

# Особенности перехода к будущей системе железнодорожной подвижной связи

П. А. Плеханов<sup>1</sup>, Д. Н. Роевков<sup>2</sup>

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
<sup>1</sup>pavelplekhanov@gmail.com, <sup>2</sup>roevkov\_dmitry@mail.ru

**Аннотация.** Для внедрения современных технологий автоматизации движения поездов, удаленной диагностики и мониторинга инфраструктуры и подвижного состава, обеспечения комплексной безопасности и надежности перевозочного процесса необходимо наличие эффективных и безопасных телекоммуникаций. Сегодня мировое железнодорожное сообщество в лице, прежде всего, Международного союза железных дорог UIC ведет активную деятельность по формированию технического облика будущей системы железнодорожной подвижной связи FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) – нового стандарта, идущего на смену GSM-R.

**Ключевые слова:** подвижная связь, железнодорожный транспорт, стандартизация, 4G, 5G

## I. ВОЗМОЖНОСТИ БУДУЩЕЙ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

Завершение поддержки стандарта GSM-R [1–3] планируется к 2030 г., исходя из чего еще 2012 г. были начаты исследования по переходу от GSM-R к системе FRMCS, в процессе стандартизации которой задействованы следующие основные организации [4]:

- Международный союз железных дорог UIC – формирует требования пользователей и варианты использования FRMCS, отражающие прикладную специфику применения системы для железнодорожного транспорта;
- Европейский институт телекоммуникационных стандартов ETSI и Консорциум по развитию беспроводной связи 3GPP – разрабатывают технические спецификации и технические отчеты в отношении реализации FRMCS на основе современных телекоммуникационных технологий;
- компании-разработчики и производители телекоммуникационного оборудования – задействованы в создании соответствующей инфраструктуры.

В соответствии с последними документами UIC, функциональные и технические возможности системы FRMCS должны позволить реализовать на ее основе сети поездной, станционной и ремонтно-оперативной радиосвязи с использованием голосовых вызовов и обмена данными. При этом, в отношении вызовов необходимых абонентов должна применяться развитая структура категорий и приоритетов.

Кроме предоставления услуг подвижной связи широкому кругу абонентов различных железнодорожных хозяйств, FRMCS также должна применяться для построения сетей радиосвязи передачи данных в системах управления и обеспечения безопасности движения поездов [5, 6] – на основе FRMCS становится возможным полноценная реализация всех степеней автоматизации

движения поездов, предусмотренных серией международных стандартов IEC 62290.

Техническая реализация системы FRMCS, вопросы которой изложены в соответствующих документах ETSI и 3GPP, предполагает использование в качестве основы сети подвижной связи четвертого 4G и пятого 5G поколений [7, 8]. С учетом того, что на российских железных дорогах сегодня происходит внедрение сетей беспроводной связи стандарта LTE, реализацию функций FRMCS целесообразно рассматривать на основе именно этого стандарта и его модификаций LTE-Advanced и LTE-Advanced Pro с последующим постепенным переходом на технологии 5G [9].

## II. ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕТЕЙ СТАНДАРТА LTE

Сети стандарта LTE [10, 11] характеризуются усовершенствованной сетевой архитектурой и развитой системой пакетной передачи данных SAE/EPS, которая отличается меньшим количеством узлов по сравнению с сетями подвижной связи предшествующих поколений и, как следствие, значительным уменьшением времени задержки пакетов.

Сеть SAE/EPS включает развитую опорную сеть пакетной передачи данных EPC с возможностью выхода во внешние сети, развитую сеть наземного радиодоступа UMTS E-UTRAN и оборудование пользователей UE – подвижные станции. Сеть E-UTRAN состоит из усовершенствованных базовых станций eNode B, а сеть EPC включает в себя шлюз обслуживания S-GW, шлюз для выхода в сети с коммутацией пакетов P-GW, узлы управления мобильностью MME, которые совмещены с узлами управления передачей данных пользователя UPE и соединены с серверами домашних абонентов HSS, а также управляющий сервер PCRF.

Каналы передачи информации подразделяются на физические, транспортные и логические, при этом, логические каналы определяются типом информации и подразделяются на каналы управления (служебная информация) и каналы трафика (информация пользователей). Передача полезной пользовательской или служебной информации с более высокого на более низкий уровень происходит в результате «отображения» каналов: логических – на транспортные, транспортных – на физические.

Временной кадр имеет длительность 10 мс и содержит 20 временных интервалов длительностью 0,5 мс каждый. Каждые два последовательных интервала объединяются в субкадр длительностью 1 мс, а пять последовательных интервалов – в полуквадр длительностью 5 мс. В случае частотного дуплекса FDD все субкадры в «нисходящих» (от базовой к подвижной станции) и «восходящих» (от подвижной к базовой станции) линиях имеют одинаковую структуру. В случае временного дуплекса TDD одна и та же частота

используется для «нисходящих» и «восходящих» линий, поэтому часть субкадров используется для «нисходящей» линии, часть – для «восходящей».

