

О судьбе железнодорожной сигнализации GSM-R

М.А. Шнепс-Шнеппе, В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот

Аннотация— Настоящая статья посвящена обсуждению железнодорожной сигнализации по стандарту GSM-R. В настоящее время производители оборудования рекламируют новейшее направление мобильной связи 5G, напоминая, что стандарты GSM-R будут поддерживаться только до 2030 г. Цель статьи – разобраться с состоянием практического применения GSM-R и обсудить возможную политику Российских железных дорог. Подробно обсуждаются пути обновления GSM-R в Великобритании. Поставщиком поездного радио для Великобритании является компания Siemens. За прошедшие годы продукт (модель V3.6) был усовершенствован до очень высокого уровня надежности. Чтобы преодолеть проблему помех, радиостанции оснащены приемопередатчиком, имеющим значительно улучшенные фильтры, которые резко отсекают соседние части спектра (модель V4). Рассмотрена Европейская программа скоростных железных дорог TEN-T и ее расширение за счет программы «Восточное партнерство», в частности на примерах Беларуси, Республики Молдова и Украины. Развитие железнодорожной радиосвязи в России сегодня осуществляется по двум направлениям: внедрение цифровых систем радиосвязи и передачи данных стандарта DMR в частотном диапазоне 160 МГц и стандарта GSM-R в диапазоне 900 МГц. По нашему мнению, российские производители вполне могли бы освоить собственное производство оборудования сетей GSM-R. Они способны разработать технику высокоточной фильтрации радиосигналов с целью устранения интерференции с другими системами в близких частотных диапазонах.

Ключевые слова— железнодорожная сигнализация, GSM-R, DMR, скоростные железные дороги, программа TEN-T, Восточное партнерство, производство оборудования GSM-R.

I. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья является продолжением нашей предыдущей работы [1] о перспективах сети GSM-R, из которой перенесем рис. 1, и который предвещает скорый отказ от технологии GSM-R. В настоящее время производители оборудования во всем мире широко рекламируют новейшее направление мобильной связи 5G, обещающее принести многомиллиардные прибыли

и не перестают напоминать, что стандарты GSM-R будут поддерживаться только до 2030 г. Цель статьи – разобраться с состоянием практического применения GSM-R и обсудить возможную политику Российских железных дорог. Стоит ли поддаваться панике и отказываться от GSM-R?

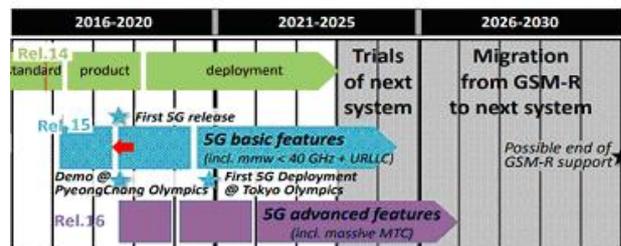


Рис. 1. Дорожная карта развития стандартов 5G (Rel. 14, 15 и 16) и предсказание «смерти» GSM-R в 2030 г. [1]

В настоящее время ведутся работы по созданию основы для новой стандартизированной железнодорожной телекоммуникационной сети, которая заменит GSM-R, начиная с 2021 или 2022 года. Но сохраняется большая неопределенность в отношении технологии, которую будет использовать эта новая сеть, и того, готов ли железнодорожный сектор к замене существующих сетей 2G.

Напомним, что GSM-R - это телекоммуникационная система второго поколения, она сильно отстает от современной технологии 4G, не говоря уже о 5G, которая, как ожидается, появится примерно в 2020 году (рис. 1). И хотя провайдеры взяли на себя обязательство поддерживать GSM-R до 2030 года, но уже после 2020 года менеджерам будет все труднее и дороже сохранять инфраструктуру и ее качество обслуживания.

Стоит признать, что и в России наблюдается определенная растерянность по поводу GSM-R. Косвенным тому свидетельством является государственная программа "Цифровая экономика Российской Федерации"[2]. В ней призывается к широкому внедрению сетей 5G (хотя, честно говоря, у отечественной промышленности нет предпосылок для производства столь сложного оборудования в России). Вот фрагмент из "дорожной карте" Программы по направлению – «Информационная инфраструктура» (Таблица 1).

