

# Стандартизация систем беспроводной связи для железных дорог

П. А. Плеханов

Петербургский государственный университет путей  
сообщения Императора Александра I  
pavelpkhanov@gmail.com

Д. Н. Роенков

Петербургский государственный университет путей  
сообщения Императора Александра I  
roenkov\_dmitry@mail.ru

**Аннотация.** The digital transformation of the railway industry that is being carried out today requires railway telecommunication networks to provide modern, high-quality and safe services for production and management processes. Traditional and innovative (high-speed, maglev) types of rail transport are in dire need of proven and standardized wireless technologies for various purposes: mobile, wireless access, short-range. Based on this, domestic regulatory technical documents in this area should be based on the best world practice of creating and operating wireless communication networks of modern standards, taking into account the specifics of the functioning of russian railways. The active use of wireless technology should become one of the main directions of innovative development of railway transport, increase its efficiency and safety and, as a consequence, competitiveness and attractiveness for passengers and shippers.

**Ключевые слова:** wireless communications; railways; standardization; safety

## I. РАЗВИТИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

В настоящее время, в мире происходит активное внедрение технологий подвижной связи пятого поколения 5G («generation»), способных предоставить конечным пользователям широкие возможности значительного увеличения скорости передачи данных при уменьшении времени задержки сигнала и обеспечении практически неограниченной мобильности [1, 2]. Железнодорожная отрасль заинтересована в использовании преимуществ перспективных систем беспроводной связи в целях повышения качества и безопасности перевозочных услуг [3]. Инновационное развитие железнодорожного транспорта требует сегодня наличия телекоммуникационных технологий, позволяющих осуществлять диагностику и мониторинг инфраструктуры и подвижного состава в режиме реального времени (для раннего выявления предотказных состояний и предотвращения опасных событий), беспилотное движение поездов, удаленное видеонаблюдение (в т.ч. интеллектуальное) на точечных и линейных объектах, непрерывный контроль перемещения и сохранности грузов и т.д.

В этой связи, Международный союз железных дорог UIC, наряду с поддержкой наиболее распространенного сегодня в мире стандарта железнодорожной подвижной связи GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railways – «Глобальная система подвижной связи на

железнодорожном транспорте») второго поколения 2G, способствует активному внедрению нового стандарта FRMCS (Future Railway Mobile Communication System – «Будущая железнодорожная система подвижной связи»), основанного, в свою очередь, уже на технологиях 5G.

Стандарт GSM-R получил развитие в 1990-х годах в Европе путем принятия более полусотни поправок к базовому стандарту GSM, заключающихся в реализации различных типов вызовов с использованием системы приоритетов, выполнении дополнительных требований по безопасности и др. Надо сказать, что в то время развитие единого европейского железнодорожного пространства было сопряжено с необходимостью решения серьезных проблем, связанных с наличием в эксплуатации более 20-ти различных и несовместимых между собой систем управления движением поездов, восьми систем железнодорожной электросвязи, пяти систем тягового электроснабжения, а также действием национальных правил эксплуатации железных дорог (иногда противоречащих друг другу) и требований по сертификации безопасности, подготовке и лицензированию машинистов, не говоря уже о языковых барьерах. Эти проблемы было призвано решить, в том числе, внедрение единой Европейской системы управления железнодорожными перевозками ERTMS (Euro-pean Rail Traffic Management System), важнейшей частью которой является Европейская система управления движением поездов ETCS (European Train Control System) вместе с системой GSM-R [4–6]. Сегодня система GSM-R используется как в качестве технологической железнодорожной радиосвязи (поездной, станционной и ремонтно-оперативной), так и для организации радиоканала обмена данными между напольным и бортовым оборудованием посредством Центров блокировки на базе радиосвязи RBC (Radio Block Centre) [7]. Функциональные (Functional Requirements Specification) и технические (System Requirements Specification) требования к системе GSM-R содержатся в периодически актуализируемых документах проекта Европейской интегрированной железнодорожной радиосети с расширенными возможностями EIRENE (European Integrated Radio Enhanced Network) [8, 9]. Сегодня стандарт GSM-R используется на железных дорогах не только европейских стран. Так, в Китае он применяется в национальной системе управления

движением поездов CTCS (Chinese Train Control System), во многом аналогичной системе ETCS.

