

Шнепс-Шнеппе М.А.¹, Куприяновский В.П.²

¹ ООО «ЦКБ-Абаванет», г. Москва, Россия

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

МОБИЛЬНАЯ СЕТЬ GSM-R — ОСНОВА ЦИФРОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются основы организации и построения систем связи для цифровой железной дороги. Рассмотрение касается как самой идеи сети GSM-R, так и сервисов на этой сети. В статье показана важнейшая роль телефонной сигнализации SS7 и архитектуры интеллектуальных сетей в системе GSM-R. В работе также перечислены первые примеры сетей GSM-R в России и ближайшие задачи российских связистов в области внедрения технологии GSM-R.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Сеть GSM-R; сервисы GSM-R; SS7; интеллектуальная сеть.

Manfred Sneys-Sneppe¹, Vasily Kupriyanovsky²

¹ Abavanet, Moscow, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

GSM-R MOBILE NETWORK AS A BASIS FOR DIGITAL RAILWAY

ABSTRACT

The article covers the basics of organization and construction of communication systems for a digital railway. This paper targets the basics and original ideas of GSM-R network as well as services on this network. The article shows the crucial role of SS7 telephone signaling and architecture of intelligent networks in the GSM-R system. The paper lists also examples of the first GSM-R network in Russia and the Russian signalers' immediate tasks in the implementation of GSM-R technology.

KEYWORDS

GSM-R network; GSM-R services; SS7; intelligent network.

Введение

Железные дороги относятся к критической инфраструктуре транспортной отрасли любого государства. Это зафиксировано в документах Европейского Комиссии [1], а также в документах Министерства внутренней безопасности США (US Department of Homeland Security) [2]. Тем более это относится к России с ее Транссибом как главной инфраструктурой, объединяющей страну.

В Европе имеется 35 разных систем коммуникаций на железных дорогах. Чтобы обеспечить взаимодействие между дорогами и странами, было принято решение о создании мобильной сети для железной дороги. В качестве основы выбрали стандарт GSM института ETSI, опубликованный в 1987 г. Через десять лет работы появился стандарт для мобильной сети GSM-R (GSM-Rail). Стандарт GSM-R создавался путем внесения специализированных функций и свойств в стандарт GSM.

В настоящее время внедряется Европейская система управления железнодорожным движением (European Railway Traffic Management System, ERTMS), которая состоит из двух частей:

1) Европейская система управления движением поезда (European Train Control System, ETCS), стандарт для управления движением поездов в кабине, и

2) GSM-R, стандарт мобильной связи GSM для железнодорожных перевозок. GSM-R обеспечивает защищенную голосовую связь и передачу данных между железнодорожными службами и поездами [3].

Для системы GSM-R выделена полоса шириной 4 МГц в диапазоне 876–880 МГц для передачи от подвижной к базовой станции и 921–925 МГц для передачи от базовой к подвижной станции. В этой полосе можно разместить до 19 временных каналов полосой по 200 кГц с частотно-временным разделением.

Сети GSM-R в Европе создаются по требованиям EIRENE (European Integrated Railway Radio

Enhanced Network — европейская интегрированная железнодорожная сеть радиосвязи), что обеспечивает в частности набор сервисов, эксплуатационную совместимость и координацию частот [4,5].

Настоящая работа является продолжением статей по цифровой железной дороге [6-8]. Далее, в разделе 2 рассмотрена основная идея GSM-R, а в разделе 3 - сервисы GSM-R. В разделе 4 показана важнейшую роль телефонной сигнализации SS7 и архитектуры интеллектуальных сетей в системе GSM-R. Статья завершается перечислением первых примеров сетей GSM-R в России и попыткой сформулировать ближайшие задачи российских связистов в области технологии GSM-R.

Основная идея GSM-R

В системе ERTMS для управления поезда можно выделить три составные части:

1) компьютер в кабине машиниста - Eurocab, который связан с терминалом GSM-R, установленном на поезде;

2) евротеги (Eurobalises) или, другими словами, путевые приемопередатчики, по которым определяются: местоположение и скорость поезда, а также характеристики пути в данном месте: кривизна пути, ограничения по скорости и т.д.;

3) Euroradio, система непрерывной радиосвязи между поездом и центром управления по сети GSM-R.

