

УДК 621.396:621.395.721
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-12-94-100

О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ 6G ТЕХНОЛОГИЙ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

Абдысамат А. Сагымбаев, Ж.Б. Мамадалиева, Амантур А. Сагымбаев, А.С. Курманкожоева

Аннотация. Рассматриваются перспективы развития мобильной связи в Японии, которая является одной из передовых стран в области телекоммуникаций и активно работает над разработкой и внедрением 6G технологий. Исследуются перспективы развития технологии 6G в Японии, проведен анализ технологических решений, стандартов и возможных сценариев их внедрения. Проведена оценка ключевых направлений и аспектов, связанных с развитием сетей шестого поколения в Японии, с точки зрения применимости этого опыта в условиях Кыргызстана.

Ключевые слова: мобильная связь; искусственный интеллект; телекоммуникация; скорость передачи данных; Интернет вещей; голографическая связь.

6G ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ӨНҮКТҮРҮҮНҮН КЕЛЕЧЕГИ ЖӨНҮНДӨ: КЫЙЫНЧЫЛЫКТАР ЖАНА МҮМКҮНЧҮЛҮКТӨР

Абдысамат А. Сагымбаев, Ж.Б. Мамадалиева, Амантур А. Сагымбаев, А.С. Курманкожоева

Аннотация. Макалада телекоммуникация тармагындагы алдыңкы өлкөлөрдүн бири болгон жана 6G технологияларын иштеп чыгуу жана ишке киргизүү боюнча жигердүү иштеп жаткан Японияда мобилдик байланышты өнүктүрүүнүн келечеги каралды. Японияда 6G технологиясын өнүктүрүүнүн келечеги изилденип, технологиялык чечимдерге, стандарттарга жана аларды ишке ашыруунун мүмкүн болгон сценарийлерине талдоо жүргүзүлдү. Японияда алтынчы муундагы тармактарды өнүктүрүүгө байланышкан негизги багыттарга жана аспектилерге бул тажрыйбаны Кыргызстандын шартында колдонуу көз карашына баа берилди.

Түйүндүү сөздөр: мобилдик байланыш; жасалма интеллект; телекоммуникация; маалыматтарды берүү ылдамдыгы; Интернет заттары; голографиялык байланыш.

ABOUT THE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF 6G TECHNOLOGIES: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Abdysamat A. Sagymbaev, Zh.B. Mamadalieva, Amantur A. Sagymbaev, A.S. Kurmankozhoeva

Abstract. The article discusses the prospects for the development of mobile communications in Japan – in the Land of the Rising Sun. Japan, being one of the leading countries in the field of telecommunications, is actively working on the development and implementation of 6G technologies. This article is devoted to the study of the prospects for the development of 6G technology in Japan, the analysis of technological solutions, standards, and possible scenarios for their implementation. An assessment of key areas and aspects related to the development of sixth-generation networks in Japan is also being carried out from the point of view of the applicability of this experience in the conditions of Kyrgyzstan.

Keywords: mobile communication; artificial intelligence; telecommunications; data transfer rate; Internet of things; holographic communication.

Введение. Современная мобильная связь прошла через все этапы стремительной эволюции, начиная с запуска первой сети в 1979 году, переходя от поколения к поколению – от аналоговых систем (1G) к современным 5G-сетям. Эти технологии обеспечивают значительное улучшение качества передачи данных, увеличение скорости связи, а также снижение задержек, что способствует развитию мультимедийных услуг и Интернета вещей (IoT).

Введение 5G в 2020 году стало важным шагом в поддержке будущих технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ) и Интернет вещей, предлагая высокую скорость, низкие задержки и массовое подключение устройств. Однако с развитием технологий возникают новые вызовы, требующие дальнейшего совершенствования систем связи. Поэтому сети шестого поколения (6G), внедрение которых планируется к 2030 году, обещают стать важным этапом в поддержке промышленности и общества, предоставляя новые возможности для коммуникации, включая голографическую связь и киберфизические системы [1].

Япония, являясь одной из передовых стран в области телекоммуникаций, активно работает над разработкой и внедрением 6G технологий. Данная работа посвящена исследованию перспектив развития 6G в Японии, анализу технологических решений, стандартов, а также возможных сценариев их применения.

Целью статьи является оценка ключевых направлений и аспектов, связанных с развитием сетей шестого поколения в Японии, с точки зрения применимости этого опыта в условиях Кыргызстана.