## II. ПЕРСПЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Однако, на смену базовому для GSM-R стандарту GSM, который относится ко второму поколению подвижной связи 2G (внедрение в 1990-х гг.), за минувшее время пришли стандарты третьего 3G (внедрение в 2000-х гг.) и четвертого 4G (внедрение в 2010-х гг.) поколений [10], а сегодня уже внедряются технологии 5G. Исходя из этого, завершить поддержку стандарта GSM-R планируется к 2030 г., в связи с чем с 2012 г. начались исследования по разработке процедур миграции от стандарта GSM-R к будущему стандарту FRMCS. Требования пользователей (User Requirements Specification) и варианты использования (Use Cases) для проекта FRMCS изложены в соответствующих документах UIC [11, 12], причем варианты использования, как и в проекте EIRENE, подразделяются на функциональные и технические.

Помимо UIC, который, от лица железнодорожной отрасли, выступает как заказчик технологий FRMCS, техническая стандартизация требований нового стандарта сосредоточена сегодня в двух организациях – Консорциуме по развитию беспроводной связи 3GPP (3rd Generation Partnership Project) и Европейском институте телекоммуникационных стандартов ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Все спецификации 3GPP разделены сегодня на более чем 50 серий и группируются в полтора десятка, так называемых, «релизов» («releases») – сборников документов, посвященных определенному этапу развития технологий подвижной связи. При этом, в одну серию входят спецификации, относящиеся к разным «релизам». Технологии 3G (UMTS / HSPA / HSPA+, LTE) рассматриваются, начиная с Release 99 (выпущен в 1999 г.) и далее, 4G (LTE Advanced / Advanced Pro) – с Release 10, 5G – с Release 15. В состав соответствующих «релизов» входят не только спецификации, относящиеся к передовым (на момент выпуска) технологиям подвижной связи, но и документы, описывающие текущий уровень развития предшествующих технологий, начиная с 2G (GSM / CSD / HSCSD / GPRS / EDGE). Это необходимо, в том числе, для обеспечения обратной совместимости поколений подвижной связи.

На сегодняшний день, можно выделить следующие основные спецификации 3GPP, посвященные стандарту FRMCS:

- TS 22.289 и TR 22.889, относящиеся к 22-й серии «Предоставляемые услуги» («этап 1») – обе спецификации существуют в версиях в составе Releases 15-17;
- TR 23.790 (версии в составе Release 15) и TR 23.796 (версии в составе Release 16), относящиеся к 23-й серии «Техническая реализация» («этап 2»).

Также можно выделить Технический отчет ETSI TR 103 459, посвященный изучению архитектуры системы FRMCS [13].

В указанных документах рассматриваются вопросы функциональной архитектуры FRMCS, услуг, предоставляемых железнодорожным пользователям, а также особенности технической реализации на основе широких возможностей технологий 5G [1, 2]. К этим возможностям относятся обеспечение скорости передачи данных значительно выше 1 Гбит/с, соединение большого количества подвижных и стационарных маломощных коммуникационных устройств, организация высокоскоростного обмена данными между устройствами напрямую, минуя сетевую инфраструктуру, а также эффективное использование электроэнергии подвижными станциями. В 5G должны отсутствовать прерывания мобильности абонентов, максимальная плотность подвижных станций должна составлять 1 млн на 1 кв. км при скорости их передвижения до 500 км/ч.

