

Стандарт 5G, как основа будущей сети мобильных телекоммуникаций в железнодорожной отрасли РФ

Ю. В. Юркин

Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I

Yvyur@mail.ru

А. А. Маслова

Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I

Bloodyelis@yandex.ru

Аннотация. Последовательность разработки стандартов 5G и 5G - Advanced отражена и зафиксирована в Release 15-19. Требования, предъявляемые к системам 5G для наглядности удобно представлять в виде лепестковой диаграммы, обеспечивающей сравнение технических характеристик разных стандартов. В статье в виде лепестковой диаграммы представлен разработанный расширенный спектр ключевых показателей систем 5G. Также в статье приводятся характеристики интернациональных рабочих групп, созданных 3GPP и ETSI для разработки системы мобильных железнодорожных телекоммуникаций следующего поколения на базе стандарта 5G – FRMCS

Ключевые слова: стандарт, технические параметры, лепестковая диаграмма, рабочие группы, FRMCS

I. НАБОР ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Начало создания систем мобильной связи 5G положил семинар 3GPP (сентябрь 2015 года, США), где обсуждались этапы разработки соответствующих спецификаций. Последовательно, в июне 2018 г. была принята 1-ая фаза спецификаций (Release 15), в декабре 2019 г. – 2-я фаза (Release 16), в марте 2022 г. – 3-я фаза (Release 17), когда на пленарном заседании 3GPP было достигнуто так называемое «функциональное замораживание» (Functional Freeze), что означало окончательное утверждение всех трех фаз спецификаций 5G. Последующие спецификации 3GPP были направлены на разработку протоколов функционирования систем 5G-Advanced. Так в Release 18 формализована и зафиксирована в июне 2024 года сама концепция стандарта 5G-Advanced (5G-A) – 1-я его фаза. Release 19, текущий (Current), являющийся второй фазой стандарта 5G-A, утвержден в конце 2025 года. Таким образом, набор Release 15-19 является продолжением эволюции спецификаций стандартов систем 4G [1–2]. В рамках Release 15 еще в 2015 году был зафиксирован набор основных технических параметров, предложенных ITU-R и характеризующих системы мобильной связи с пакетной коммутацией. Перечислим их.

- **Максимальная (пиковая) скорость передачи данных** на один абонентский терминал. Теоретически может достигать 20 Гбит/с.
- **Реальная (практическая) скорость передачи данных на абонента** (скорость пользователя), которая доступна одному абоненту в любой точке зоны покрытия сети ячейками. Может достигать 100 – 400 Мбит/с.

- **Средняя спектральная эффективность** – показатель пропускной способности, которая может быть обеспечена одному пользователю относительно единицы задействованного радиочастотного спектра. Выражается в битах в секунду на Герц (бит/с/Гц) и варьируется в диапазоне от 1 бит/с/Гц до 10 бит/с/Гц.
- **Энергоэффективность** – способность сетевых компонентов, включая базовые станции и абонентские терминалы (UE) потреблять минимальное количество энергии при передаче данных, сохраняя при этом максимальную производительность. Это достигается путем применения более совершенных протоколов функционирования системы, управления процессами электропитания при переходе абонентского оборудования в режим ожидания, применения более совершенных антенных систем и др. Выражается количеством переданных информационных бит, приходящихся на единицу потребляемой энергии.
- **Время задержки на радио-интерфейсе** – интервал времени от момента отправления пакета данных источником до момента его получения приемником системы связи. Теоретически задержка в сети 5G может достигать 1 мс. (практически до 5 мс.). Напомним, что задержка в сетях 4G составляет 10–40 мс.
- **Мобильность абонента** – максимальная скорость перемещения абонента (км/ч), при сохранении стабильного подключения к сети и передаче данных с заданным QoS в процессе хэндовера. Теоретически может достигать 500 км/ч.
- **Плотность распределения локального трафика** – показатель, определяющий какой объем данных может быть передан устройствами, располагающимися на единице площади ячейки. В сетях 5G может достигать 10 Мбит/с/м².
- **Плотность подключений UE на 1 км²** – определяет максимальное количество UE, которые могут располагаться на одном квадратном километре площади, пользуясь услугами сети. Теоретически может достигать одного миллиона абонентских терминалов.

Для удобства сравнения приведенных выше технических показателей систем с пакетной коммутацией в ряде источников [3–4] применена лепестковая диаграмма, в которой каждый «луч»

представляет собой отдельный параметр. В 2017 году ITU-R помимо основных определил приведенные ниже дополнительные требования к системам 5G.