1. Обзор технологий

Развитие технологий мобильной связи: от 4G к 6G. Эволюция мобильных сетей продолжается, и каждое поколение связи предоставляет новые возможности и решает задачи, которые не могли быть реализованы ранее. Технологии мобильной связи от 4G до 5G позволили значительно увеличить скорость передачи данных, улучшить покрытие и пропускную способность сети, а также внедрить новые способы взаимодействия между устройствами.

Введение сетей пятого поколения (5G) стало значительным этапом в развитии телекоммуникаций, предлагая скорость передачи данных до 1–2 Гбит/с и низкую задержку. Это открыло возможности для новых приложений, таких как автономные автомобили, виртуальная и дополненная реальность, умные города и подключенные устройства IoT.

Однако для поддержания постоянно растущих требований к передаче данных, скорости и надежности, технологии должны продолжать развиваться. 6G станет следующим этапом, предлагающим скорость передачи данных до 1 Тбит/с и поддержку новых сценариев использования, таких как голографические вызовы и сверхточное позиционирование.

Технологии, которые будут лежать в основе 6G, включают:

- Использование частот терагерцового диапазона.
- Применение массового MIMO (множественный вход/выход), что позволит значительно увеличить пропускную способность и покрытие.
- Интеграция ИИ для автоматизации процессов управления сетью.
- Развитие технологий радиофотоники для повышения точности и скорости передачи данных.

Основные организации по стандартизации шестого поколения. Разработка стандартов мобильной связи – ключевой этап в создании новых поколений технологий. В Японии основными организациями, ответственными за стандартизацию 6G, являются Министерство внутренних дел и коммуникаций [2], а также ведущие телекоммуникационные компании, такие как NTT DOCOMO, SoftBank и KDDI. С 2018 года Япония активно участвует в инициативах международных организаций по созданию платформ для исследования сетей шестого поколения, таких как Международный союз электросвязи (ITU).

Центральной инициативой стало создание в 2019 году рабочей группы ITU-T «Технологии для сетей 2030 года» (FG NET-2030) [3], которая занимается определением стандартов и рекомендаций по архитектуре и инфраструктуре сетей 6G. Кроме того, Япония активно инвестирует в развитие

научно-исследовательских центров и партнерств, таких как сотрудничество с Университетом Оулу (Финляндия) по разработке первых прототипов сетей 6G [4].

Принцип работы 6G. Основным отличием сетей 6G от предыдущих поколений, является использование частот терагерцового диапазона, что позволяет существенно увеличить скорость передачи данных и уменьшить задержку. Однако такая технология требует значительных изменений в инфраструктуре. В частности, в Японии планируется модернизация существующих базовых станций и увеличение числа маломощных антенн для более эффективного покрытия.

Кроме того, одной из ключевых особенностей 6G станет внедрение технологий радиофотоники, что позволит ускорить передачу данных и повысить точность сигналов. Ожидается, что сети 6G будут поддерживать интеграцию искусственного интеллекта для управления трафиком и оптимизации работы сетей [5]. В Японии уже ведутся исследования в области применения ИИ для автоматизированного управления сетевой инфраструктурой [6].

Параметры сетей 6G. Основные параметры сетей 6G включают в себя:

- Скорость передачи данных: более 1 Тбит/с.
- Задержка: менее 1 микросекунды, что обеспечит высокую надежность, и точность передачи данных для приложений реального времени.
- Используемые частоты: терагерцовый диапазон, что позволяет значительно увеличить пропускную способность сети.

Японские исследователи прогнозируют [6], что 6G-сети позволят обрабатывать огромные объемы данных и обеспечивать одновременное подключение сверхбольшого количества устройств, что станет важным элементом для развития умных городов, автономного транспорта и виртуальной реальности.

2. Планирование и проектирование сети 6G в городе Токио

Основные задачи сетевого моделирования. Сетевое моделирование и планирование – это важный этап внедрения любой новой технологии мобильной связи. В случае с 6G перед разработчиками стоят задачи по увеличению плотности покрытия и повышению эффективности передачи данных при значительно более высоких требованиях к скорости и пропускной способности. В Токио, как одном из самых густонаселенных городов мира, эти задачи требуют комплексного подхода, с учетом, как городской плотности, так и технологических ограничений.

Моделирование сети 6G в Токио должно учитывать различные факторы, такие как [6]:

- Использование высокочастотных диапазонов, которые требуют установки большего числа базовых станций и увеличения их плотности.
- Применение интеллектуальных систем управления трафиком на основе ИИ, что особенно актуально для городов с высокой загруженностью сетей, таких как Токио.
- Необходимость поддержки различных сценариев использования, таких как автономные транспортные системы, умные дома и промышленные сети IoT.