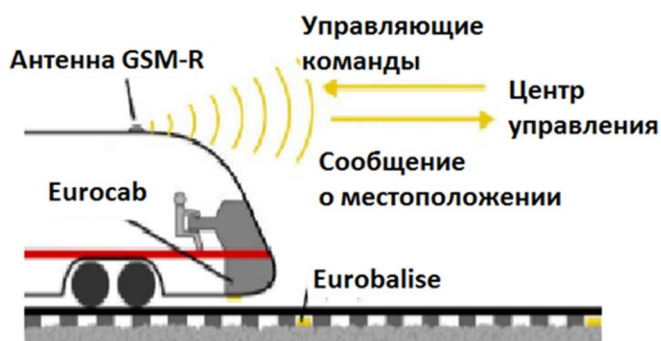


Рис. 1. Схема действия ERTMS



Рис. 2. Внешний вид евротегов (Eurobalises)

Вместо технического термина *путевой приемопередатчик* предлагаем использовать термин *тег* из компьютерной лексики. Тег — это идентификатор для описания и поиска данных и задания их внутренней структуры. Обычно используются парные теги — открывающий, или начальный, и закрывающий, или конечный. Теги на железной дороге тоже располагаются парами (рис. 2). Они действуют по принципу электромагнитной индукции: после получения высокочастотного питающего сигнала в ответ тег выдает записанное сообщение.

Пример. Trainguard Eurobalise, оборудование компании Siemens, имеет следующие параметры: питание тега передается на частоте 27,095 МГц, данные от тега передаются на частоте 4,234 МГц, длина телеграммы – 341 или 1023 бита, и передается она со скоростью 565 Кбит/с.

Важнейшим эффектом от использования сети GSM-R является увеличение пропускной способности путей. В настоящее время расстояние между поездами определяется заданным числом свободных блоков (Fixed block signalling). В сети GSM-R реализован новый метод CBTC (Communication Based Train Control): расстояние между поездами определяется заданным числом перемещающихся блоков (Moving block signalling), что позволяет (1) управлять безопасным расстоянием между следующими друг за другом поездами и (2) увеличивать пропускную способность путей до 40%.

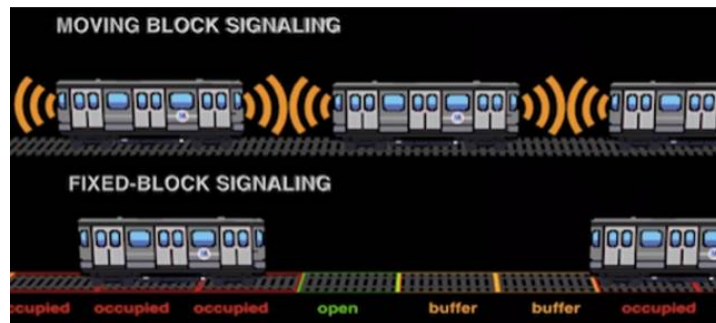


Рис. 3. Сравнение двух методов путевой сигнализации

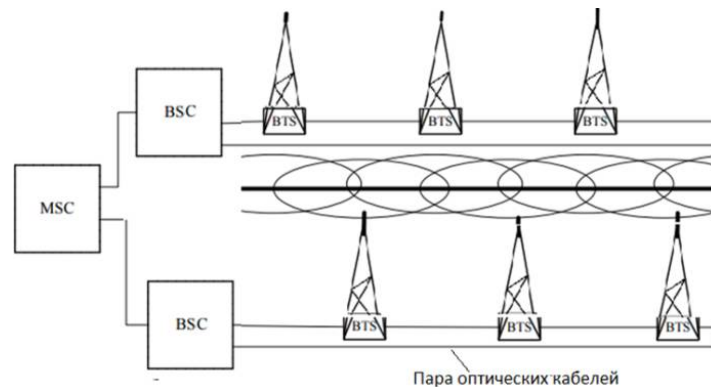


Рис. 4. Два набора чередующихся базовых станций BSC с кольцевым соединением по оптическим кабелям

На рис. 4 показаны три основных узла мобильной сети GSM-R (в сети GSM они выполняют те же функции):

- BTS - Базовая приемно-передающая станция обеспечивает радиосвязь в определенной зоне;
- BSC - Контроллер базовой станции выполняет множество функций: управление распределением каналов; контроль соединения и регулировка их очередности; модуляция и демодуляция сигналов; кодирование и декодирование сообщений; кодирование речи; адаптацию скорости передачи речи, данных и сигналов вызова; управление очередностью передачи сообщений персонального вызова;
- MSC - Центральный коммутатор подвижной связи (аналог крупного телефонного узла) обслуживает группу зон и обеспечивает все виды соединений с мобильными станциями.