Статья получена 21 мая 2019.

М.А. Шнепс-Шнеппе – AbavaNet (email: sneps@mail.ru)

В.П. Куприяновский - МГУ имени М.В. Ломоносова; Центр цифровых высокоскоростных транспортных систем РУТ (МИИТ) (email: v.kupriyanovsky@rut.digital)

Д.Е. Намиот - МГУ имени М.В. Ломоносова; РУТ (МИИТ) (e-mail: dnamiot@gmail.com).

Таблица 1. Работы по направлению «Информационная инфраструктура» [2]

Целевое состояние	Задачи по направлению «Информационная инфраструктура»
2018	- определен частотный ресурс для развертывания сетей 5G, - утверждена генеральная схема размещения центров обработки данных и создана система льгот и преференций, создающих условия для вложения частных инвестиций во все объекты информационной инфраструктуры
2020	- все федеральные автомобильные дороги покрыты сетями связи с возможностью беспроводной передачи данных, - сети связи 5G внедрены во всех городах с численностью населения более 1 млн. человек

Технические требования к системе GSM-R ОАО «Российские железные дороги» разработало давно - уже в 2011 г. [3], но с реализацией не спешит. Распоряжением правительства от 19 марта 2019 года №466-р утверждена долгосрочная программа развития ОАО «Российские железные дороги» до 2025 года [12]; программой, в частности, предусматривается переход на «цифровую железную дорогу», но в новейших документах по цифровой железной дороге [4] система GSM-R даже не упоминается (см., например, рис. 2).



Рис. 2. Проект «Цифровая железная дорога» [4]

Проект «Цифровая железная дорога», по всей вероятности, компания «Российские железные дороги» реализует в сотрудничестве с Huawei Technologies. Huawei Technologies уже предлагает совместимое с GSM-R оборудование LTE. На рис. 3 показана стратегия Huawei Technologies, которая состоит из трех этапов [5]:

- (1) только сеть GSM-R;
- (2) параллельная работа сетей GSM-R и LTE: GSM-R обеспечивает надежную (зашифрованную) связь для

управления поездами, LTE передает незащищенные данные;

- (3) создается единая LTE для железнодорожной платформы.

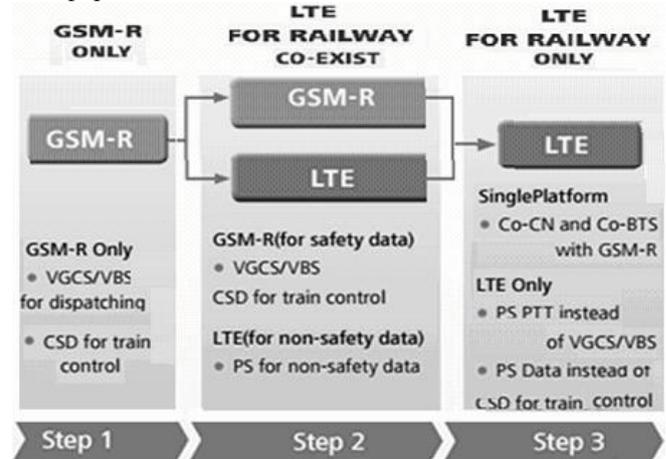


Рис. 3. Стратегия Huawei Technologies [5]

Далее в статье в Разделе 2 обсуждаются пути обновления GSM-R (на опыте Siemens). Раздел 3 посвящен Европейской программе скоростных железных дорог TEN-T, Раздел 4 - расширению рынка GSM-R за счет программы «Восточное партнерство». В заключении (Раздел 5) призываем к разработке и производству оборудования GSM-R российскими производителями.