Для борьбы с многолучевым распространением сигналов и вызываемой, в этой связи, межсимвольной интерференцией используется ортогональное частотное уплотнение OFDM, заключающееся в ортогональном разнесении поднесущих частот, каждая из которых является несущей для части «расщепленного» передаваемого символа. На этом методе основана технология множественного доступа с ортогональным частотным разделением каналов OFDMA, применяемая в «нисходящей» линии. В то же время, данная технология характеризуется высоким уровнем «пик-фактора» – отношением максимальной мощности сигнала к средней за определенный промежуток времени. С учетом данного обстоятельства, для уменьшения энергопотребления подвижных станций в «восходящей» линии используется технология множественного доступа с частотным разделением каналов с одной несущей частотой SC-FDMA, когда сигналы передаются не одновременно на поднесущих частотах, а последовательно.

С учетом необходимости обеспечения доступа к более широкой полосе частот при сохранении обратной совместимости с сетями подвижной связи предшествующих поколений, применяется технология агрегации несущих частот.

Для организации антенных систем используется технология MIMO [12], являющаяся наиболее эффективной среди других технологий пространственного разделения каналов, к которым также относятся технологии SISO, SIMO, MISO.

Вид модуляции (манипуляции) выбирается адаптивно, притом, выбор основан на отношении «сигнал/шум» или интенсивности ошибок на бит при приеме «пилотных» сигналов и предполагает следующие варианты:

- бинарная (двоичная) фазовая манипуляция BPSK – одним изменением фазы несущего сигнала кодируется один бит (всего таких возможных кодовых комбинаций две: 0, 1);
- квадратурная фазовая манипуляция QPSK – одним изменением фазы несущего сигнала кодируется два бита (всего четыре возможные комбинации: 00, 01, 10, 11);
- 8-ми позиционная фазовая манипуляция 8PSK – одним изменением фазы несущего сигнала кодируется три бита (восемь возможных комбинаций: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111);
- квадратурная амплитудная модуляция QAM (16QAM, 64QAM, 256QAM) – является разновидностью амплитудной модуляции и представляет собой сумму двух модулируемых (несущих) сигналов одной частоты, сдвинутых по фазе друг относительно друга на 90°, при этом, каждый сигнал модулирован по амплитуде своим модулирующим (информационным) сигналом.

### III. ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К БУДУЩЕЙ СИСТЕМЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

Таким образом, сети стандарта LTE 4G, а впоследствии и сети 5G, обладают необходимыми техническими возможностями для реализации функционала системы FRMCS с учетом прикладной специфики железных дорог.

Одним из актуальных вопросов стандартизации перехода к FRMCS является вопрос безопасности, поскольку от уровня безопасности телекоммуникационных систем непосредственно зависит безопасность и надежность перевозочного процесса в целом [13–15].

Использование современных технологий подвижной связи как для организации технологической железнодорожной радиосвязи, так и в системах автоматизации движения поездов должно осуществляться в соответствии с требованиями по безотказности, готовности, ремонтпригодности, безопасности RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) и стоимости жизненного цикла LCC (Life Cycle Cost) на основе последних версий международных стандартов IEC 62278, IEC 62279, IEC 62425, а также IEC 60300-3-3 и руководств по их применению. Необходимо отдельно выделить стандарт IEC 62280, который содержит требования по безопасной передаче данных в сетях железнодорожной электросвязи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Плеханов П.А. Стандартизация требований для систем беспроводной связи / П.А. Плеханов, Д.Н. Роенков // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 4. С. 38-42.
- [5] 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.
- [6] Роенков Д.Н. Беспроводная связь для высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург / Д.Н. Роенков, П.А. Плеханов // Автоматика, связь, информатика. 2021. № 12. С. 11-13.
- [7] Плеханов П.А. Подвижная связь 5G / П.А. Плеханов, Д.Н. Роенков // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 5. С. 8-12.
- [8] Роенков Д.Н. Мобильные сети поколения 5G: перспективы применения / Д.Н. Роенков, П.А. Плеханов // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 10. С. 2-7.
- [9] Плеханов П.А. Переход к будущей железнодорожной системе подвижной связи / П.А. Плеханов, Д.Н. Роенков // Автоматика, связь, информатика. 2021. № 5. С. 6-11.
- [10] Плеханов П.А. Беспроводные инфокоммуникационные сети на железнодорожном транспорте. СПб.: ПГУПС, 2014. 55 с.
- [11] Плеханов П.А. Цифровые системы подвижной связи на железнодорожном транспорте / П.А. Плеханов, Д.Н. Роенков. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. 41 с.
- [12] Роенков Д.Н. Технология MIMO для подвижной связи 5G / Д.Н. Роенков, П.А. Плеханов // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 8. С. 21-25.
- [13] Шматченко В.В. Управление безопасностью субъектов предпринимательства / В.В. Шматченко, П.А. Плеханов, В.Г. Иванов, В.В. Коношков // Экономическое возрождение России. 2009. № 4. С. 25-28.
- [14] Красковский А.Е. Комплексная оценка рисков для безопасности движения / А.Е. Красковский, Д.И. Рогоза, П.А. Плеханов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2011. № 1 (26). С. 54-65.
- [15] Плеханов П.А. Проблема формирования требований к качеству и безопасности перевозочных услуг железнодорожного транспорта // Экономика железных дорог. 2015. № 10. С. 20-27.