На железной дороге требуется обеспечить высокие требования по надежности связи при высоких скоростях движения (до 500 км). Поэтому радиовышки BTS устанавливаются с 50%-м перекрытием зон соседних сот. Схематическое изображение данной топологии приведено на рис. 4. В результате расстояние между соседними вышками вдоль дороги составляет всего 7 – 15 км. Вдоль дороги проложены две пары оптических кабелей (тоже для надежности) для подключения двух рядов BTS. По требованиям EIRENE поездная бригада должна иметь соединение с центром управления непрерывно. В случае же потери связи поезд останавливается.

Пример. Объем работ по развертыванию сетей GSM-R характеризует следующий пример. По заказу компании DB Netz, оператора инфраструктуры железных дорог Германии, в настоящее время выдан заказ на оборудование новой системой 24 500 км железнодорожных линий. Генеральный подрядчик — компания Nortel Networks должен поставить оборудование для примерно 2700 базовых станций, 60 главных центров коммутации сообщений и 7 мобильных центров коммутации (MSC) для обеспечения работы 150 тыс. терминалов.

Сервисы GSM-R

GSM-R является закрытой сетью. В сети GSM-R каждый абонент имеет не только особый «функциональный» номер, который зависит от того, какую функцию выполняет данный абонент в процессе ЖД перевозок (диспетчер, машинист, начальник поезда, обходчик, сцепщик и т.п.), но и связанные с выполняемой функцией права осуществления вызова и приоритет обслуживания. Например, диспетчер имеет более высокий приоритет, чем остальные абоненты. Наивысший же приоритет имеет аварийный вызов. При появлении такого вызова от одного из абонентов на данном участке пути система обеспечивает разрыв соединений с более низким приоритетом и оповещение об аварийной ситуации.

Планом нумерации сети GSM-R предусматривается адресация практически всего персонала, участвующего в обеспечении процесса ЖД-перевозок, начиная от машиниста, начальника поезда, проводников до официантов вагона-ресторана. Для всех предусмотрена своя область в плане нумерации.

Сеть GSM-R становится платформой для многочисленных существующих и новых услуг (Таблица 1). Так, при помощи сети GSM-R станут доступны услуги телефонной связи и передачи данных, характерные для общедоступных сетей. Кроме того, сети, построенные по стандарту GSM-R, обладают рядом дополнительных свойств, которые позволяют удовлетворить особые потребности железных дорог за счет применения групповых (VGCS: Voice Group Call System) (рис. 5) и циркулярных (VBS: Voice Broadcast System) вызовов, а также механизма приоритетов (eMLPP) (рис. 6). Диспетчер может, например, вызвать все поезда, находящиеся в пределах зоны группового вызова, составленной из зон действия нескольких базовых радиостанций. В сети обеспечиваются пять уровней приоритетов (Multi-Level Precedence and Pre-emption Service, eMLPP) – от 0 до 4. Наивысший приоритет – нулевой, используется в основном для экстренных вызовов.

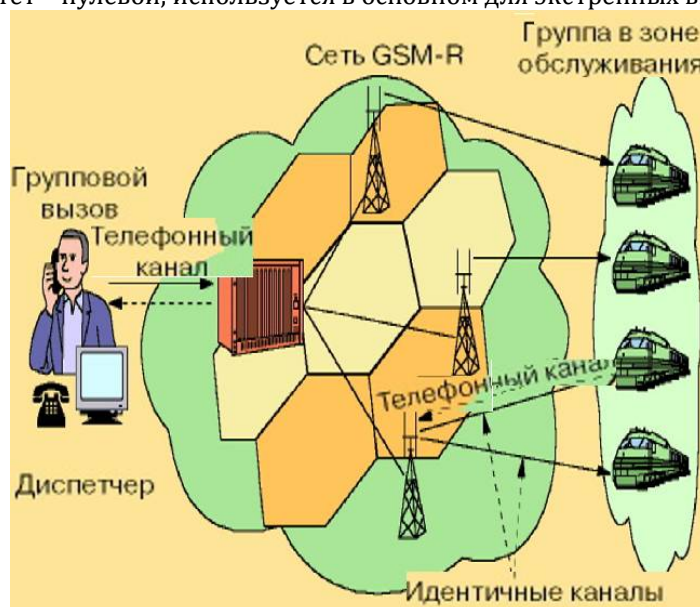


Рис. 5. Групповой вызов в сети GSM-R [9]