II. О НЕОБХОДИМОСТИ ОБНОВЛЕНИЯ GSM-R (ОПЫТ SIEMENS)

Рассмотрим опыт Великобритании. Сеть GSM-R в Англии, Уэльсе и Шотландии полностью функционирует с 2015 года и в настоящее время включает в себя две MSC (главные коммутационные станции), 3000+ мачт и базовых станций, 9500+ радиоприемников в кабинах водителей, 4500 подключенных поездов и 900 терминалов сигнализации, - это все покрывают около 15000 км железной дороги [6].

Инженеры Великобритании интенсивно работают над усовершенствованием сети GSM-R, в первую очередь – устранению помех из-за интерференции [7]. Радиопомехи в сети GSM-R проявляются по-разному. В Великобритании были замечены три вида неисправностей:

- Радио в кабине водителя переходит в режим поиска, вызывая блокировку и требуя повторного запуска, что занимает несколько минут, в течение которых поезд не может совершать или принимать экстренные вызовы;
- Радио перезагружается само по себе, что приводит к остановке поезда;
- Экран радио в кабине внезапно гаснет, что снова требует повторного запуска.

Если эти случаи бывают очень редкими, то их можно считать разумной оценкой риска и с ним следует мириться. В настоящее время число инцидентов составляет 240 в год, которые требуют остановки поезда во время перезагрузки или повторной инициализации,

приводят к задержке поезда на две-три минуты. В общей сложности это приводит к тому, что около 8000 минут задержки поездов связаны с проблемами помех GSM-R.

Как эту проблему решить? Поставщиком поездного радио для Великобритании является компания Siemens. За прошедшие годы продукт (в настоящее время модель V3.6) был усовершенствован до очень высокого уровня надежности, теперь он достигает 378 000 часов среднего времени наработки на отказ для каждого устройства. Чтобы преодолеть проблему помех, эти радиостанции должны быть оснащены приемопередатчиком, имеющим значительно улучшенные фильтры, которые резко отсекают соседние части спектра.



Рис. 4. Внешний вид новейшей аппаратуры GSM-R (Class 43 cab)

Новейшая аппаратура относится к версии V4, которая является значительно надежнее (рис. 4). Компания Network Rail [8] предоставила Siemens Mobility 36 миллионов евро на модернизацию поездного радио GSM-R для всего парка подвижного состава Великобритании. Модернизация начнется в октябре 2019 г., и в течение следующих 30 месяцев будет обновлена каждая из 9 052 водительских кабин, работа будет завершена в марте 2022 года. Каждый поезд будет оборудован радиоуправляемой кабиной модели Siemens Mobility V4.0, которая обеспечит операторам поездов улучшенную стойкость к помехам, качество связи и производительность. Siemens Mobility завершила серию испытаний с Network Rail, чтобы продемонстрировать и доказать программное обеспечение GB версии 4.0 и аппаратное обеспечение Nexus. Испытания проводились на более чем 100 поездах в течение двухмесячного периода и были успешно завершены в январе 2019 года. Среднее время между отказами превысило 50 000 часов.

Железнодорожные телекоммуникации в Европе с начала века кардинально изменились. Из 35 отдельных аналоговых систем в 2000 году в большей части европейской железнодорожной сети в настоящее время существует единая система железнодорожной связи GSM-R. Но GSM-R - это телекоммуникационная система второго поколения. Она сильно отстает от современной технологии 4G, не говоря уже о 5G, которая, как ожидается, появится примерно в 2020 году

[9]. Поэтому ведутся поиски модернизации GSM-R с целью плавного перехода к IP-системе [6].

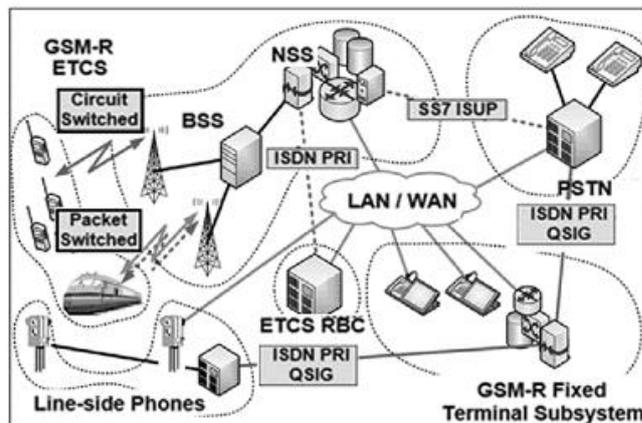


Рис. 5. Сети GSM-R с коммутацией каналов постепенно превращаются в IP-системы [6].