## III. СИСТЕМЫ СОТОВОЙ, СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ, БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА И МАЛОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Помимо отраслевых стандартов GSM-R и FRMCS, на железных дорогах и метрополитенах активно используются системы транкинговой связи на основе разработанных ETSI стандартов TETRA (Terrestrial Trunked Radio – «Наземное транкинговое радио») и DMR (Digital Mobile Radio – «Цифровое мобильное радио»). В отличие от стандарта GSM-R, TETRA позволяет абонентам работать в режиме «прямой» связи DMO (Direct Mode Operation), когда между подвижными станциями могут устанавливаться двух- и многоточечные соединения без использования инфраструктуры сети. При этом, подвижные станции могут работать в режиме, так называемого, «двойного наблюдения» («Dual Watch»), при котором возможен информационный обмен с абонентами, работающими как в сетевом, так и в «прямом» режиме. Что касается стандарта DMR, то его можно условно назвать упрощенным и, как следствие, менее дорогим вариантом стандарта TETRA, имеющим, при этом, необходимую для железнодорожных пользователей функциональность.

Для организации связи на малоинтенсивных железнодорожных участках, а также при проведении аварийно-восстановительных работ целесообразно применение систем подвижной спутниковой связи, которые, по сути, являются аналогами систем наземной подвижной связи. Это, например, система Iridium, использующие низкие (780 км) круговые околоземные орбиты, система Thuraya, спутники которой находятся на геостационарной орбите (35786 км над экватором), и др. Хотя подвижная спутниковая связь уступает сотовой и транкинговой по качеству предоставляемых услуг (сказывается большое расстояние между передатчиками и приемниками), ее главным преимуществом является отсутствие зависимости абонента от наземной сетевой инфраструктуры.

Помимо обеспечения связи, важнейшей спутниковой технологией для железнодорожного транспорта является спутниковая навигация посредством активно эксплуатируемых сегодня глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США), а также перспективных систем Galileo (Европейский союз) и BeiDou (Китай). Для повышения точности позиционирования в спутниковых навигационных системах предусмотрено применение дифференциального режима. В этом режиме используются, как минимум, два приемника, которые одновременно принимают сигналы от одних и тех же спутников. Один из них – подвижный приемник пользователя, а другой – стационарный базовый приемник, координаты которого известны с высокой точностью. Сравнивая собственные известные координаты с измеренными, базовый приемник формирует и передает приемнику пользователя соответствующие дифференциальные поправки.

Наряду с системами подвижной связи и навигации, свои перспективы, в том числе, для предоставления услуг беспроводной связи пассажирам в поездах и на вокзалах, имеют системы беспроводного доступа, которые способны обеспечить высокоскоростную передачу данных, однако, имеют существенные ограничения в отношении предоставления мобильности конечным пользователям. Эти системы основаны на использовании, в основном, стандартов международного Института инженеров по электротехнике и электронике IEEE 802.11 (Wi-Fi), а также IEEE 802.16 (WiMAX), некоторые из которых, в отличие от IEEE 802.11, позволяют обеспечить пользовательскую мобильность, т.е. движение подвижной станции относительно базовой со скоростью свыше 5 км/ч на расстоянии между ними до нескольких километров.

Для развития сервисов по оперативному обмену небольшими объемами данных, например, в хозяйстве грузовой и коммерческой работы, перспективными являются системы беспроводной связи малого радиуса действия на основе стандартов IEEE 802.15 (Bluetooth, ZigBee) [14]. Область покрытия в таких системах составляет 10 ... 100 м в зависимости от мощности передатчика. В одну сеть может входить до нескольких сотен устройств, но только несколько из них могут в данный момент времени быть активными и обмениваться данными. Одно из устройств сети является главным, остальные – подчиненными, при этом, активное подчиненное устройство может обмениваться данными только с главным устройством, прямой обмен между подчиненными устройствами невозможен. Все неактивные устройства сети должны находиться в режиме пониженного энергопотребления, в котором они ожидают команды главного устройства для перехода в активное состояние. Главное устройство отвечает за доступ к среде передачи данных, при этом, используются частотный диапазон 2,4 ГГц, максимальная полезная скорость передачи данных составляет около 2 Мбит/с. Такая архитектура позволяет применять более простые протоколы в подчиненных пользовательских устройствах, а более сложные функции управления сетью передать главному устройству.

Среди систем беспроводной связи малого радиуса действия можно выделить технологию специализированной связи на коротких расстояниях DSRC (Dedicated Short Range Communications), представленную стандартами IEEE 802.11p и IEEE 1609. Данная технология представляет особый интерес для транспортной отрасли, поскольку изначально разрабатывались для организации информационного обмена на транспорте в рамках реализации концепции интеллектуальных транспортных систем.