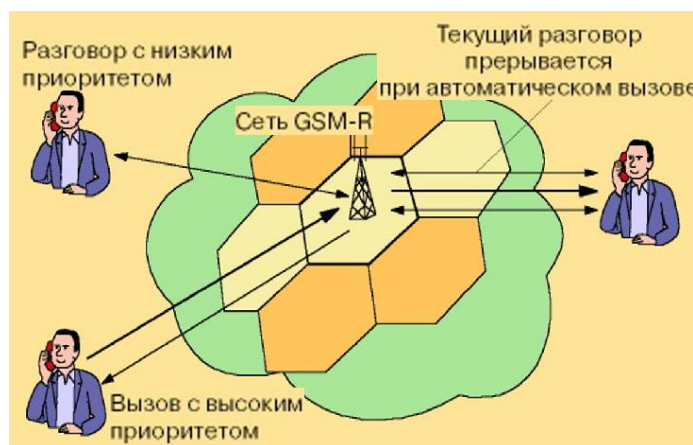


Рис. 6. Приоритетность и замещение вызовов [9]

В спецификациях EIRENE выделены следующие классы вызовов:

- PtP Call (Point-to-Point Call) - обычный вызов, как в сети GSM;
- VGCS (Voice Group Call System) - групповой вызов (в каждый момент говорит только один из группы);
- VBS (Voice Broadcast System) - режим вещания: один говорит, все остальные слушают;
- REC (Railways Emergency Call) - экстренный вызов по управлению движением (типа VGCS) с префиксом 299, обладает высшим приоритетом (0);
- SEC (Shunting Emergency Call) - экстренный вызов эксплуатации (типа VGCS) с префиксом 599, обладает высшим приоритетом (0).

Таблица 1. Основные требования EIRENE к сервисам GSM-R

Требования по железнодорожной сигнализации	Управление движением поездов Дистанционное управление
Оперативная речевая связь	Оперативная связь диспетчер-машинист Вещание в аварийной зоне Маневровая, станционная радиосвязь Оперативная связь машинист-машинист Технологическая железнодорожная связь Поездная радиосвязь Ремонтно-оперативная радиосвязь
Локальная и глобальная (не оперативная) связь для передачи речи и данных	Местная связь на станциях и в депо Глобальная связь
Обслуживание пассажиров	Услуги для пассажиров

Наиболее сложно реализовать интеллектуальные вызовы:

- функциональная адресация (Functional Addressing, FA) – вызов от абонента, о котором известна только его функция (например, машинист поезда с таким-то номером),
- адресация в зависимости от местоположения вызывающего абонента (Location Dependent Addressing, LDA) – например, вызов диспетчера машинистом поезда в движении,
- режим шунтирования (Shunting mode) – например, вызовы от бригады путевых работников.

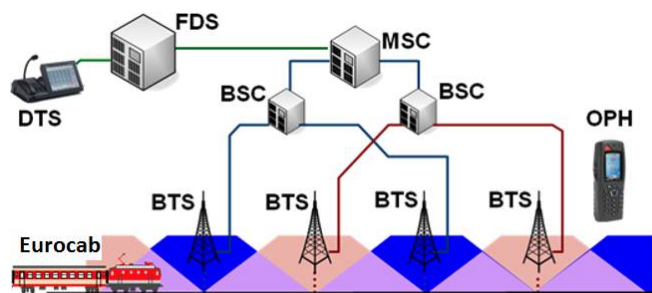


Рис. 7. Схема сети GSM-R

На рис. 7, кроме ранее упомянутых выше узлов BTS, BSC и MSC, имеются: FDS – коммутатор службы диспетчера, DTS – пульт диспетчера и OPH – носимый терминал для ремонтных подразделений и работников маневровых служб.



Рис. 8. Носимый терминал

Носимый терминал поддерживает основные типы вызовы: VBS, VGCS, eMLPP, интеллектуальный вызов функциональная адресация (Functional Addressing), поддерживает GPS. Кроме того, имеет важную функцию определения вертикальности (Verticality Detection). Если, например, обходчик, поскользнувшись, упал и потерял сознание, то трубка, закрепленная в специальном чехле, определит, что находится в горизонтальном положении без движения больше определенного времени и автоматически подаст сигнал оповещения – «Человек упал», и передаст в соответствующую службу свои GPS-координаты.