III. ЕВРОПЕЙСКАЯ ПРОГРАММА СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

К 2016 году систему GSM-R использовали в 60 странах на пяти континентах мира, и в Европе было покрыто более 100 000 км линий [5]. GSM-R стал эталонной технологией связи на железных дорогах к сегодняшнему дню. Но эволюция спроса и появление новых технологий стимулируют исследования альтернативных решений. В 2013 году Европейская комиссия объявила о деталях «самого радикального пересмотра политики ЕС в области инфраструктуры с момента ее создания в 1980-х годах» под названием сеть TEN-T, изложив планы по вложению основных инвестиций в транспортную инфраструктуру в девяти трансъевропейских коридорах [10]:

- 1) Балтика-Адриатика (Baltic-Adriatic)
- 2) Сев.море-Балтика (North Sea-Baltic)
- 3) Средиземноморье (Mediterranean)
- 4) Восток/Вост.Ср-морье (Orient/East-Mediterranean)
- 5) Скандинавия- Средиземноморье (Scandinavian-Mediterranean)
- 6) Рейн Альпы (Rhine-Alpine)
- 7) Атлантика (Atlantic)
- 8) Сев.море- Средиземноморье (North Sea-Mediterranean)
- 9) Коридор Рейн-Дунай (Rhine-Danube Corridor)

Основная сеть TEN-T состоит из двух основных коридоров север-юг, трех восточно-западных и четырех диагональных коридоров и должна быть завершена к 2030 году (рис. 5). Базовая сеть соединит 94 крупных порта с железнодорожным и автомобильным сообщением и обеспечит 38 ключевых аэропортов железнодорожным сообщением с крупными городами. Сеть TEN-T включает в себя 15 000 км модернизированной железной дороги и 35 трансграничных проектов по устранению узких мест.



Рис. 6. Девять скоростных железнодорожных коридоров сети TEN-T в Европе [10]

В обзоре [11] рассмотрены различные аспекты экономической выгоды сети TEN-T. Для Западной и Центральной Европы (Бенилюкс, Германия, Франция) изменения длительности путешествия составляет менее 15% в 2030 году по сравнению с базовым сценарием. В Восточной же Европе улучшения достигают более 45% в определенных случаях. Более сильные улучшения в железнодорожных грузовых перевозках отражают реализацию проектов, целью которых является сделать железнодорожные грузовые перевозки на большие расстояния конкурентоспособными с автомобильными.

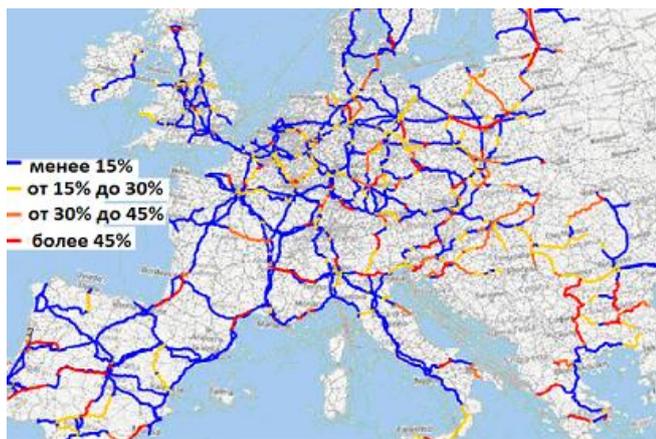


Рис. 7. Изменения времени в пути следования пассажиров поездом к 2030 году [11].

IV. ВОСТОЧНОЕ ПАРТНЕРСТВО КАК РАСШИРЕНИЕ РЫНКА GSM-R

Восточное партнерство - это совместная политическая инициатива, направленная на углубление и укрепление отношений между Европейским союзом (ЕС), его

государствами-членами и шестью восточными соседями: Арменией, Азербайджаном, Беларусью, Грузией, Республикой Молдова и Украиной. Мы остановимся только на проектах железных дорог [12].