В связи с этим, Министерство внутренних дел и коммуникаций Японии в сотрудничестве с крупными телекоммуникационными компаниями разработало долгосрочный план по внедрению 6G-технологий в городскую инфраструктуру Токио [2]. Этот план включает не только развертывание базовых станций и развитие инфраструктуры, но и интеграцию сетей 6G с системами и инфраструктурами умного города.

Современные методы планирования сети 6G. Япония является одной из первых стран, которая начала разработку и внедрение передовых методов планирования сетей 6G. Современные подходы к проектированию сетей 6G в Токио базируются на использовании комбинации технологий, таких как:

- **Massive MIMO** – многолучевое формирование сигналов с использованием множества антенн, что позволяет значительно увеличить пропускную способность и плотность подключений.
- **Интеграция искусственного интеллекта** – для автоматизации управления сетью и оптимизации трафика. В Японии уже проводятся испытания ИИ-систем, которые позволяют эффективно распределять трафик в реальном времени и снижать задержки в сети.

- **Программируемые интеллектуальные поверхности (Intelligent Reflecting Surfaces, IRS)** – одна из перспективных технологий, которая позволяет управлять отражением радиоволн для улучшения качества связи, особенно в условиях плотной застройки.
 - **Перспективы для модернизации сетей связи от 5G до 6G.** Переход от 5G к 6G требует значительной модернизации как аппаратной, так и программной инфраструктуры. В Японии этот процесс тесно связан с национальной стратегией по развитию телекоммуникационных технологий [2]. Местные операторы, такие как NTT DOCOMO, KDDI и SoftBank, активно участвуют в тестировании новых технологий, начиная с 2025 года, с постепенным расширением инфраструктуры 6G.
Основными направлениями модернизации сетей 5G в 6G являются:
 - Расширение диапазона частот за счет использования терагерцового спектра.
 - Модернизация существующих базовых станций для поддержки сверхвысоких скоростей передачи данных.
 - Разработка и внедрение новых алгоритмов управления трафиком и распределения ресурсов.
- Национальная стратегия Японии в области 6G включает активное сотрудничество с международными партнерами и участие в глобальных стандартизационных процессах, что позволит ей занять лидирующие позиции в разработке новых технологий.

Частоты, используемые для 6G в Японии. Япония уже начала разрабатывать частотную стратегию для 6G. Согласно планам Министерства внутренних дел и коммуникаций [2], для 6G будут использованы частоты терагерцового диапазона (100 ГГц и выше). Это обеспечит возможность передачи данных на скоростях до 1 Тбит/с и выше, что позволит удовлетворить растущие требования к передаче больших объемов данных.

Использование этих частотных диапазонов требует значительной модернизации инфраструктуры, так как терагерцовые волны имеют короткую дальность распространения и подвержены сильным помехам. Для компенсации этих проблем Япония планирует увеличить количество базовых станций и внедрить технологии радиофотоники, что позволит улучшить качество сигнала и расширить зону покрытия.

Основные трудности, связанные с развертыванием сетей 6G. Развертывание сетей 6G в Японии связано с рядом вызовов:

- **Высокие частоты и короткая дальность действия:** терагерцовые волны требуют более частого размещения базовых станций, что приводит к значительным капитальным вложениям в инфраструктуру.
- **Энергопотребление:** увеличение плотности базовых станций и применение высоких частот требует разработки энергоэффективных решений. В Японии уже ведутся исследования по созданию технологий, позволяющих использовать возобновляемые источники энергии для питания базовых станций.
- **Совместимость с существующими системами:** технологии 6G должны быть интегрированы в уже существующие сети 5G и IoT, что требует гибких решений в области стандартизации и архитектуры сетей.

Эти трудности не останавливают Японию, которая активно инвестирует в исследования и разработки для решения этих вопросов и обеспечения плавного перехода к 6G [7].

3. Оценка радиопокрытия проектируемой сети 6G для г. Токио

Оценка предельно допустимых затрат. Планирование сетей шестого поколения требует детальной оценки затрат на развертывание инфраструктуры, учитывая специфику высокочастотных диапазонов и необходимость повышения плотности базовых станций. Для Токио, как мегаполиса с высокой плотностью населения и застройки, критически важно провести тщательное моделирование затрат, связанных с размещением большого числа маломощных базовых станций, способных работать в терагерцовом диапазоне [6].