Сигнализация SS7 и интеллектуальная сеть в GSM-R

Обратим внимание на важнейшую роль телефонной сигнализации SS7 и архитектуры интеллектуальных сетей в системе GSM-R. Общекабельная система сигнализации № 7 (Signaling System No. 7, SS7) представляет собой своего рода «нервную систему» на сети GSM-R. Система каналов SS7 связывает не только узлы сети GSM-R между собой (рис. 9), но и обеспечивает увязку сети GSM-R с сетью фиксированной железнодорожной связи и с сетями общего пользования.

Рисунок 9 иллюстрирует архитектуру SS7 и представляет функциональную взаимосвязь между различными функциональными блоками сети GSM-R.



Рис. 9. Упрощенная схема сети SS7 в системе GSM-R

Сигнализация SS7 обеспечивается посредством набора протоколов (рис. 10). Три нижних уровня в стеке протоколов сигнализации SS7 соответствуют международной классификации OSI, а над ними находятся протоколы, которые обеспечивают обслуживание интеллектуальных вызовов.



Рис. 10. Стек протоколов сигнализации SS7

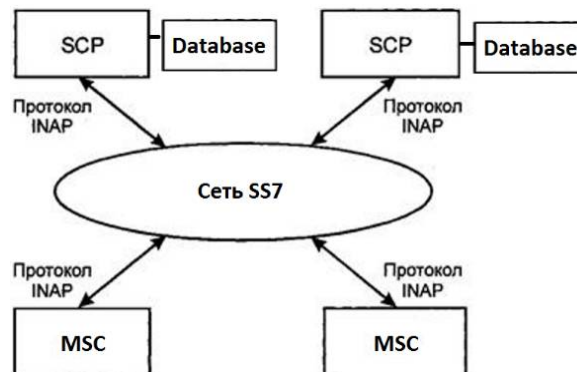


Рис. 11. Использование протокола INAP в интеллектуальной сети

Протокол MAP (Mobile Application Protocol) позволяет узлам сетей GSM обмениваться информацией с целью предоставления абоненту, например, таких услуг, как хэндовер, роуминг, обмен текстовыми короткими сообщениями SMS и др.

Протокол INAP (Intelligent Network Application Protocol) является протоколом верхнего уровня в системе сигнализации SS7 и обеспечивает взаимодействие между двумя основными объектами телефонной сети, построенной по принципам интеллектуальных сетей, а именно между

узлом коммутации MSC и узлом управления услугами SCP (а также доступ к базам данных), как это показано на рисунке 11.

Поясним роль протоколов MAP и INAP на примере интеллектуальных вызовов: функциональная адресация (FA) (рис. 12) и адресация в зависимости от местоположения вызывающего абонента (LDA — Location Depending Addressing) (рис. 13). Посредством функциональной адресации диспетчер может вызвать машиниста (или абонента в поезде, ответственного за определенные функции) одним лишь вводом переменного номера поезда и функционального кода FN, а не физического абонентского номера MSISDN. На рис. 12 цифрами показан порядок обработки вызова и применяемые протоколы.

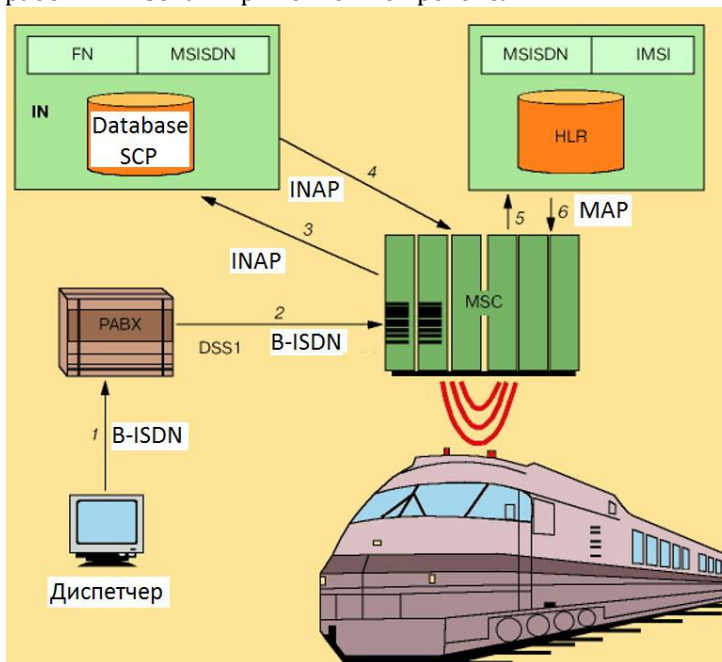


Рис. 12. Функциональная адресация [9]

Поясним обозначения на рис. 12.