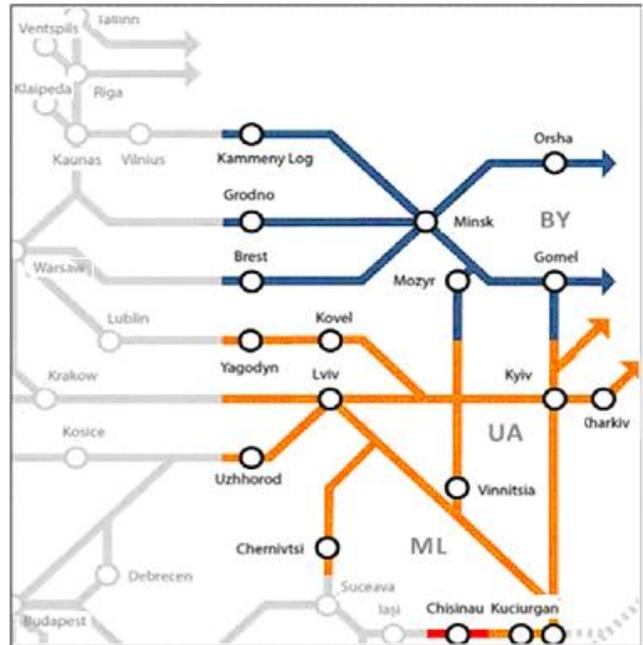


Рис. 8. Основные направления расширения сети TEN-T в Восточной Европе [12]

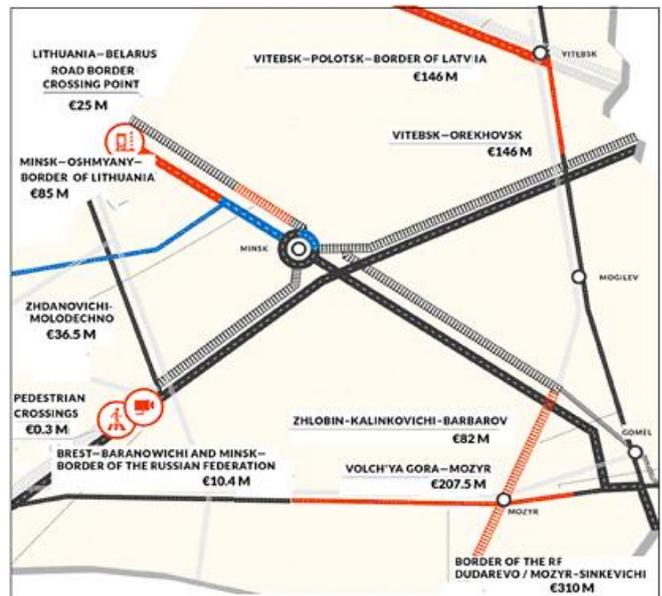


Рис. 9. Беларусь: железнодорожные приоритетные проекты [12]



Рис. 10. Украина: железнодорожные и автомобильные приоритетные проекты [12]



Рис. 11. Республика Молдова: приоритетные железнодорожные и логистические проекты [12]

О политической подоплеке проекта Восточное партнёрство. Идея проекта Восточное партнёрство была представлена министром иностранных дел Польши при участии Швеции на Совете ЕС по общим вопросам и внешним связям 26 мая 2008 года. В мае 2019 года в Брюсселе прошла конференция в честь 10-летия программы «Восточное партнёрство».