- **Ширина полосы пропускания** – возможность использования нескольких частотных диапазонов, характеризующихся различной шириной. Применимый диапазон частот для 5G чрезвычайно широк.
- **Надежность работы системы при задержке в 1 мс для 32-х байтового пакета** – способность системы обеспечить бесперебойный и безопасный сеанс связи с высокой пропускной способностью и низкой задержкой пакета при его передаче, равной 1 мс.
- **Пиковая спектральная эффективность** – максимальная скорость передачи информации, отнесенная к единице ширины используемой полосы частот при условии отсутствия ошибок при передаче и выделения всех ресурсов одному UE (бит/с/Гц). Может достигать 15–30 бит/с/Гц в нисходящем направлении связи и 6,75–13,5 бит/с/Гц в восходящем. Следует учитывать, что реальная спектральная эффективность ниже, так как частотные ресурсы одновременно распределяются между всеми UE, находящимися в соте.
- **Спектральная эффективность на 5% пользователей** (или 5-й процентиль спектральной эффективности пользователя) – представляет собой показатель производительности сети, то есть он определяет какую скорость передачи данных сеть может обеспечить для 5% пользователей с наименьшей спектральной эффективностью. Показатель отражает

минимальный уровень производительности сети при условии наличия максимального трафика в ячейке (соте). Данный параметр обеспечивает гарантии минимального уровня показателя качества обслуживания для наименее обеспеченных сетевыми ресурсами абонентов в пределах, заданных QoS.

- **Задержка в плоскости пользователя** – время передачи пакета данных пользователя с IP-уровня одного узла сети (мобильного терминала, шлюза GW) на IP-уровень другого узла сети, например от UE к базовой станции. В сети 5G оно составляет около 1 мс для критически важных коммуникаций (URLLC) и 4–5 мс при обычных соединениях (eMBB). Плоскость пользователя обеспечивает передачу абонентского трафика.
- **Задержка в плоскости управления** – время передачи данных сигнализации (при запросе UE соединения, аутентификации абонента, идентификации UE, хэндовере и др.) между компонентами сети, например, между UE и базовой станцией. В отличие от плоскости пользователя задержка в плоскости управления может достигать больших значений – 10–20 мс.

Разработанное при написании статьи расширение лепестковой диаграммы с учетом всех ключевых показателей 5G как основных, так и дополнительных, показано на рис. 1. В данной диаграмме акцентируется внимание на спектр показателей, присущих еще сетям стандарта GSM (GPRS) в виде набора – «традиционные характеристики».

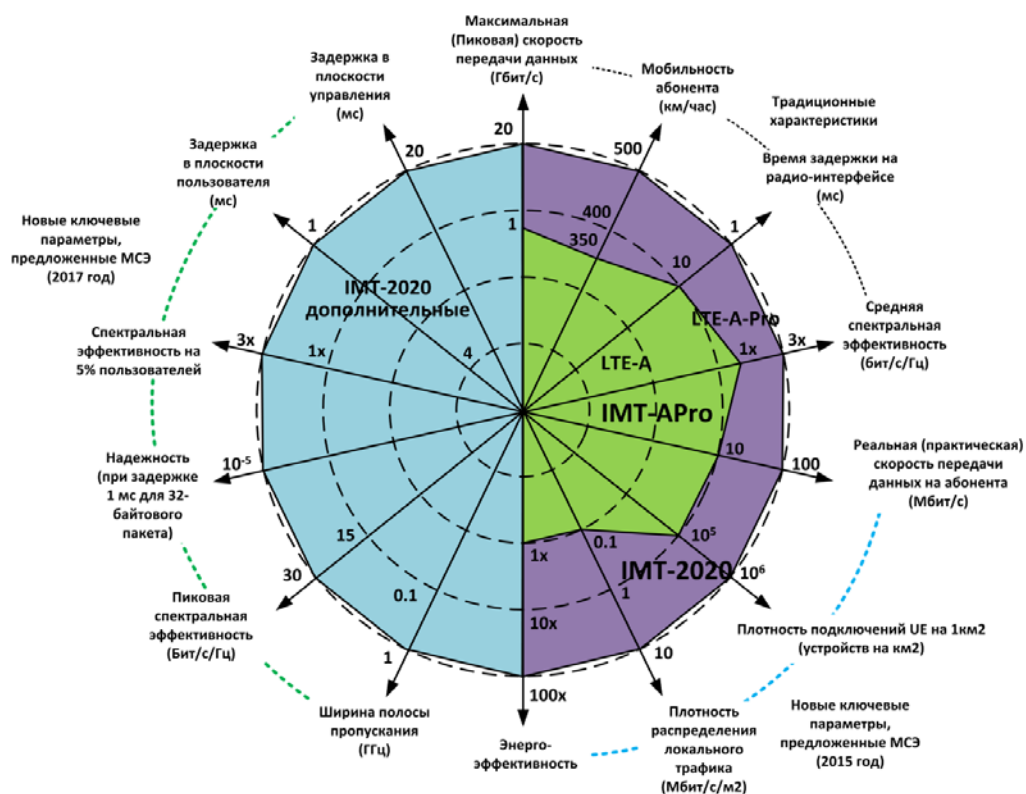


Рис. 1. Расширение лепестковой диаграммы с учетом всех ключевых показателей 5G как основных, так и дополнительных

Международный союз железнодорожников UIC (Union International des Chemins de fer) и Европейское железнодорожное агентство ERA (European Union Agency for Railways) планируют к 2030 году замену системы мобильной связи стандарта GSM-R будущей системой железнодорожных мобильных коммуникаций FRMCS (Future Railway Mobile Communication System), функционирующей на базе стандарта 5G. Сформированные интернациональные рабочие группы UIC и партнерского проекта 3GPP [5–7], разработали требования к FRMCS в спецификациях UIC и 3GPP/ETSI. FRMCS представляет собой систему, обеспечивающую мобильную связь между пользователями как внутри каждой железной дороги, так и между разными дорогами и состоящую из сетевого оборудования FRMCS, сетей радиодоступа стандартов 4G и/или 5G, транспортных сетей связи и серверов железнодорожных приложений. В 2018 г. в рамках деятельности UIC и ERA были начаты работы над проектом, для чего были созданы под эгидой UIC нижеследующие руководящие и рабочие группы (рис. 2).