В Японии уже разработано несколько моделей оценки экономической эффективности развертывания 6G-сетей, которые основаны на опыте внедрения предыдущих поколений связи. Основной задачей является оптимизация инвестиций в инфраструктуру, что включает использование программируемых интеллектуальных поверхностей (IRS) для улучшения покрытия без необходимости установки дополнительных антенн.

Кроме того, японские операторы планируют внедрение гибридных решений, объединяющих технологии 5G и 6G, для плавного перехода к новому поколению связи, что позволит снизить начальные затраты на развертывание сети.

Оценка зоны покрытия базовых станций 6G по модели COST235. Модель COST235 является одной из наиболее широко используемых моделей для оценки радиопокрытия сетей мобильной связи. Применение данной модели для сетей 6G в Японии связано с необходимостью учета особенностей высокочастотного спектра, который требует частой установки базовых станций.

В отличие от предыдущих поколений, 6G будет работать в терагерцовом диапазоне, что означает более высокую частоту и короткую дальность распространения сигнала. Для городских условий, таких как Токио, это означает необходимость создания более плотной сети базовых станций, способных эффективно передавать сигнал даже в условиях плотной застройки.

Согласно расчетам, сделанным в Японии для города Токио, среднее расстояние между базовыми станциями 6G составит 100–200 метров, что потребует значительных вложений в инфраструктуру [6]. Однако за счет использования технологий массового MIMO и интеллектуальных отражающих поверхностей, ожидается улучшение качества сигнала и покрытия, что позволит сократить общее число базовых станций без ухудшения качества обслуживания.

Скорость передачи данных в сетях 6G. Одним из ключевых преимуществ сетей 6G является скорость передачи данных, которая может достигать 1 Тбит/с и выше. Однако такая скорость зависит от множества факторов, включая частотный диапазон, используемые технологии и условия среды. Для Японии, где населенные пункты отличаются высокой плотностью населения и сложной городской архитектурой, разработка оптимальной инфраструктуры для обеспечения максимальной скорости передачи данных является одной из главных задач.

Ожидается, что для городских условий Токио, где существуют ограничения по размещению оборудования, будут использоваться технологии динамического распределения частотного ресурса и интеллектуальных сетей, которые позволят гибко управлять нагрузкой и поддерживать высокую скорость передачи данных даже в условиях максимальной загрузки сети.

4. Дальнейшее развитие сетей 6G в Японии

Стратегия Японии по внедрению 6G. Развитие сетей 6G является частью долгосрочной стратегической программы Японии, направленной на обеспечение лидерства страны в области высоких технологий и инноваций. Японское правительство и частные компании, такие как NTT DOCOMO, активно инвестируют в исследования и разработки, направленные на ускорение внедрения 6G [7].

Основными направлениями дальнейшего развития 6G в Японии являются:

- **Интеграция с инфраструктурами умных городов:** Сети 6G будут активно использоваться для поддержки умных городов, где ключевыми аспектами станут беспилотный транспорт, интеллектуальные здания и системы мониторинга.
- **Развитие автономных систем и Интернета вещей:** 6G станет основой для внедрения передовых систем автономного транспорта, включая беспилотные автомобили и дроны. Токио уже активно тестирует такие системы в рамках подготовки и проведения крупных мероприятий.
- **Поддержка высокоскоростных коммуникаций в реальном времени:** Виртуальная и дополненная реальность, голографическая связь и тактильный Интернет станут ключевыми приложениями 6G, способными кардинально изменить способы взаимодействия людей и машин.

Исследования и инновации в области 6G в Японии. Япония активно участвует в международных научных программах, направленных на исследование технологий шестого поколения. Одним

из главных центров исследований является Университет Оулу (Финляндия) [4], с которым японские компании сотрудничают для разработки прототипов сетей 6G.

В 2019 году в Японии был создан научно-исследовательский центр, занимающийся тестированием технологий радиофотоники, которые будут использоваться для ускорения передачи данных в сетях 6G. Одним из главных направлений исследований является разработка систем для работы в терагерцовом диапазоне [8–10], что позволит Японии оставаться на передовой линии технологического прогресса.

Заключение. Развитие технологий мобильной связи шестого поколения (6G) в Японии является важным шагом на пути к построению цифрового общества будущего, способного поддерживать сложные и высокоскоростные коммуникационные системы, такие как голографическая связь, умные города и автономный транспорт. Япония активно внедряет инновационные технологии и стандарты для успешного развертывания 6G, уделяя особое внимание использованию высокочастотного спектра, внедрению программируемых интеллектуальных поверхностей и системам искусственного интеллекта для оптимизации управления сетями.