Российские эксперты полагают, что данный проект бросает вызов российским интересам в регионе. Поскольку Восточное партнёрство появилось как польская инициатива, то проект может скрывать антироссийские геополитические амбиции. По мнению российских экспертов, наиболее приоритетным компонентом новой инициативы является его энергетическая «составляющая» — в частности, создание альтернативных России путей энергоснабжения Европы.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ПОРА ПРИНИМАТЬ РЕШЕНИЯ

2017 год. Игорь Розенберг, д.т.н., генеральный директор ОАО «НИИАС», в 2017 году описал состояние дел в газете Гудок [13]:

Проектно-изыскательские работы на ВСМ Москва – Казань близятся к завершению. Проектная документация на первый участок Москва – Нижний Новгород уже передана Главгосэкспертизе. Единое информационное пространство ОАО «РЖД» создаётся на базе современных цифровых телекоммуникационных сетей. Их базовым элементом являются магистральные и дорожные волоконно-оптические линии связи, которые прокладывались в 1990–2000 годы.

Позже была разработана технология нового поколения цифровой технологической связи, основанная на применении пакетной коммутации (IP-технологии). Это позволило организовать все виды оперативно-технологической и обще-технологической связи на единой аппаратно-программной платформе. Вместо отдельных коммутационных станций для каждого вида связи теперь используется единый телекоммуникационный сервер, что существенно сокращает расходы на строительство и эксплуатацию. В связи с очевидными преимуществами ОАО «РЖД» приняло решение о внедрении данной технологии при модернизации и новом строительстве сетей технологической связи. Именно эта технология заложена и в проект ВСМ Москва – Казань.

Развитие железнодорожной радиосвязи сегодня осуществляется по двум направлениям: внедрение цифровых систем радиосвязи и передачи данных стандарта DMR в частотном диапазоне 160 МГц и стандарта GSM-R в диапазоне 900 МГц. Системой GSM-R оборудованы участки Туапсе – Адлер – Альпика-Сервис Северо-Кавказской железной дороги и участок Санкт-Петербург – Бусловская Октябрьской магистрали.

Важнейшие задачи стоят перед институтом и в рамках реализации глобального проекта ОАО «РЖД» – создания в России цифровой железной дороги. В этом проекте средствами телекоммуникаций обеспечивается взаимодействие центров управления, объектов инфраструктуры и подвижного состава в процессе перевозок, работа средств радиосвязи при интервальном регулировании движения поездов, а также реализация промышленного «интернета вещей» на железнодорожном транспорте.

При создании цифровой железной дороги необходимо освоить перспективный стандарт радиосвязи LTE. Это позволит увеличить скорость передачи данных и расширить спектр услуг связи. Первые шаги по применению систем LTE на железнодорожном транспорте были сделаны при проведении испытаний на участке Москва-Павелецкая – пл. ЗИЛ Московской дороги в прошлом году. Эта работа будет продолжена.

2018 год. Правительство подготовило документ, разрешающий «Российским железным дорогам» (РЖД) использовать полосы радиочастот 876-880 МГц и 921-

925 МГц под транкинговую связь стандарта GSM-R [14]. Согласно документу, изменения будут вноситься в таблицу распределения полос частот, утвержденную в июле 2006 г. В раздел «Распределение полос радиочастот между радиослужбами» добавлен новый пункт, согласно которому полосы частот 876-880 МГц и 921-925 МГц (стандарт GSM-R) смогут использоваться на вторичной основе цифровыми системами технологической сухопутной подвижности радиосвязи на сети железных дорог России. Пока эти частоты используются аэронавигационным оборудованием, и действующая таблица использования радиочастот 876-880 МГц и 921-925 МГц не предусматривает возможности использования средствами сухопутной подвижной радиосвязи.

В России, в отличие от Европы, до сих пор окончательно не выбрана система для перехода железных дорог на унифицированную цифровую связь. В 2001 г. на опытном участке Екатеринбург - Камышлов протяженностью 153 км было развернуто две сети: GSM-R и TETRA. Поставщиками оборудования выступили Siemens (GSM-R) и Rode & Schwarz (TETRA). По результатам испытаний российские эксперты пришли к выводу, что обе системы имеют право на жизнь и у каждой есть свои преимущества и недостатки. В то же время, масштабное решение на базе TETRA может оказаться более затратным, нежели развертывание системы GSM-R. Уже тогда некоторые представители министерства путей сообщения заявляли, что вероятнее всего чаша весов склонится в пользу GSM-R.