Группа управления по стратегии и планированию FRMCS – **SC** (Strategy and Planning), координировала разработку и внедрение стандарта FRMCS на базе систем 4G/5G в процессе реализации долгосрочной стратегии перехода от стандарта GSM-R к FRMCS. Осуществляла управление функционированием остальных рабочих групп UIC по FRMCS: FWG, ATWG, UGFA, FWG, TOBA. Руководящая рабочая группа по функциональности сети – **FWG** (Functional Work Group), отвечала за формирование эксплуатационных требований к FRMCS и состава функций, обеспечивая переход от стандарта GSM-R к стандартам 4G/5G. Разрабатывала требования к функциональности бортовых систем локомотивов, включая приложения по управлению движением высокоскоростных поездов. Рабочая группа по технологиям радиointерфейса – **ATWG** (Application and Technology Working Group) разрабатывала спецификации для интерфейсов на базе стандартов 5G и LTE-APro, обеспечивающих бесперебойную работу критически важных транспортных приложений.

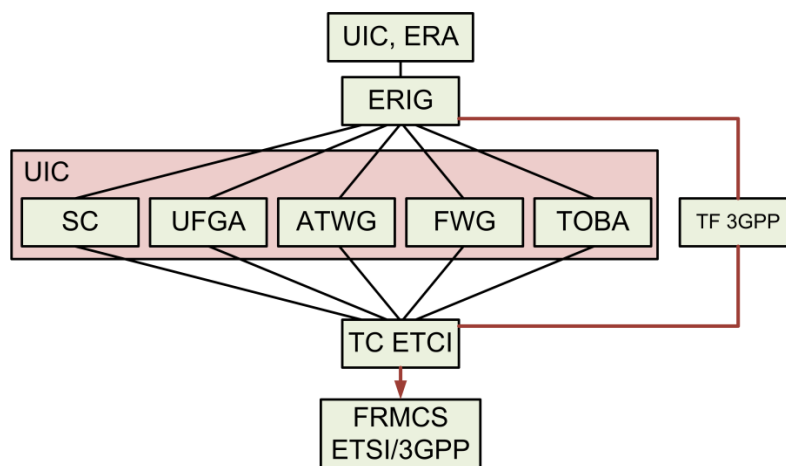


Рис. 2. Руководящие и рабочие группы

Группа по частотным аспектам **UGFA** ((UIC Group for Frequency Affairs), координировала технические и регуляторные аспекты использования радиочастотного спектра, согласование частот на международном уровне, разрабатывала сценарии совместной работы систем стандартов GSM-R и FRMCS на переходный период. Группа **ТОБА** (Telecom On-Board Architecture), – по разработке стандартов и архитектуры бортовых систем связи для поездов нового поколения, обеспечивала совместимость новых бортовых систем с существующими. Целевая рабочая группа 3GPP – **TF** (Task Force), осуществляла взаимодействие с другими рабочими группами для включения специальных железнодорожных приложений в перечень приложений стандарта 5G. Функционировала под руководством ERIG (European Railway Infrastructure Group).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Юркин Ю.В., Иванов Д.А. Эволюция систем мобильной связи 4G: от стандарта LTE к LTE-Advanced Pro-R (Railway) // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 9. С 14-18.
- [2] Юркин Ю.В., Маслова А.А., Герасимов Е.М. Организация гетерогенной сети мобильной связи // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 10. С 15-19.
- [3] Сети 5G/6G: архитектура, технологии, методы анализа и расчета: монография / Д.А. Молчанов, В.О. Бегишев, К.Е. Самуйлов, Е.А. Кучерявый. Москва: РУДН, 2022. 516 с.: ил.
- [4] Архитектура протоколов радио-подсистемы 5G / Лю Сяофэн, Сунь Шаохуэй и др. Минск: Восточная культура, 2022. 464 с.
- [5] FU-7100-v.5.0.0. Future Railway Mobile Communication System User Requirements Specification. UIC FRMCS Functional Working Group, 19.02.2020.
- [6] MG-7900-v.2.1.0. (FRMCS Use Cases) Future Railway Mobile Communication System User Requirements Specification. UIC FRMCS Functional Working Group & Architecture and Technology Group, 19.02.2020.
- [7] TOBA-7540-v.1. Telecom On-Board System – Architecture Migration Scenarios. UIC FRMCS Telecom On-Board Architecture Working Group, 19.02.2020.