Рассмотренные стандарты и технологии беспроводной связи находят широкое применение для решения задач обеспечения движения поездов [15].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Плеханов П.А. Подвижная связь 5G / П.А. Плеханов, Д.Н. Роенков // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 5. С. 8-12.
- [2] Роенков Д.Н. Технология MIMO для подвижной связи 5G / Д.Н. Роенков, П.А. Плеханов // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 8. С. 21-25.
- [3] Плеханов П.А. Проблема формирования требований к качеству и безопасности перевозочных услуг железнодорожного транспорта / П.А. Плеханов // Экономика железных дорог. 2015. № 10. С. 20-27.
- [4] Шматченко В.В. Требования по надежности, готовности и ремонтпригодности для сетей GSM-R / В.В. Шматченко, П.Н. Ерлыков, П.А. Плеханов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2010. Т. 7, вып. 1. С. 148-160.
- [5] Шматченко В.В. Влияние отказов и сбоев системы радиосвязи GSM-R на безопасность перевозочного процесса / В.В. Шматченко, Д.Н. Роенков, П.А. Плеханов, В.Г. Иванов, Н.В. Яронова // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2016. Т. 13, вып. 4. С. 570-578.
- [6] Шматченко В.В. Влияние отказов и сбоев системы радиосвязи GSM-R на готовность перевозочного процесса / В.В. Шматченко, Д.Н. Роенков, П.А. Плеханов, В.Г. Иванов, Н.В. Яронова // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. Т. 14, вып. 3. С. 490-500.
- [7] Шматченко В.В. Расширение функциональной полноты и требований по безопасности к поездной радиосвязи при переходе с аналоговых на цифровые технологии / В.В. Шматченко, П.А. Плеханов, Д.Н. Роенков, В.Г. Иванов, П.Н. Ерлыков // Бюллетень результатов научных исследований. 2015. № 2. С. 61-71.
- [8] EIRENE Functional Requirements Specification. Version 8.0.0. URL: [https://uic.org/IMG/pdf/frs-8.0.0\\_uic\\_950\\_0.0.2\\_final.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/frs-8.0.0_uic_950_0.0.2_final.pdf).
- [9] EIRENE System Requirements Specification. Version 16.0.0. URL: [https://uic.org/IMG/pdf/srs-16.0.0\\_uic\\_951-0.0.2\\_final.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/srs-16.0.0_uic_951-0.0.2_final.pdf).
- [10] Плеханов П.А. Беспроводные инфокоммуникационные сети на железнодорожном транспорте / П.А. Плеханов. СПб.: ПГУПС, 2014. 55 с.
- [11] FRMCS User Requirements Specification. Version 4.0.0. URL: [https://uic.org/IMG/pdf/frmcs\\_user\\_requirements\\_specification\\_version\\_4.0.0.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/frmcs_user_requirements_specification_version_4.0.0.pdf).
- [12] FRMCS Use cases. Version 1.0.0. URL: <https://uic.org/IMG/pdf/mg-7900-1.0.0.pdf>.
- [13] ETSI TR 103 459 V1.1.1 (2019-01). Rail Telecommunications (RT); Future Rail Mobile Communication System (FRMCS); Study on system architecture. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/103400\\_103499/103459/01.01.01\\_60/tr\\_103459v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103400_103499/103459/01.01.01_60/tr_103459v010101p.pdf).
- [14] Зайцев А.А. Электротехнический комплекс для обеспечения сохранности перевозимых грузов / А.А. Зайцев, П.А. Плеханов, А.В. Крылов, А.В. Агунов // Бюллетень результатов научных исследований. 2018. № 4. С. 41-55.
- [15] Роенков Д.Н. СТУ для организации радиосвязи на ВСМ Москва – Казань / Д.Н. Роенков, П.А. Плеханов, В.В. Шматченко, В.Г. Иванов // Автоматика, связь, информатика. 2016. № 6. С. 23-26.