DSS-1 (Digital Subscriber Signaling) — протокол телефонной сигнализации в цифровой сети ISDN, определяющий сопряжение и взаимодействие оконечного абонентского оборудования с другими устройствами, базовый доступ B-ISDN использует два канала по 64 кбит/с и один D-канал (в сумме 144 кбит/с).

MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Number) — номер мобильного абонента цифровой сети GSM. Данный номер абонента не содержится на SIM-карте, а сопоставлен с IMSI SIM-карты в регистре абонентов HLR, и предназначается для передачи номера телефона назначенному абоненту и для получения звонков на телефон.

International Mobile Subscriber Identity (IMSI) — международный идентификатор мобильного абонента (индивидуальный номер абонента), ассоциированный с каждым пользователем мобильной связи стандарта GSM. При регистрации в сети аппарат абонента передаёт IMSI, по которому происходит его идентификация.

Другой тип интеллектуальных вызовов представляет вызов с адресацией в зависимости от местоположения (Location Depending Addressing). Например, машинист набирает унифицированный в масштабе Европы укороченный номер и автоматически соединяется с диспетчером, ответственным за данный участок пути (рис. 13). Выбор правильного абонентского номера на рабочем месте диспетчера, отвечающего за участок, осуществляется в системе IN на основе идентификатора ячейки сети GSM-R. Кроме того, здесь задействуется так называемая матрица доступа, отвечающая за то, что на функциональном уровне переговоры друг с другом ведут только абоненты, обладающие соответствующими полномочиями.

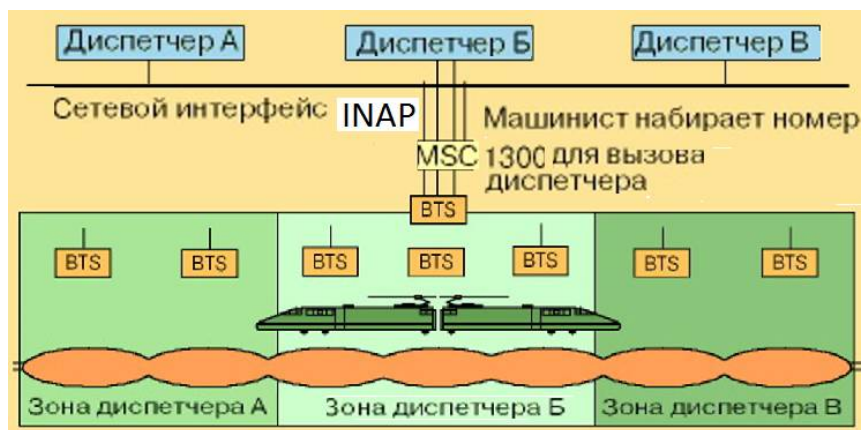


Рис. 13. Адресация в зависимости от местоположения [9]

GSM-R в России

В России внедрение систем GSM-R только начинается. Издан приказ Минкомсвязи России (от 22 сентября 2014 г.) [10], который разрешает разворачивать сети GSM-R, если доступен частотный диапазон, точнее, пункт 11 данного приказа звучит: «При использовании разрешенных диапазонов частот 921 - 925 МГц, в котором базовая станция передает, а абонентская радиостанция принимает, и 876 - 880 МГц, в котором базовая станция принимает, а абонентская радиостанция передает».

Компания ТрансТелеКом реализовала три проекта:

1. технология GSM-R внедрена на участке железной дороги Туапсе-Сочи-Адлер-Красная Поляна общей длиной 155 км (к Олимпиаде в Сочи-2014). Сеть GSM-R развернута на базе оборудования Huawei Technologies,

2. технологии GSM-R внедрена на участке высокоскоростной железной дороги для движения поездов «Аллегро» на трассе от Санкт-Петербург-Бусловская до государственной границы с Финляндией,

3. ТрансТелеКом в 2016 г. организовал на Московском центральном кольце цифровую систему для связи машинистов электропоездов с диспетчерами на базе технологии GSM-R. В рамках этого проекта ТрансТелеКом запустил 22 базовые станции по технологии GSM-R.