2019 год. По нашему мнению, российские производители вполне могли бы освоить собственное производство оборудования сетей GSM-R. Способны разработать технику высокоточной фильтрации радиосигналов с целью устранения интерференции с другими системами в близких частотных диапазонах. Одним словом, пора принимать решения!

Замечание. Настоящая работа является продолжением серии статей по цифровой железной дороге, напечатанных на страницах журнала «International Journal of Open Information Technologies»,

например, [15] и [16].

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] М.А. Шнепс-Шнеппе «О перспективах сети GSM-R для цифровой железной дороги»// International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т.4. – №. 12. – С. 32-42
- [2] Программа "Цифровая экономика Российской Федерации". Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 N 1632-р
- [3] Технические требования к цифровой системе технологической радиосвязи стандарта GSM-R открытого акционерного общества «российские железные дороги», Москва, 2011.
- [4] В. Рябова Утвержден план перехода РЖД на «цифровую железную дорогу». 21.03.2019. <http://d-russia.ru/utverzhdyon-plan-perehoda-rzhd-na-tsifrovuyu-zheleznuyu-dorogu.html>
- [5] Gao Tingting ; Sun Bin. A high-speed railway mobile communication system based on LTE //Electronics and Information Engineering (ICEIE), 2010 International Conference On, 1-3 Aug. 2010. DOI: 10.1109/ICEIE.2010.5559665.
- [6] C. Kessell. GSM-R: a migration strategy to its successor. <https://www.railengineer.co.uk/2019/01/30/gsm-r-a-migration-strategy-to-its-successor/>
- [7] C. Kessell. A Necessary GSM-R Mobile Upgrade. <https://www.railengineer.co.uk/2019/03/13/a-necessary-gsm-r-mobile-upgrade/>
- [8] Siemens Mobility to upgrade Network Rail' GSM-R cab radios. April 26, 2019. <https://www.railwaypro.com/wp/siemens-mobility-to-upgrade-network-rail-gsm-r-cab-radios/>
- [9] K. Smith. Beyond GSM-R: the future of railway radio. March 01, 2017 <http://www.railjournal.com/index.php/telecoms/beyond-gsm-r-the-future-of-railway-radio.html>
- [10] Future EU transport infrastructure policy to focus on TEN-T corridors. Railway Gazette. 22 Oct 2013
- [11] The impact of TEN-T completion on growth, jobs and the environment FINAL REPORT - Part I Karlsruhe, 16.07.2018
- [12] Eastern Partnership: Indicative TEN-T Investment Action Plan. 16-01-2019
- [13] И. Розенберг Цифровая дорога выходит на связь. Гудок, Выпуск № 88. 31.05.2017. <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1375212&archive=2017.05.31>
- [14] РЖД все же переходят на стандарт GSM-R. 28 июля 2018. <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/news/29536/29541/doc/45881/>
- [15] Куприяновский В.П., Сукольников Г.В., Ярцев Д.И., Кононов В.В., Сиягов С.А., Намиот Д.Е., Добрынин А.П. Цифровая железная дорога - целостная информационная модель, как основа цифровой трансформации // International Journal of Open Information Technologies. 2016. – Т. 4. – №10. - С.32-42.
- [16] М.А. Шнепс-Шнеппе, В.П. Куприяновский, Мобильная сеть GSM-R — основа цифровой железной дороги// Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2016. – Т.12. - №1. – С. 222-231.

