-во «НИЦ ЭСП» в ЮФО, 2022.С. 105–109.

8. Степутин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G // Комплект в 2-х томах. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021 .796 с.

9. Shurakov A., Ershova M., Khakimov A., et al. Remote Detection of Applications for Improved Beam Tracking in mmWave/sub-THz 5G/6G Systems // arXiv preprint, 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2410.18637.

10. Uusitalo M.A., Rugeland P., Boldi M.R., et al. 6G Vision, Value, Use Cases and Technologies From European 6G Flagship Project Hexa-X // IEEE Access, 2021. Vol. 9. P. 160004 –160020. DOI: 10.1109/access.2021.3130030.

6G: история, особенности, тенденции развития

Автор: Пищикова А.А., Бычков Б. И.

17.11.2025 11:38 - Обновлено 17.11.2025 11:41