В ближайшем будущем в России предстоят грандиозные работы по разворачиванию сетей GSM-R на Транссибе и Новом шёлковом пути (рис. 14).

Новый шёлковый путь (НШП) — это концепция новой пан-евразийской транспортной системы, продвигаемой Китаем в сотрудничестве с Казахстаном, Россией и другими странами. Идея Нового шёлкового пути основывается на историческом примере древнего Великого шёлкового пути, действовавшего со II в. до н. э. и бывшего одним из важнейших торговых маршрутов в древности и в средние века. Китай продвигает проект «Нового шёлкового пути» как масштабное преобразование всей торгово-экономической модели Евразии, и в первую очередь — Центральной и Средней Азии.



Рис. 14. Железнодорожная линия Иу – Мадрид и Транссиб

Китай продолжает полным ходом строительство транспортной инфраструктуры в Центральной Азии по проекту железнодорожной линии Иу – Мадрид. Город Иу находится на 250 км севернее Шанхая и является крупнейшим в мире центром оптовой торговли. 27 февраля 2016 в Узбекистане состоялась торжественная церемония стыковки туннеля Камчик, одного из важнейших сооружений магистрали между Казахстаном и Китаем. Тоннель протяженностью 19,1 км расположен на высоте 2 тыс. м над уровнем моря.

Тем временем технологии мобильной развиваются, и связисты обсуждают переход от сети GSM-R, основанной на традиционном стандарте GSM, к сетям следующих поколений, в том числе LTE и даже к сетям пятого поколения 5G. Спецификация LTE позволяет обеспечить скорость загрузки до 326,4 Мбит/с, скорость отдачи до 172,8 Мбит/с, а задержка в передаче данных может быть снижена до 5 миллисекунд. К сожалению, интерфейс LTE является несовместимым с сетями 2G и 3G, поэтому он должен работать на отдельной частоте.

Компании уже предлагают оборудование сетей LTE, совместимое с GSM-R. На рис. 15 показана стратегия Huawei Technologies, которая состоит из трех шагов [11]:

- 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 платформа “LTE for railway”.

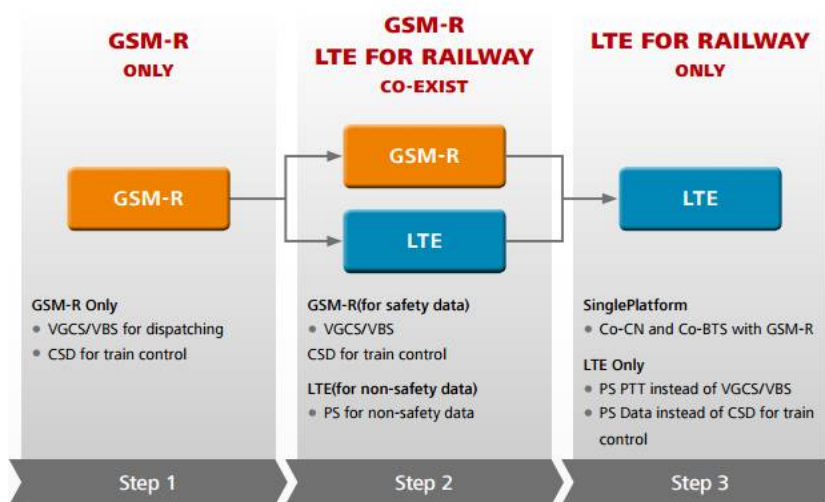


Рис. 15. Стратегия Huawei Technologies [11]

Ближайшие задачи российских связистов:

- 1) Всесторонние испытания технологии GSM-R, особенно вопросов надежности из-за эффектов интерференции между сетями [12],
- 2) Разработка архитектуры сети GSM-R с учетом существующих сетей, в том числе взаимодействия с интеллектуальной сетью, а также с необходимостью модернизации существующих сетей,
- 3) Рассмотреть вопросы импортозамещения оборудования GSM-R с учетом его массовости.