About the fate of the GSM-R alarm system

Manfred Sneps-Sneppe, Vasily Kupriyanovsky, Dmitry Namiot

Abstract— This article is devoted to the discussion of railway signaling according to the GSM-R standard. Currently, equipment manufacturers are advertising the newest direction of mobile communication 5G, recalling that GSM-R standards will be maintained only until 2030. The purpose of the article is to deal with the state of practical use of GSM-R and discuss the possible policy of Russian Railways. The ways of updating GSM-R in the UK are discussed in detail. The supplier of train radio for the UK is Siemens. Over the years, the product (model V3.6) has been improved to a very high level of reliability. To overcome the problem of interference, the radio stations are equipped with a transceiver, which has significantly improved filters that sharply cut off the adjacent parts of the spectrum (model V4). The European High-Speed Railway Program TEN-T and its expansion at the expense of the Eastern Partnership program were considered, in particular, by the examples of Belarus, the Republic of Moldova and Ukraine. The development of railway radio communication in Russia today is carried out in two directions: the introduction of digital radio communication systems and data transmission of the DMR standard in the 160 MHz frequency band and the GSM-R standard in the 900 MHz band. In our opinion, Russian manufacturers could well master their own production of GSM-R equipment. They are able to develop a technique of high-precision filtering of radio signals in order to eliminate interference with other systems in close frequency ranges.

Keywords— railway signaling, GSM-R, DMR, high-speed railways, TEN-T program, Eastern Partnership, manufacturing equipment GSM-R.

REFERENCES

- [1] M.A. Shneps-Shneppe "O perspektivah seti GSM-R dlja cifrovoj zheleznoj dorogi"// International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T.4. – #. 12. – S. 32-42
- [2] Programma "Cifrovaja jekonomika Rossijskoj Federacii". Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 28.07.2017 N 1632-r
- [3] Tehnicheskie trebovanija k cifrovoj sisteme tehnologicheskoy radiosvjazi standarta GSM-R otkrytogo akcionernogo obshhestva «rossijskie zheleznye dorogi», Moskva, 2011.
- [4] V. Rjabova Utverzhdjon plan perehoda RZhD na «cifrovuju zheleznuju dorogu». 21.03.2019. <http://d-russia.ru/utverzhdyon-plan-perehoda-rzhd-na-tsifrovuyu-zheleznyu-dorogu.html>
- [5] Gao Tingting ; Sun Bin. A high-speed railway mobile communication system based on LTE //Electronics and Information Engineering (ICEIE), 2010 International Conference On, 1-3 Aug. 2010. DOI: 10.1109/ICEIE.2010.5559665.
- [6] C. Kessell. GSM-R: a migration strategy to its successor. <https://www.railengineer.co.uk/2019/01/30/gsm-r-a-migration-strategy-to-its-successor/>
- [7] C. Kessell. A Necessary GSM-R Mobile Upgrade. <https://www.railengineer.co.uk/2019/03/13/a-necessary-gsm-r-mobile-upgrade/>
- [8] Siemens Mobility to upgrade Network Rail' GSM-R cab radios. April 26, 2019. <https://www.railwaypro.com/wp/siemens-mobility-to-upgrade-network-rail-gsm-r-cab-radios/>
- [9] K. Smith. Beyond GSM-R: the future of railway radio. March 01, 2017 <http://www.railjournal.com/index.php/telecoms/beyond-gsm-r-the-future-of-railway-radio.html>
- [10] Future EU transport infrastructure policy to focus on TEN-T corridors. Railway Gazette. 22 Oct 2013
- [11] The impact of TEN-T completion on growth, jobs and the environment FINAL REPORT - Part I Karlsruhe, 16.07.2018
- [12] Eastern Partnership: Indicative TEN-T Investment Action Plan. 16-01-2019
- [13] I. Rozenberg Cifrovaja doroga vyhodit na svjaz'. Gudok, Vypusk # 88. 31.05.2017. <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1375212&archive=2017.05.31>
- [14] RZhD vse zhe perehodjat na standart GSM-R. 28 ijulja 2018. <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/news/29536/29541/doc/45881/>
- [15] Kuprijanovskij V.P., Sukonnikov G.V., Jarcev D.I., Kononov V.V., Sinjagov S.A., Namiot D.E., Dobrynin A.P. Cifrovaja zheleznoj doroga - celostnaja informacionnaja model', kak osnova cifrovoj transformacii // International Journal of Open Information Technologies. 2016. – T. 4. – #10. - S.32-42.
- [16] M.A. Shneps-Shneppe, V.P. Kuprijanovskij, Mobil'naja set' GSM-R — osnova cifrovoj zheleznoj dorogi// Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie. – 2016. – T.12. - #1. – S. 222-231.