Однако успех Японии в данной области может служить полезным примером и для других стран, включая Кыргызстан. Хотя Кыргызстан имеет иную инфраструктурную и экономическую базу, некоторые аспекты японского опыта могут быть адаптированы для местных условий.

С точки зрения применимости опыта Японии в Кыргызстане, особый интерес представляет использование высокочастотных диапазонов для покрытия труднодоступных территорий, таких как горные районы. Важно также обратить внимание на решения в области умного управления трафиком и энергопотреблением, что позволит эффективно развивать инфраструктуру в условиях ограниченного бюджета. Кыргызстан с его стремительно растущими требованиями к цифровым услугам и высокими ожиданиями от мобильной связи, может начать процесс модернизации сетей, следуя примеру Японии, уделяя внимание частям инфраструктуры, которые позволят улучшить качество связи и расширить возможности для новых цифровых услуг.

Перспективы развития сетей шестого поколения (6G) в Кыргызстане зависят от нескольких факторов, включая инвестиции в инфраструктуру, разработку национальных стандартов и активное международное сотрудничество. Кыргызстану будет важно развивать партнерские отношения с международными организациями и ведущими технологическими компаниями для тестирования и внедрения передовых технологий. Кроме того, расширение сети 6G в сельских и горных районах может стать важной задачей для страны, требующей инновационных решений, подобных тем, что уже разрабатываются в Японии.

Основными вызовами для Кыргызстана на пути к внедрению 6G станут:

- **Нехватка инфраструктуры и финансовых ресурсов:** развитие сетей 6G требует значительных инвестиций, что может быть проблемой для стран с ограниченными бюджетами.
- **Отсутствие стандартизации и нормативной базы:** для успешного развертывания сетей 6G потребуются разработка национальных стандартов и регулятивной базы, согласованной с международными нормами.
- **Подготовка кадров:** внедрение и поддержка технологий шестого поколения требует высокой квалификации специалистов, что требует значительных усилий по подготовке кадров.

Таким образом, успешное внедрение 6G в Кыргызстане потребует не только активного привлечения инвестиций и международного сотрудничества, но и грамотного использования мирового опыта, включая опыт Японии.

Поступила: 28.10.24; рецензирована: 11.11.24; принята: 13.11.24.

Литература

1. NTT DOCOMO White Paper: 5G and 6G Technology - Vision and Roadmap. NTT DOCOMO. Tokyo, 2020. URL: <https://www.docomo.ne.jp>. (дата обращения: 23.10.2023).

2. Strategic Plan for the Development of 6G Networks in Japan. Ministry of Internal Affairs and Communications. Tokyo, 2021. URL: <https://www.docomo.ne.jp/eng/> (дата обращения: 19.01.2024).
3. ITU-T Focus Group on Technologies for Network 2030. International Telecommunication Union, Geneva, 2020. URL: <https://www.itu.int/pub/> (дата обращения: 13.02.2024).
4. Oulu University Research Group. «6G Flagship Program Overview». Oulu: Oulu University, 2019. URL: <https://www.6gflagship.com/> (дата обращения: 05.03.2024).
5. ABI Research. «6G Wireless Technology: Key Developments and Future Perspectives» ABI Research, 2021. URL: <https://www.abiresearch.com/> (дата обращения: 09.04.2024).
6. Yamamoto K. (山本 高至) Human Blockage Probability Analysis and Distributed Antenna Installations for Millimeter and Terahertz Wave Mobile Communications in Japan. 電子情報通信学会論文誌B, 2021. https://search.ieice.org/bin/pdf_link.php?category=B&lang=J&year=2021&fname=j104-b_12_963&abst (дата обращения: 28.09.2024).
7. Finance University under the Government of Japan. Assessing the Economic Prospects of Sixth-Generation Networks. Tokyo, 2023. URL: <https://www.cgc.ifi.u-tokyo.ac.jp/> (дата обращения: 19.06.2024).
8. World Economic Forum (WEF). «Global 6G Development: Trends and Challenges». Geneva: WEF, 2022. URL: <https://www.weforum.org/> (дата обращения: 12.11.2023).
9. Research Gate. «TeraHertz Communication: Challenges and Applications in 6G». 2023. URL: <https://www.researchgate.net/> (дата обращения: 15.05.2024).
10. The Role of Artificial Intelligence in the Development of 6G Networks in Japan. IEEE Journal, 2021. URL: <https://www.researchgate.net/> (дата обращения: 19.12.2023).