Литература

1. European Commission, Green Paper on a European Program for Critical Infrastructure Protection, COM(2005)576 Final, Brussels, Belgium, 2005.
2. Transportation Security Administration, Transportation Systems: Critical Infrastructure and Key Resources Sector-Specific Plan as Input to the National Infrastructure Protection Plan, US Department of Homeland Security, Arlington, Virginia, 2007.
3. European Railway Traffic Management System, ERMTS, Brussels, Belgium (www.ertms.com), 2009.
4. GSM-R Functional Group, Project EIRENE Functional Requirements Specification, Version 7, Reference PSA167D005, Brussels, Belgium, 2006.
5. EIRENE Functional Requirements Specification, Version 7.4.0, GSM-R Functional Group, 27 April 2014.
6. Николаев Д. Е. и др. Цифровая железная дорога-инновационные стандарты и их роль на примере Великобритании //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. - С. 55-61.
7. Куприяновский В.П. и др. Цифровая железная дорога – прогнозы, инновации, проекты //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т.4. – №. 9.- С.34-43.
8. Куприяновский В.П. и др. Цифровая железная дорога – целостная информационная модель, как основа цифровой трансформации //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т.4. – №. 10. - С. 32-42.
9. B. Gschwendtner, W. Klein. GSM-R — базовая система для радиосвязи с подвижными объектами //Eisenbahningenieur, 2003, № 6, S. 44 – 47.

10. Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 22 сентября 2014 г. N 307 г. "О внесении изменений в Правила применения базовых станций и ретрансляторов систем подвижной радиотелефонной связи. Часть II. Правила применения подсистем базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта GSM 900/1800, утвержденные приказом Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 12 апреля 2007 г. N 45".
11. 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.
12. Gianmarco Baldini et al. An early warning system for detecting GSM-R wireless interference in the high-speed railway infrastructure // International Journal of Critical Infrastructure Protection. Vol 3, Issues 3–4, Dec 2010, 140–156.

References

1. European Commission, Green Paper on a European Program for Critical Infrastructure Protection, COM(2005)576 Final, Brussels, Belgium, 2005.
2. Transportation Security Administration, Transportation Systems: Critical Infrastructure and Key Resources Sector-Specific Plan as Input to the National Infrastructure Protection Plan, US Department of Homeland Security, Arlington, Virginia, 2007.
3. European Railway Traffic Management System, ERMTS, Brussels, Belgium (www.ertms.com), 2009.
4. GSM-R Functional Group, Project EIRENE Functional Requirements Specification, Version 7, Reference PSA167D005, Brussels, Belgium, 2006.
5. EIRENE Functional Requirements Specification, Version 7.4.0, GSM-R Functional Group, 27 April 2014.
6. Nikolaev D. E. i dr. Cifrovaja zheleznaja doroga-innovacionnye standarty i ih rol' na primere Velikobritanii //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – #. 10. - S. 55-61.
7. Kuprijanovskij V.P. i dr. Cifrovaja zheleznaja doroga – prognozy, innovacii, proekty //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т.4. – #. 9.- S.34-43.
8. Kuprijanovskij V.P. i dr. Cifrovaja zheleznaja doroga – celostnaja informacionnaja model', kak osnova cifrovoj transformacii //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т.4. – #. 10. - S. 32-42.
9. B. Gschwendtner, W. Klein. GSM-R — bazovaja sistema dlja radiosvjazi s podvizhnymi ob"ektami //Eisenbahningenieur, 2003, # 6, S. 44 – 47.
10. Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 22 сентября 2014 г. N 307 г. "О внесении изменений в Правила применения базовых станций и ретрансляторов систем подвижной радиотелефонной связи. Часть II. Правила применения подсистем базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта GSM 900/1800, утвержденные приказом Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 12 апреля 2007 г. N 45".
11. 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.
12. Gianmarco Baldini et al. An early warning system for detecting GSM-R wireless interference in the high-speed railway infrastructure // International Journal of Critical Infrastructure Protection. Vol 3, Issues 3–4, Dec 2010, 140–156.

Поступила 17.10.2016

Об авторах:

Шнепс-Шнеппе Манфред Александрович, доктор технических наук, профессор, генеральный директор ООО «ЦКБ-Абаванет», sneps@mail.ru;

Куприяновский Василий Павлович, заместитель директора центра геопространственного экономического анализа экономического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, vpkupriyanovsky@gmail.com.